

Metoder för att förhindra mikrobiell avloppspåverkan på råvatten

Magnus Bäckström

Robert Jönsson

Anna Mäki

Alexandra Sjöstrand

Ann-Sofie Wikström



Svenskt Vatten Utveckling

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

Dricksvatten
Rörsnät & Klimat
Avlopp & Miljö
Management

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

Agneta Granberg (m), Ordförande	Göteborgs Stad
Daniel Hellström, sekreterare	Svenskt Vatten
Henrik Aspegren	VA SYD
Per Ericsson	Norrsvatten
Tove Göthner	Sveriges Kommuner och Landsting
Per Johansson (s)	Gävle kommun
Stefan Johansson	Skellefteå kommun
Henrik Kant	Göteborg Vatten
Lisa Osterman	Örebro kommun
Kenneth M. Persson	Sydsvatten AB
Lars-Gunnar Reinius	Stockholm Vatten AB
Lena Söderberg	Svenskt Vatten

Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 47607
117 94 Stockholm
Tfn 08 506 002 00
Fax 08 506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se
Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Metoder för att förhindra mikrobiell avloppspåverkan på råvatten
Title of the report:	Methods to prevent microbial wastewater contamination of raw water
Författare:	Magnus Bäckström, Robert Jönsson, Anna Mäki, Alexandra Sjöstrand, Ann-Sofie Wikström, Vatten & Miljöbyrå AB
Rapportnummer:	2013-22
Antal sidor:	78
Sammandrag:	En kartläggning av metoder har resulterat i en verktygslåda för reduktion av mikroorganismer i olika avloppsströmmar. Metoderna indelas i fyra undergrupper; Avskiljning, Inaktivering, Blockering och Övervakning. Mikrobiella barriärer för olika avloppsströmmar bör kunna inkluderas i etablerad metodik för riskvärdering.
Abstract:	A survey of methods has resulted in a toolbox for the reduction of microorganisms in wastewater. The methods are divided into four subgroups: Separation, Inactivation, Blocking and Monitoring. Microbial barriers for different wastewater flows to the water source could be included in the established techniques of risk assessment.
Sökord:	Avlopp, badvatten, barriär, djurhållning, mikroorganismer, patogener, vattenskydd
Keywords:	Barrier, farming, inactivation, microorganism, pathogen, wastewater, water
Målgrupper:	VA-chefer, VA-ingenjörer, VA-konsulter, miljöchefer, beslutsfattare, forskare
Omslagsbild:	Avloppsbrunn vid älvens strand. Foto: Robert Jönsson
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2013
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB
Om projektet	
Projektnummer:	12-109
Projektets namn:	Metoder för att förhindra avloppspåverkan på råvatten. Fas 1: förstudie
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling, Vatten & Miljöbyrå AB

Förord

Sverige är rikt på glittrande sjöar, porlande vattendrag och friska grundvatten. Det kan ibland vara svårt att föreställa sig att det vatten vi använder för dricksvattenproduktion eller bad innehåller bakterier, virus och parasiter som kan göra oss allvarligt sjuka, så kallade patogener. Detta mikrobiella hot har varit känt under lång tid och den dominerande strategin har varit att bygga upp mikrobiologiska barriärer i vattenverken dimensionerade utifrån halter och reduktion av indikatorbakterier. Flera större vattenburna utbrott de senaste åren har dock inneburit ett uppvaknande. Något tillspetsat kan man säga att vi tagit god råvattenkvalitet för given och negligerat riskerna.

En strategi som ligger nära till hands och även kommer till uttryck i konkreta åtgärder på många håll idag är utbyggnad av vattenverkens mikrobiologiska barriärer. Vore det möjligt och effektivt att även göra åtgärder redan vid källan, det vill säga att sätta det ”mikrobiella staketet” runt råvattenet? Det var utifrån denna frågeställning som idén om detta projekt föddes. Denna rapport presenterar en kartläggning av olika metoder och hur man i Sverige idag hanterar risken för avloppspåverkan på råvatten. Rapporten bör ses som ett första steg, en förstudie, som förhoppningsvis ger VA-huvudmän och myndigheter en orientering inom ämnesområdet och fortsatt utvecklingsarbete för att skydda våra råvatten och badvatten.

Projektet som redovisas i denna rapport har genomförts av Vatten & Miljöbyrå AB i Luleå huvudsakligen finansierat av Svenskt Vatten Utveckling (SVU). Författare till rapporten är Magnus Bäckström (projektledare), Robert Jönsson, Anna Mäki, Alexandra Sjöstrand och Ann-Sofie Wikström, samtliga Vatten & Miljöbyrå AB. SVU:s representant i arbetet och ansvarig för övergripande projektstyrning var Peter Sörngård från Svenskt Vatten.

Författarna vill tacka alla som bidragit med synpunkter i arbetet. Ett särskilt tack till referensgruppen bestående av Stefan Marklund från Luleå kommun, Bo Axelsson från Arvika Teknik AB, Charlotta Skredsvik Raudberget från Jönköpings kommun, Conny Simonsson från Östersunds kommun, Rikard Dryselius från Livsmedelsverket, Caroline Schönning från Smittskyddsinstitutet, Jakob Ottoson från SLU samt Thomas Pettersson och Andreas Linde från Chalmers tekniska högskola. Slutligen, ett stort tack till samtliga som bidragit genom att besvara den nationella enkäten och delgett sina erfarenheter under uppföljningsarbetet.

Luleå, september 2013

Magnus Bäckström, Robert Jönsson, Anna Mäki,
Alexandra Sjöstrand och Ann-Sofie Wikström

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	6
Summary	7
1 Bakgrund	8
1.1 Inledning	8
1.2 Råvatten i Sverige	8
1.3 Kommunal avloppshantering – kort historik	8
1.4 Aktuell lagstiftning	9
1.5 Större vattenburna sjukdomsutbrott	10
1.6 Problembild	11
1.7 Kunskapsbehov	12
1.8 Syfte	13
1.9 Metod	13
2 Riskanalys från råvatten till tappkran	15
2.1 GDP – god desinfektionspraxis	15
2.2 MRA – mikrobiologisk riskanalys	16
2.3 Handbok risk- och sårbarhetsanalys för dricksvattenförsörjning	16
2.4 Integrerad riskanalys genom felträdsteknik	17
3 Mikrobiella föroreningar i råvatten och dricksvatten	18
3.1 Orsak till vattenburna sjukdomsutbrott	18
3.2 Förekomst i olika avloppsströmmar	18
3.3 Reduktion av mikrobiella föroreningar i råvatten	22
4 Metodöversikt – verktygslåda	23
4.1 Introduktion	23
4.2 Konventionell avloppsrening	24
4.3 Inaktivering	25
4.4 Avskiljning	27
4.5 Blockering	29
4.6 Övervakning	31
4.7 Översikt verktygslåda	34
5 Enkätundersökning	35
5.1 Hotbild	35
5.2 Åtgärder kommunalt avlopp	36
5.3 Åtgärder enskilt avlopp	37
5.4 Åtgärder djurhållning/lantbruk	37
5.5 Motiv till åtgärder	37
5.6 Vattenskyddsföreskrifter	38

6	Exempel på genomförda åtgärder i Sverige	39
6.1	UV-behandling av utgående avloppsvatten under sommarhalvåret, Huskvarna.....	39
6.2	UV-behandling vid avloppsreningsverk under badsäsong, Arvika	43
6.3	Åtgärder mikrobiologiska risker Lyckebyån, Karlskrona	44
6.4	Övervakning av sjöförlagd tryckavloppsledning i råvattentäkt, Jönköping.....	45
6.5	Reglering av gödselhantering i vattenskyddsområde i Borås.....	46
6.6	Bortledning av dräneringsvatten från betesmark i Karlshamn.....	47
7	Diskussion	48
8	Slutsatser.....	51
9	Fortsatt arbete	53
10	Referenser.....	55

Bilagor

1	Mikrobiella föroreningar i råvatten och dricksvatten.....	60
2	Enkätundersökning avseende mikrobiell förorening av råvatten.....	64

Sammanfattning

Det primära syftet med denna studie är att kartlägga metoder för reduktion av mikroorganismer som härstammar från olika avloppsströmmar inklusive gödsel, innan dessa når recipient som även nyttjas som råvattentäkt. Denna studie visar att det finns flera åtgärder och aktiviteter att överväga för att förhindra mikrobiell förorening av råvatten. En kartläggning av metoder har resulterat i en verktygslåda för reduktion av mikroorganismer i olika avloppsströmmar. Metoderna indelas i fyra undergrupper; *Avskiljning*, *Inaktivering*, *Blockering* och *Övervakning*. Sammantaget, metoder/åtgärder som har stor potential bedöms vara:

1. Avskiljning med sandfilter (eventuellt kombinerat med kemisk fällning/kemikaliedosering).
2. Avskiljning med membran, exempelvis membranbioreaktor (MBR).
3. Inaktivering med UV-ljus troligen kombinerat med partikelavskiljande förbehandling (skivfilter eller sandfilter).
4. Begränsning av mikrobiella föroreningar från gödsel och djurhållning genom långsiktig planering, tillsyn och etablerande av skyddszoner.
5. Blockering av avloppsström genom att flytta avloppsströmmar eller källor till mindre känsliga recipienter eller utloppspunkter (exempelvis via åtgärdsplan för enskilda avlopp, överföringsledningar, reservkraft vid pumpstationer eller magasin).

Exempel på åtgärder inom samtliga dessa fyra undergrupper finns i Sverige idag. Motivet för genomförda och planerade åtgärder är i första hand råvattenskydd men även skydd av badvattenkvalitet har föranlett åtgärder. Kunskapen om de olika åtgärdernas förmåga att minska halterna av sjukdomsframkallande mikroorganismer i avloppsströmmen är inte heltäckande. Detta gäller i första hand avskiljning och inaktivering. Reduktionen av indikatororganismer såsom *E. coli* är väl dokumenterad, men reduktionen av olika typer av avloppsrelaterade virus och parasiter är betydligt mindre känd. Följaktligen, det är till viss del osäkert om hur olika åtgärder i fullskala förhindrar spridning av parasiter och virus, i synnerhet virus.

Kostnadsjämförelser för olika åtgärder är i dagsläget svår att bedöma, framför allt när det gäller kostnader för framtida drift och underhåll. För inaktivering med UV-ljus i avloppsreningsverk kan en ökad driftkostnad (inklusive kapitalkostnader) på någon eller några procent förväntas, baserat på några enstaka exempel av dokumenterade kostnadsutfall. Kostnadsnyttoanalyser behöver utvecklas för att underlätta åtgärdsprioriteringen eftersom en viss åtgärd kan tjäna flera syften. Förutom mikrobiell rening kan exempelvis minskad närsaltbelastning, förbättrad badvattenkvalitet och möjlighet till samhällsutveckling uppnås.

Mikrobiella barriärer för olika avloppsströmmar bör kunna tillämpas/inkluderas i de metoder för riskvärdering som är etablerade idag, särskilt mikrobiologisk riskanalys (MRA). En åtgärd som påverkar mikrobiella statusen av en kontinuerlig avloppsström och indirekt råvattnet bör teoretiskt kunna ge en viss barriärhöjd i dricksvattenkedjan.

Summary

The primary purpose of this study is to identify methods for reduction of microorganisms in wastewater from urban and agricultural areas before it reaches the recipient which is also used as a raw water source. This study shows that there are several activities to consider in order to prevent microbial contamination of the raw water. A survey of methods has resulted in a toolbox for the reduction of microorganisms in wastewater. The methods are divided into four subgroups: *Separation*, *Inactivation*, *Blocking* and *Monitoring*. The following measures are considered to have great potential:

1. Separation with sand filters, possibly combined with chemical treatment.
2. Separation with membranes, such as membrane bioreactor (MBR).
3. Inactivation with UV, probably combined with pre-treatment for particle removal (filtration).
4. Limitation of microbial pollution from fertilizers and livestock through long-term planning, supervision and the establishment of protection zones.
5. Blocking microbial pollution by moving wastewater outlets to less sensitive recipients (i.e. a catchment based action plan for sewage including distribution pipes, backup power at pumping stations or temporary storage).

Examples of activities in all of these four subgroups exist in Sweden today. Driving forces for the implemented and planned measures are primarily raw water protection but also protection of bathing water quality.

The reductions of indicator organisms such as *E.coli* are well documented, but the reduction of various types of pathogenic viruses and parasites are much less known. Accordingly, it is to some extent uncertain how different measures in full scale could act as a barrier for parasites and viruses, especially viruses.

Cost comparisons of different actions are difficult to assess, particularly in terms of costs for future operation and maintenance. For inactivation with UV in wastewater treatment plants, increased operation costs (including capital costs) on one or a few percent are expected.

Cost-benefit analysis needs to be developed to facilitate decision support because a certain action can serve several purposes. Besides microbial purification, such as reducing nutrient load, actions could for example improve bathing water quality and the ability to achieve social development.

Microbial barriers for different wastewater flows to the water source could be included in the techniques of risk assessment that are established today, especially microbiological risk assessment (MRA).

1 Bakgrund

1.1 Inledning

Under de senaste åren har flera fall av sjukdomsutbrott orsakade av patogenförekomst i dricksvatten fått stor uppmärksamhet. Mer än 27 000 vattenkunder i Östersund och 20 000 i Skellefteå blev sjuka av parasiten *Cryptosporidium* vilket innebär att dessa samhällen utsattes för stora påfrestningar. I kölvattnet av dessa uppmärksammade utbrott har många vattentjänstleverantörer runt om i landet intensifierat den egna analysen av dricksvattensystemets säkerhet mot mikrobiell avloppspåverkan. Detta innebär bland annat utredning av nödvändig barriärhöjd i vattenverken och undersökningar av källor till mikrobiell förorening av råvatten. Med mikrobiell förorening menas i detta fall en tillförsel av mikroorganismer (bakterier, virus och protozoer) som har ett fekalt ursprung, det vill säga det härstammar från avföring från djur eller människa i form av till exempel avlopp eller gödsel.

Sannolikt kan liknande sjukdomsutbrott ske på många orter om inte åtgärder genomförs, eftersom det har visat sig att råvattenkvaliteten är mer sårbar än de flesta annat. De aktuella exemplen visar att smittoämnen som en gång släpps ut i råvattnet kan utgöra en potentiell risk för vattenburen smitta (via kommunalt dricksvatten) även vid mycket låga halter och trots att uppehållstiden och utspädningen i råvattentäkten borde innebära att risken för kontaminering av dricksvattnet är mycket låg.

1.2 Råvatten i Sverige

I Sverige används både ytvatten (sjöar och vattendrag) och grundvatten vid dricksvattenberedning. Ungefär hälften av allt kommunalt dricksvatten bereds från ytvatten, även om antalet grundvattenverk är nästa tio gånger fler än antalet ytvattenverk (Svenskt Vatten, 2008). Sjöar och vattendrag ger oftast volymmässigt en större tillgång till vatten lokalt. Den mängd vatten som stora städer behöver kan oftast bara fås från en ytvattentäkt, vilket förklarar fördelningen.

I detta sammanhang bör även nämnas att cirka hälften av grundvattnet härrör från anläggningar med så kallad konstjord infiltration där grundvattenmagasinet matas med ytvatten för att öka täktens kapacitet. Andelen råvatten med ytvattenpåverkan är därmed i praktiken tre fjärdedelar.

1.3 Kommunal avloppshantering – kort historik

Utvecklingen av de kommunala avloppsledningsnäten som inleddes för mer än 100 år sedan är en viktig del av Sveriges teknik- och miljöhistoria (Bernes & Lundgren, 2009). Initialt skedde en kombinerad avledning av de framväxande samhällenas hushållspillvatten, industriavlopp och dagvatten

(Bäckman, 1984). Senare skedde i högre grad separering av dagvatten från spillvattenfraktionerna via utbyggnad av duplikat ledningsnät, i huvudsak efter 1960-talet. Den samordnade avledningen av avlopp i förgrenade ledningsnät förlagda under jord bidrog till betydande förbättring av den lokala miljön och hälsan i städerna, men vattenkvaliteten i recipienterna nedströms försämrades drastiskt alltmedan stadsbefolkningen växte och de orenade utsläppen av organiskt material och näringsämnen ökade.

Avloppsreningen i Sverige utvecklades kraftigt under ett kvarts decennium från 1950-talet och framåt. Den intensiva utbyggnaden av avloppsreningsverken under denna tid genomfördes relativt ensartat över landet, det vill säga liknande reningsteknik och layout på reningsanläggningarna tillämpades. Den huvudsakliga drivkraften var den tilltagande övergödningen i sjöar och vattendrag. I många fall utökades reningsprocesserna stegvis med mekanisk, biologisk respektive kemisk rening.

Fram till mitten av 1970-talet ställde Naturvårdsverket krav på hygienisering av avloppsvatten efter rening innan det avleddes till recipient (Lindh, 2013). Den vanligaste hygieniseringsmetoden var att tillsätta klor. Processteknisk löstes detta med en klorkontaktbassäng som sista reningssteg. Klorkontaktbassängen utformades i syfte att uppnå tillräckligt lång uppehållstid (> 0,5 timme) för det renade avloppsvattnet innan detta avleddes till recipient.

I början av 1970-talet diskuterades risker med hantering av klor, främst med avseende på att klore kan bilda skadliga klorföreningar vid kontakt med avloppsvattnets föroreningar och organiskt material. Omfattande forskning genomfördes främst i USA men även i Sverige gjordes en utredning under mitten av 1970-talet av Naturvårdsverket (Lindh, 2013). Som ett resultat av utredningen kring risker med hantering av klor i samband med hygienisering av avloppsvatten ändrade Naturvårdsverket kraven i prövningsärenden så att avloppsreningsverken skulle vara förberedda för hygienisering. Detta innebar till slut att man inte behövde ha utrustning för hygienisering installerad utan avloppsreningsverket skulle vara förberett för hygienisering om risk för till exempel ett större utbrott skulle uppstå (Lindh, 2013). Krav på kontinuerlig klorering av utgående avloppsvatten upphörde således i Sverige i mitten av 1970-talet.

I USA har hygienisering av avloppsvatten med klor varit en förekommande teknik fram till idag, men då ofta kompletterat med en efterföljande avklorering för att undvika ovan nämnda problem med toxiska klorföroreningar i recipienten (Marklund, 2012).

1.4 Aktuell lagstiftning

Miljöbalken (SFS 1998:808) säger att avloppsvatten ska avledas och renas eller tas om hand på något annat sätt, så att olägenhet för människors hälsa och miljön inte uppkommer, men det finns inte några specifika hygieniska eller mikrobiella krav på utgående avloppsvatten (Schönning, 2003).

Alla som nyttjar och/eller påverkar yt- och grundvattenresurserna styrs av lagstiftning som bygger på EU:s vattenramdirektiv. Syftet med direktivet är att skydda medlemsländernas vattenresurser och en grundtanke är att skapa en helhetssyn på Europas och de enskilda ländernas vattenresurser.

I Sverige beslutade riksdagen och regeringen om nationell lagstiftning, vilket innebar en komplettering av miljöbalken och en särskild vattenförvaltningsförordning (SFS 2004:660) samt en organisation för den svenska vattenförvaltningen. VA-huvudmän och lantbrukare/djurhållare är i högsta grad påverkade av denna förordning och dess tillämpning framöver. Hittills har inte den mikrobiella statusen av vattenförekomsterna varit i fokus, däremot VA-planering och enskilda avlopp. Under remissarbetet inför förvaltningsplan och åtgärdsprogram för perioden 2009–2015 höjdes flera röster att råvattentillgångar bör vara särskilt prioriterade och skyddsvärda, samt att mikrobiell status i dessa vattentillgångar borde belysas mer.

Även nationella miljömål är av betydelse i detta sammanhang, även om dessa ej innebär tvingande krav för verksamhetsutövarna.

Socialstyrelsen hade tidigare utgivit riktlinjer om desinfektion av avloppsvatten från sjukhus, laboratorier med flera (SOSFS 1989:39). Efter utredning (Socialstyrelsen, 2010) har Socialstyrelsen beslutat att upphäva dessa riktlinjer (SOSFS 2011:6). Tidigare riktlinjer angav att desinfektion av avloppsvattnet genom klorering eller värmebehandling kan anses nödvändig och det finns även mikrobiella gränsvärden (totala och termotoleranta koliformer). Avloppsvatten från sjukhus och mikrobiologiska laboratorier medför dock i allmänhet inte större risk för smittspridning än annat avloppsvatten (SOSFS 1989:39).

I den utredning som förelåg upphävandet (Socialstyrelsen, 2010) påpekades att halterna av mikroorganismer i avloppsströmmar från en infektionsklinik eller annan medicinsk vårdenhet vid en given tidpunkt troligen kan vara högre än i avloppsvatten från till exempel enskilda hushåll. Däremot antas utsläppen från alla hushåll och verksamheter utanför sjukhusen totalt sett vara större än enskilda sjukhus bidrag till det allmänna avloppsnätet. Det baseras bland annat på att vårdtiden vanligtvis är någon eller några dagar och att de sjukhusvårdade utgör en bråkdel av det totala antalet potentiella smittbärare i samhället. Socialstyrelsen (2010) drog därmed slutsatsen att den effekt rening av avloppsvatten vid infektionskliniker eller sjukhus har för belastningen av smittämnen allvarligt kan ifrågasättas.

1.5 Större vattenburna sjukdomsutbrott

Även om de senaste sjukdomsutbrotten (Östersund, Skellefteå) har inneburit något av ett uppvaknande så har tidigare fall av vattenburen smitta förekommit även i andra städer med högt utvecklad dricksvattenproduktion och -distribution. Troligen det största sjukdomsutbrottet av detta slag inträffade år 1993 i Milwaukee där parasiten *Cryptosporidium* i dricksvattnet gjorde mer än 400 000 invånare sjuka (Mac Kenzie et al., 1994) och även dödsfall rapporterades.

Giardia orsakade ett sjukdomsutbrott i Bergen år 2004 med upp till cirka 6 000 sjuka som på flera sätt blev en väckarklocka avseende den dåvarande vattenförsörjningens sårbarhet för mikrobiella föroreningar (Bergstedt & Norberg, 2005). Lilla Edet drabbades år 2008 av ett omfattande sjukdomsutbrott som tidigt misstänktes bero på vattenburen smitta (*Calicivirus*) (Ekvall, 2010). Fall av smittoämnen från djurhållning till dricksvatten

som baseras på grundvatten har exempelvis förekommit i Walkerton år 2000 där cirka 2000 personer blev sjuka av EHEC (Enterohemorragisk E. coli). Händelserna i Walkerton beskrivs närmare i en rapport utgiven av Livsmedelsverket (Jönsson et al., 2009).

Trots att det finns fler rapporterade fall av större sjukdomsutbrott som troligen orsakats av avloppspåverkat råvatten än de som angivits ovan kan mörkertalet befaras vara stort, det vill säga betydligt fler sjukdomsutbrott kan tänkas inträffa regelbundet utan att vattenburen smitta är belagd. Sannolikt har inrapportering av kända sjukdomsutbrott inte alltid skett, vilket dessvärre innebär att den nationella statistiken och problembilden inte är fullständig.

Fördjupad information kring mikrobiella föroreningar som kan ge vattenburna sjukdomsutbrott ges i *Bilaga 1*.

1.6 Problembild

Avloppspåverkan på råvatten kan härröra från ett flertal källor (figur 1-1). Obehandlat eller behandlat avlopp har oftast flera möjligheter till ”närkontakt” med råvattentäkten och därigenom indirekt vattenverk och levererat dricksvatten. Avloppsledningsnäten i tätorterna kan till exempel ha nödutlopp/bräddpunkter, medvetna eller felaktiga kopplingar mellan spill- och dagvattennäten samt dagvattenutlopp i recipienten, som i många fall även nyttjas som råvattentäkt.

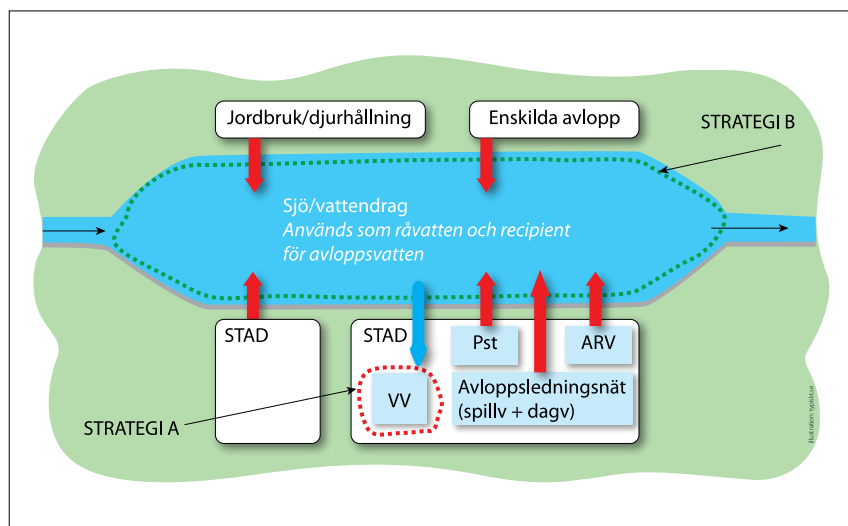
En närliggande problembild är badvattenkvalitet. Människor som badar i sjöar eller vattendrag exponeras i varierande grad för mikrobiella föroreningar från avlopp, lantbruk eller djurhållning. Inte sällan nyttjas samma ytvatten som råvattentäkt och badvatten. Paradoxalt nog kan badvattenkvalitet tyckas vara mer reglerat än råvattenkvalitet idag (via EU:s badvattendirektiv).

Avloppspumpstationer har i princip alltid någon form av bräddmöjlighet vid maskinellt haveri, strömbortfall eller överbelastning till exempel på grund av tillskottsvatten eller vid kraftiga regn i kombinerade system. Avloppsreningsverkens primära funktion har länge varit avskiljning av näringsämnen och organiskt material. Det renade avloppet från staden är således normalt ”orenat” med avseende på exempelvis mikrobiella föroreningar och läkemedelsrester. De vanligast förekommande avloppsreningsprocesserna (mekanisk, biologisk och kemisk rening) ger dock en viss avskiljning av mikroorganismer och patogener (Ottoson, 2005).

Uppströms samma yt- eller grundvattentäkt finns ofta flera samhällen och kommuner, vilket innebär att avloppspåverkan kan kvarstå även om avloppsutsläppen åtgärdas i den egna kommunen. Problembilden blir än mer komplex när även utsläpp från enskilda avlopp och jordbruk med djurhållning (gödselhantering) beaktas. Utsläppspunkterna från dessa kan vara många till antalet och ofta ske relativt nära recipienten samtidigt som reningsanläggningarna har varierande funktion och är svåra att kontrollera. Den prognostiserade klimatförändringen riskerar att förvärra problembilden beskriven ovan (Dryselius, 2012).

1.7 Kunskapsbehov

Behovet bedöms vara stort att fokusera på möjliga metoder att begränsa mikrobiell avloppspåverkan på råvatten. Denna slutsats grundas på att tidigare studier i mindre grad ägnat sig åt att ta fram en verktygslåda för verksamhetsutövare, myndigheter och övriga beslutsfattare som vill skapa en mikrobiell barriär kring råvattnet (figur 1-1 – STRATEGI B). Tidigare studier har i huvudsak utgått från att strategin för skyddsåtgärder är utökad rening i vattenverken (figur 1-1 – STRATEGI A).



Figur 1-1 Schematisk illustration av problembild och två strategier för att minska avloppspåverkan på dricksvatten (Strategi A avser skyddsåtgärder i vattenproduktionen, Strategi B innebär skyddsåtgärder vid varje avloppsström till råvattnet). Illustration: Maritha Mörtzell.

En långsiktigt viktig fråga är om det räcker att förbättra reningsprocesserna och öka antalet barriärer i vattenverken. Svaret är nej, dels ur ett ekonomiskt perspektiv, dels i det perspektiv som ges av miljömål, lagar och överenskomelser som finns på nationell och internationell nivå (EU), exempelvis vattenförvaltningen enligt vattendirektivet, badvattendirektivet och de svenska miljömålen.

I ett scenario där råvattenkvaliteten successivt försämras och där avloppspåverkan på yt- och grundvatten som nyttjas som råvattentäkt lämnas utan åtgärd skulle produktionskostnaden för dricksvatten sannolikt öka avsevärt och/eller skadekostnaderna för vattenburna sjukdomsutbrott öka drastiskt. För säker dricksvattenkvalitet och acceptans från vattenkunderna krävs då troligen stora investeringar i ett stort antal barriärer i vattenverken och helt nya processlösningar. En betydande ökning av löpande driftkostnader för bland annat energi, personal och kemikalier kan förväntas.

Det förenklade resonemanget ovan antyder att parallella åtgärder inom råvattenskydd och barriärer i vattenverken bör vara långsiktigt ekonomiskt fördelaktigt, samt i enlighet med gällande filosofi inom vattenförvaltning. En utgångspunkt för denna studie är således att våra svenska råvattentäkter bör skyddas från avloppspåverkan, för att det inte räcker med enbart utbyggd rening i vattenverken (STRATEGI A + B).

Idag råder ett övergripande arbetssätt där risker i hela dricksvattenkedjan från råvatten till tappkran måste analyseras avseende exempelvis mikrobiella föroreningar. Tidigare fanns fastlagda kvalitetskrav för råvatten i dricksvattenkatalogeringen från 1993, vilket säkert av många upplevdes som enklare att bedöma och kontrollera. Denna övergång till att betona riskvärdering är en EU-anpassning och resulterar idag i verktyg såsom GDP (god desinfektionspraxis) och MRA (mikrobiologisk riskanalys). Det finns hursomhelst ett behov att diskutera hur dagens (relativt komplicerade) helhetsperspektiv på risker inom dricksvattenförsörjning kan tillämpas, speciellt i mindre och medelstora kommuner.

1.8 Syfte

Det primära syftet med detta arbete är att kartlägga metoder för reduktion av mikroorganismer som härstammar från olika avloppsströmmar inklusive gödsel, innan dessa når recipient som även nyttjas som råvattentäkt.

Vägledande för arbetet har varit ett antal frågeställningar som initialt formulerades i projektbeskrivningen:

- Vilka metoder för att säkerställa den mikrobiella statusen i recipienten används i Sverige idag och på vilken grund har man vidtagit åtgärder?
- Vad är kostnad för och effekt av olika åtgärder som förhindrar avloppsutsläpp på råvatten?
- Finns tillgängliga metoder för att förhindra mikrobiell förorening från samtliga typer av avloppsströmmar (inkl. avrinning från djurhållning) beaktat stora variationer i flöde, föroreningsinnehåll, årstid med mera?
- Vad finns det för internationella erfarenheter och är dessa tillämpbara under svenska förhållanden?
- Hur ska mikrobiella barriärer i avloppssystemen tillämpas och bedömas utifrån dagens fokus på riskvärdering av hela dricksvattenkedjan, inklusive råvatten?

1.9 Metod

Insamlingen av underlag och data samt den efterföljande syntesen har baserats på fyra metoddelar:

1.9.1 Litteratur- och internetstudie

Sammanställning av tekniska rapporter, vetenskapliga artiklar och information via internet. Nätbaserad information som ej genomgått oberoende granskning kvalitetssäkras vid behov via personliga kontakter med uppgiftslämnare eller ansvariga verksamhetsutövare och myndigheter. En viktig kunskapsbank är dessutom interna rapporter (t.ex. befintlig dokumentation av reningsresultat och mikrobiella analyssvar) från verksamhetsutövare med flera.

1.9.2 Enkätundersökning

Enkäter distribuerades digitalt via e-post till samtliga VA-chefer och samtliga kommunala miljöchefer i landet. Omfattningen var på nivån 15–20 kryssfrågor med möjlighet till egna kommentarer, se *Bilaga 2*. Enkäten utformades och distribuerades i nära samarbete med Svenskt Vatten. Svarstiden var cirka 4 veckor under november–december 2012 och respondenterna besvarade enkäten via ett webbaserat formulär som automatiskt genererade resultatsammanställning samt möjlighet till kvalitetssäkring och uppföljning. Enkätfrågorna var utformade så att erfarenheter och goda exempel av olika åtgärder och metoder för mikrobiell rening framkommer.

1.9.3 Referensgrupp

För att fånga in olika aspekter av ämnesområdet sammansattes en bred referensgrupp kopplad till projektet där personer med olika bakgrund, kunskaper och roller på ett aktivt sätt kan styra arbetet, men även bidra med viktiga expertkunskaper och nätverk.

Referensgruppen har varit delaktig i arbetet via möten, telefon och e-post. Deltagare i referensgruppen är forskare som är eller har varit aktiva inom ämnesområdet, tjänstemän vid berörda myndigheter samt expertis från VA-verksamheter runt om i landet.

Dricksvattenprogrammet vid Chalmers tekniska högskola har deltagit vid planering och genomförande, för att få en naturlig koppling till tidigare omfattande forskningsinsatser vid Chalmers och DRICKS-programmet.

2 Riskanalys från råvatten till tappkran

Enligt WHO (2011) utgör de mikrobiologiska riskerna det allvarligaste hotet mot en säker dricksvattenförsörjning och därmed människors hälsa. Exempel på detta är de två stora vattenburna sjukdomsutbrott vi haft i Östersund 2010 och Skellefteå 2011.

De ”stickprovsanalyser” av indikatororganismer som används i dagens egenkontroll är användbara för att upptäcka förändringar och problem i dricksvattenberedning och distribution, men inte tillräckliga för att ge en komplett bild av vilka mikrobiologiska risker som föreligger. I och med denna insikt har behovet av verktyg för mikrobiologisk riskanalys växt och idag finns ett antal alternativa metoder och modeller, samtliga med både för- och nackdelar.

För att utreda huruvida barriärerna i systemet är tillräckliga rekommenderar Svenskt Vatten att man genomför riskanalyser med verktygen GDP och MRA. I detta sammanhang kan även nämnas det rekommenderade arbetet med HACCP för vattenverk (Hazard Analysis and Critical Control Points – faroanalys och kritiska styrpunkter).

Metoderna GDP och MRA bör betraktas som komplement till varandra snarare än som ersättare. Den arbetsgång som föreslås är att börja arbeta enligt GDP för att få ett grepp om den övergripande situationen och därefter arbeta vidare med MRA-modelleringar för att studera specifika fall. Dessa två analysverktyg redovisas kortfattat nedan jämte ett par andra metoder för riskanalys:

2.1 GDP – god desinfektionspraxis

GDP (god desinfektionspraxis) är en metod utvecklad i Norge för att bedöma barriärverkan på ett dricksvattenverk med hänsyn taget till halter av indikatorbakterier och nivå av barriärer före och i slutdesinfektionssteget. I GDP tas hänsyn till åtgärder på råvattensidan, även om fokus ligger på beredningsstegen.

Metodiken för GDP bygger på att man utifrån den egna anläggningens förutsättningar bestämmer en ”barriärhöjd”, det vill säga fastställer hur stor avskiljning som krävs. I denna analys ingår även en bedömning av riskerna för råvattentäkten och historiska råvattendata är ett viktigt underlag. Därefter erhålls ”logkrediter” för olika insatser. Insatserna kan vara alltifrån restriktioner i tillrinningsområde till ändrat intagsdjup samt avskiljande och inaktiverande processer i vattenverket.

Generellt kan sägas att GDP är ett bra basverktyg, man kan med ganska enkla medel få en uppfattning om hur väl anpassad reningsprocessen är till förutsättningarna. Nackdelen är att man inte kan ta hänsyn till variabilitet, det är därmed svårt att studera effekten av förändringar i processen.

Möjligheten finns dock att modellera olika scenarios genom att anpassa bedömningarna, till exempel logreduktionen för olika steg eller kravet på barriärhöjd.

Mer om GDP finns att läsa i Norsk Vanns Rapport *Veiledning til bestemmelse av god desinfeksjonspraksis* (Norsk Vann, 2009b).

2.2 MRA – mikrobiologisk riskanalys

Kvantitativ mikrobiologisk riskanalys, QMRA (*eng.* Quantitative Microbial Risk Assessment) är en internationellt vedertagen metod för att bedöma infektionsrisker genom sambanden mellan halter av smittämnen, konsumerad mängd av smittämnet och dos-respons funktioner. I Sverige har en anpassad tillämpning inom dricksvattenområdet tagits fram som allmänt benämns MRA-metoden och presenteras i SVU rapport 2009-05.

MRA-metoden ställer höga krav på kunskap om processerna vid vattenverket, råvattenkvaliteten, infektivitet för olika mikroorganismer samt hur de reagerar på vattenverkets barriärer och hur dos-responssambanden ser ut. Styrkan i metodiken är att den tar hänsyn till variation i varje led, såväl förekomst av patogener i vattentäkt som reduktion över processen. En svårighet kan vara att få indata avseende patogenhalter i råvattnet och därigenom bestämma råvattenkvaliteten, eftersom de flesta patogenanalyser som görs visar på halter under detektionsgränsen.

Mer om MRA-metodiken finns att läsa i Svenskt Vatten Utveckling rapport 2009-05 *MRA – Ett modellverktyg för svenska vattenverk* (Abrahamson et al., 2009).

2.3 Handbok risk- och sårbarhetsanalys för dricksvattenförsörjning

Under 2007 utarbetade Livsmedelsverket en handbok med syfte att ta fram en metod att relativt enkelt kunna göra en risk- och sårbarhetsanalys för dricksvattenförsörjningen (Törneke & Wikström, 2007). 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.

I detta sammanhang kan det vara värt att notera att GDP och MRA enbart beaktar mikrobiologiska risker medan risk- och sårbarhetsanalysen redovisad ovan bygger på ett bredare angreppssätt där även kemiska och andra kvalitetsrelaterade risker ingår samt leveranssäkerhetsrisker. Det är även möjligt att utvidga en risk- och sårbarhetsanalys som görs i likhet med Livsmedelsverkets handbok att inkludera till exempel ekonomiska risker.

2.4 Integrerad riskanalys genom felträdsteknik

Chalmers tekniska högskola har under en följd av år genomfört ett stort antal vetenskapliga studier inom ämnesområdet, i huvudsak med utgångspunkt från svenska förhållanden (Lindhe, 2010a). Under 2010 publicerades Svenskt Vatten Utvecklings rapport 2010:08 – *Riskanalys från råvatten till tappkran* (Lindhe, 2010b). Den metod som presenteras är en integrerad riskanalys där hela systemet, från råvatten till tappkran inkluderas. Metoden baseras på felträdsteknik som beskriver hur olika händelser förhåller sig till varandra och vad som måste hända för att problem ska uppstå.

Tack vare att resultaten från felträdet kan presenteras både sammanvägt för hela systemet samt uppdelat på de tre huvuddelarna (råvatten, beredning och distribution), går det lättare att se var behovet av åtgärder för att minska risken är störst. Felträdsmodellen kan även användas för att utvärdera möjliga åtgärdsalternativ och se vilken effekt de har på risken. Genom att modellera olika åtgärder kan det till exempel konstateras om specifika risker kopplade till råvattenförsörjningen i ett system mest effektivt reduceras genom förändringar i beredningen eller direkta åtgärder inom råvattenförsörjningen.

Felträdsmetodens möjlighet att modellera systemets egen förmåga att kompensera för fel är av stor vikt, bland annat då åtgärdsalternativ utvärderas.

Chalmers och forskningsprogrammet DRICKS har under det senaste decenniet producerat ett flertal rapporter i Svenskt Vatten Utvecklings rapportserie inom ämnesområdet, exempelvis SVU rapport 2011-18 *Värdering av risker för en relativt opåverkad ytvattentäkt* (Åström et al., 2011).

3 Mikrobiella föroreningar i råvatten och dricksvatten

Vid utsläpp av avloppsvatten kan stora mängder sjukdomsframkallande mikroorganismer, så kallade patogener, tillföras våra sjöar och vattendrag. Vid kraftiga regn ökar även risken att grundvattentäkter påverkas av förorenat ytvatten. Ett vatten som är påverkat av avlopp kan innehålla mer än 100 olika typer av patogena (sjukdomsframkallande) virus, bakterier och protozoer (parasiter). De vanligast förekommande patogenerna, men även de indikatororganismer som används för att spåra patogener, redovisas i *Bilaga 1*.

Sjukdomar kan via vatten överföras till människor i samband med att man badar i eller dricker ett förorenat vatten eller via livsmedelsproduktion där förorenat vatten använts vid bevattning av till exempel grönsaker. Vattenburna utbrott orsakas i regel av patogener med en låg infektionsdos som till exempel Norovirus, *Campylobacter*, *Giardia* och *Cryptosporidium*.

Ett riktmärke för kvaliteten på vattnet enligt en nyligen genomförd kunskapssammanställning av Ottoson (2012) är att det inte ska leda till mer än ett sjukdomsfall per 10 000 konsumenter och år vilket motsvarar en halt på högst en infektiös cell per 100 000–1 000 000 liter vatten. Med dagens teknik är dessa halter inte mätbara. Ett vatten som innehåller 1 oocysta per 100 liter vatten (vilket är troligt i ett ytvatten påverkat av avlopp), måste därmed renas 1 000 gånger för att erhålla den rekommenderade nivån på 1 oocysta per 100 000 liter. Det motsvarar 3 logs reduktion (99,9 %). För de flesta virus är motsvarande reningsmål 5 logs reduktion (Ottoson, 2012).

3.1 Orsak till vattenburna sjukdomsutbrott

Vattenburna utbrott kan orsakas av en mängd olika faktorer, ofta är det två eller fler olyckliga omständigheter som tillsammans ger upphov till ett vattenburet utbrott. Nedan redovisas den troliga orsaken till några av de mest kända utbrotten vi haft i Sverige (tabell 3-1). Noterbart är att vid flertalet av nedanstående utbrott finns en koppling till en dålig råvattenkvalitet, ofta kopplad till en förorening från avloppsvatten.

3.2 Förekomst i olika avloppsströmmar

I en enkät riktad till landets ytvattenverk ställde Livsmedelsverket sommaren 2011 frågan om möjliga föroreningskällor till mikrobiologisk förorening vid 105 ytvattenverk i Sverige. Enligt resultaten anses kommunala reningsverk utgöra en risk för drygt 30 av anläggningarna.

Enligt Livsmedelsverkets rapport nr 6 – 2012 *Mikrobiologiska dricksvattenrisker ur ett kretsloppsperspektiv* (Dryselius, 2012) har tidigare studier visat att avloppspåverkat råvatten varit en mycket vanlig orsak till dricksvatten-

burna utbrott. Sannolikt är det reningsverken som via stora punktsläpp står för de största riskerna.

3.2.1 Orenat/renat avloppsvatten

Orenat avloppsvatten innehåller en mängd olika mikroorganismer. Många av dessa är patogener. Man uppskattar att ett avloppsvatten kan innehålla mer än 100 olika typer av bakterier, virus och protozoer som kan orsaka sjukdom hos människor (Ottoson, 2012).

Tabell 3-1 Större vattenburna sjukdomsutbrott (Ottoson, 2012)

Plats/år	Typ av råvatten	Antal sjuka	Agens	Orsak
Grums 1980	Grundvatten	2–3 000	Campylobacter	Älvvatten trycktes in i distributionsledning
Sälen 1986	Grundvatten	1 500	Giardia	Avloppsvatten trycktes in i reservoar
Boden 1988	Ytvatten	11 000	Okänt agens	Bristande klorering
Jönköping 1991	Ytvatten	600	Giardia, Campylobacter, Cryptosporidium	Avloppspåverkat älvvatten trycktes in i dricksvattenledning
Kramfors 1994	Ytvatten	2 000	Campylobacter	VA-verk under ombyggnad
Mark 1995	Grundvatten	3 000	Campylobacter	Förorening på ledningsnätet
Sydvästra Skåne 1995	Ytvatten	10 000	Okänt agens	Bristande vattenrening
Söderhamn 2003	Grundvatten	3 000	Campylobacter	Eventuellt förorenad infiltrationsdamm
Lilla Edet 2008	Ytvatten	2 400	Norovirus	Eventuell bräddning uppströms
Östersund 2010	Ytvatten	27 000	Cryptosporidium	Ej fastställt
Skellefteå 2011	Ytvatten	20 000	Cryptosporidium	Ej fastställt

I ett avloppsvatten kan höga halter indikatorbakterier påvisas. I tabell 3-2 redovisas antal mikroorganismer i avföring, i ett obehandlat avloppsvatten samt efter behandling i avloppsreningsverk.

I tabell 3-3 redovisas det antal av några vanliga patogena mikroorganismer som påvisats i en liter avloppsvatten. Uppgifterna är hämtade från Ottoson (2005) med referenser från Europa och Kanada.

Observera att enheten i tabell 3-2 är cfu/g eller cfu/ml och att enheten i tabell 3-3 är cfu/l.

Tabell 3-2 Ungefärliga halter av indikatorbakterier i färsk avföring (cfu/g) samt inkommande och utgående avloppsvatten (cfu/ml) från konventionella reningsverk. Uppgifterna hämtade ur SNV rapport 5215 (Schönning, 2003)

Indikatorbakterie	Avföring	Obehandlat avloppsvatten	Behandlat avloppsvatten
Totala koliformer	10^7 – 10^9	10^3 – 10^5	10^1 – 10^3
E. coli	10^7 – 10^9	10^3 – 10^5	10^0 – 10^3
Enterokocker	10^5 – 10^7	10^3 – 10^4	10^1 – 10^2
Clostridier	10^5 – 10^6	10^2	10^0 – 10^1

Tabell 3-3. Antal patogener som kan förväntas i en liter orenat avloppsvatten. Källa: Tidigare sammanställning av referenser från Europa och Kanada av Ottoson (2005)

Patogen		Antal organismer per liter avloppsvatten (cfu/l)
Bakterier	Salmonella spp.	930–290 000
	Campylobacter spp.	500–44 miljoner
Virus	Enterovirus	100–10 000
	Rotavirus	<1–10 000
	Norovirus	<1 000–1,6 miljoner
	Adenovirus	250–250 000
Parasiter	Giardia (cystor)	100–52 000
	Cryptosporidium (oocystor)	1–560

3.2.2 Dagvatten och bräddat avlopp vid regn

Dagvatten är regn- och smältvatten som avrinner från ytor i urban miljö. Dagvatten är inte fritt från patogener. Tänkbara källor kan vara fågelspillning samt hund- och kattfekalier (Schönning, 2003). Felkopplingar och överläckning av spillvatten till dagvattensystemen förekommer. Baserat på dokumenterade studier i Kanada kan antas att dagvatten normalt innehåller halter av *E. coli* motsvarande 10–100 cfu/ml (Marsalek & Rochfort, 2004). Högre värden, cirka 1 000 cfu/ml indikerar möjlig felkoppling av spillvatten till dagvattennätet. Bräddvatten från ledningsnät eller pumpstation på grund av hydraulisk överbelastning vid regn kan innehålla uppemot 10 000 cfu/ml, enligt samma kanadensiska studie. Ytvatten har bevisats påverkas vid regn av bräddning och dagvatten, vilket föranlett krav på åtgärd för en specifik utloppspunkt som ligger nära badplats (Marsalek & Rochfort, 2004).

Tätortens källor, halter, transportvägar och påverkansfaktorer avseende indikatorbakterierna *E. coli* och Intestinala Enterokocker har tidigare redovisats i SVU-rapport 2011-08 (Ohlsson et al., 2011). Studien grundas på provtagning och modellering av dagvatten, avloppsvatten och recipient i Halmstad främst utifrån perspektivet badvattenkvalitet. Medelkoncentrationer Intestinala Enterokocker i dagvatten respektive bräddat avlopp vid regn i Halmstad var 30 cfu/ml respektive 370 cfu/ml (Ohlsson et al., 2011). Uppmätta koncentrationer av *E. coli* är i intervallet 5–500 cfu/ml med en medelkoncentration på 50 cfu/ml. Värdena baseras på sammanlagt 18 prover i 4 olika avrinningsområden i Halmstad tätort. Koncentrationen av *E. coli* i bräddat avlopp vid regn har med hjälp av modellresultat och mätningar i Halmstad bestämts till cirka 7 300 cfu/ml (med antagande om en medelsutspädningsgrad på 30). Resultaten från Halmstadstudien (Ohlsson et al., 2011) och den kanadensiska studien (Marsalek & Rochfort, 2004) är således relativt samstämmiga avseende förväntade halter *E. coli* i dagvatten respektive bräddat avlopp vid regn.

Arnone och Walling (2006) har studerat mikrobiell påverkan av bräddat avlopp på ytvatten (flod) i USA. I enlighet med några andra citerade studier drog man slutsatsen att bräddning är en tydlig källa till *Giardia* men ej en signifikant källa till *Cryptosporidium* i ytvattnet. Ohlsson et al. (2011) analyserade även ett 15-tal prover på dagvatten och avloppsvatten från

Halmstad avseende Giardia och Cryptosporidium men fann endast konfirmerade (levande) Giardia-cystor i ett fall (dagvatten). Följaktligen är det svårt att dra generella slutsatser kring förekomst och koncentrationer av de patogena protozoerna Giardia och Cryptosporidium i dagvatten och bräddat avlopp. Sannolikt spelar mätmetodik och analysmetoder in. Dessutom förekommer stora variationer i antalet infekterade individer (människa eller djur) i avrinningsområdet/avloppssystemens upptagningsområde.

Enligt en riskanalys genomförd i USA är halten patogener som förekommer i en flod nära staden Newark (Lower Passaic River) en avsevärd hälsorisk så länge bräddavlopp från kombinerade avloppsnät sker vid nederbördstillfällen (Donovan et al., 2008). Detta pekar alltså trots allt på att bräddavlopp vid regn (*eng.* CSO) är en betydande källa till patogener som bör kontrolleras eller elimineras i möjligaste mån.

3.2.3 Djurhållning och lantbruk

Förorening av vatten från djurhållning kan bero av antingen gödselspridning eller av strandbetande djur (Ottoson, 2012). Vad gäller gödselspridning finns bestämmelser som reglerar hur spridning får ske. Dessutom lagras en stor mängd av det gödsel som sprids en längre tid innan spridningen sker, vilket ger en viss avdödning av mikroorganismer. Därmed minskar risken för en direkttransport av mikroorganismer till vattentäkten, men trots detta kan infektiösa mikroorganismer finnas kvar och nå vattentäkten.

När det gäller strandbete är det antalet djur samt åldern på djuren som påverkar risken för smittspridning. Kalvar är i mycket högre grad infekterade av till exempel Cryptosporidium parvum och EHEC och genom att begränsa kalvarnas bete i direkt anslutning till sjöar och vattendrag kan risken för smittspridning till viss del reduceras.

3.2.4 Avloppsslam

Avloppsslam kan på samma sätt som gödsel från djurhållning vid spridning orsaka mikrobiell förorening av ytvatten som nyttjas som råvatten eller badvatten. Avloppsslammets innehåll av patogener återspeglar förekomsten av patogener i avloppsvattnet som leds till avloppsreningsverket. Redovisning av behandlingsmetoder och föreskrifter tillsammans med en allmän kunskapssammanställning redovisas i SNV-rapport 5215 (Schönning, 2003). Ett antal metoder för att hygiensera slam finns, främst olika varianter av temperaturhöjning och/eller behandling med kalk för pH-höjning till pH kring 12.

3.2.5 Enskilda avloppsanläggningar

I stora avloppsverk med många personer anslutna finns med stor sannolikhet olika patogener alltid närvarande. I mindre system minskar sannolikheten för förekomst av patogener, men om det finns anslutna personer som är infekterade återfinns patogener i höga halter. En blandning av många enskilda avlopp medför en motsvarande variation av patogener som förekommer i en större anläggning (Schönning, 2003).

3.2.6 BDT-vatten

Patogendensiteten är 980 gånger lägre i BDT-vatten (gråvatten) än i avloppsvatten, motsvarande en reduktion på 2,9 log i behandling (Ottoson, 2005).

3.3 Reduktion av mikrobiella föroreningar i råvatten

3.3.1 Nedbrytning

Bakterier, virus och protozoer med fekalt ursprung som når yt- eller grundvatten befinner sig normalt inte i sin naturliga miljö (som ju är mag-tarmsystemet hos ett värddjur eller människa). De flesta av dessa mikroorganismer dör därför bort, även om tiden för denna naturliga avdödning efter ett avloppsutsläpp tar olika lång tid beroende på typ av organism och recipientförhållanden. Ohlsson et al. (2011) anger följande primära påverkansfaktorer att beakta vid modellering av nedbrytning och spridning av mikrobiella föroreningar (främst bakterier) i vattendrag, sjö eller hav: transporttid/uppehållstid, solintensitet, vattentemperatur, siktdjup och salthalt.

3.3.2 Utspädning

Avloppsflödet är normalt endast en mindre del av det tillrinnande flödet till en sjö eller vattendrag, därför sker oftast en successiv utspädning av ett punktutsläpp. Utspädningen har således betydelse för minskning av patogenkoncentrationen i ytvatten. Spridningen av avloppet kan dock vara en mycket komplicerad sak att fastställa eftersom hydrauliken i recipienten varierar med årstid och väderförhållanden.

Här bör dock påpekas att infektionsdosen för olika patogener varierar betydligt. I fallet *Cryptosporidium* är infektionsdosen mycket låg, det vill säga det krävs väldigt få organismer/oocystor för att smitta en människa. Trots omfattande utspädning i råvattentäkten kan risken för vattenburen smitta därmed kvarstå eller åtminstone upplevas som oacceptabel.

3.3.3 Sedimentation

Sedimentation är en annan faktor som är viktig att beakta om man vill studera logreduktion av mikrobiell förorening från utlopp avloppsreningsverk, avloppsledningsnät, djurhållning eller strandbete till råvattenintag, men detta är mycket platsspecifikt. En viktig faktor är i vilken mån och hur hårt mikroorganismerna är bundna till partiklar i vattnet, till exempel jord/mineralpartiklar eller organiskt material.

3.3.4 Reduktion i grundvattenmagasin

I ett grundvattenmagasin sker fastläggning och avdödning av mikroorganismer. En mängd faktorer styr reduktionen av mikroorganismer i grundvattenmagasinet. Vattnets uppehållstid i grundvattenmagasinet är en praktiskt användbar och avgörande parameter för att bedöma och kontrollera att trolig reduktion av mikroorganismer sker.

4 Metodöversikt – verktygslåda

4.1 Introduktion

Metoder för att förhindra avloppspåverkan på råvatten kan indelas i följande huvudgrupper baserat på huvudsaklig process eller aktivitet som avses, med andra ord – vilken typ av mikrobiell barriär eller skyddsåtgärd det rör sig om:

- *Inaktivering* eller avdödning av mikroorganismer innan dessa följer med avloppsströmmen till yt- eller grundvattentäkten. Mikroorganismerna följer därmed med avloppsströmmen, dock utan att kunna infektera.
- Mekanisk, filtrerande, sedimenterande eller annan typ av *avskiljning* av mikrobiell förorening som fungerar som en ”dörrvakt” där mikroorganismer eller ämnen helt eller delvis förhindras följa med avloppsströmmen till recipienten. Avskiljningen beror främst på mikroorganismernas storlek¹, men även förmåga till adsorption till partiklar eller filtermaterial.
- *Blockering* av avloppsströmmen, så att den naturliga avrinningsvägen riktas om till en annan utsläppspunkt eller avloppshantering. Här ingår den mycket vanliga tekniken att anlägga pumpstationer i lågpunkter för vidare överföring till intilliggande avrinningsområden med slutdestination avloppsreningsverk. En total blockering innebär exempelvis att förhindra bräddning eller ytavrinning från gödselhantering/betesmark samt utsläpp av renat avloppsvatten till den aktuella råvattentäkten/recipienten.

Utöver huvudgrupperna ovan, som samtliga innebär direkta hinder för mikrobiell förorening, finns även andra typer av metoder som indirekt eller på sikt (tillsammans med akuta eller långsiktiga åtgärder) förhindrar avloppspåverkan på råvatten. Dessa metoder sammanfattas här i följande huvudgrupp:

- Kontinuerlig *övervakning* av befintliga eller tillkommande avloppsströmmar med syfte att vid behov vidta omedelbara skyddsåtgärder för att trygga en god vattenkvalitet i recipienten, både med tanke på hälso- och miljöaspekter. Oavsett vilken övervakningsmetod som tillämpas är en grundförutsättning att mäta och analysera vattenkvalitet ur ett patogenperspektiv. Detta kan exempelvis göras med hjälp av de mikrobiologiska indikatorerna (E. coli och andra indikatororganismer, se *Bilaga 1*) eller via fekal källspårning.

I följande avsnitt ges en kortfattad beskrivning av olika tekniker och metoder inom samtliga huvudgrupper redovisade ovan. Redovisningen inleds med de så kallade konventionella avloppsreningsprocesserna som i huvudsak

¹ Enligt litteratursammanställning av Lindberg och Lindqvist (2005) är typiska storlekar för (vattenburna) sjukdomsframkallande bakterier = 0,2 µm (Campylobacter), virus = 0,03 µm (Norovirus) och protozoer = 5 µm (Cryptosporidium parvum).

utformats för en effektiv avskiljning av organiskt material och närsalter. Kapitlet avslutas med en översikt i tabellform av ”verktygslådan” avseende mikrobiella barriärer för samhällets avloppsströmmar.

4.2 Konventionell avloppsrening

Reduktionen av mikroorganismer vid behandling av avloppsvatten i konventionella avloppsreningsverk varierar från 0–>5,8 log beroende av processkombination och vilken mikroorganism det rör sig om (Ottoson, 2005).

En studie av svenska avloppsreningsverk med mekanisk, biologisk och kemisk rening visar på en reduktion av indikatororganismer på 80–99,9 % beroende på processkombination och vilken organism det handlar om. Virala indikatorer som kolifager reduceras i lägre grad än bakteriella indikatorer (Ottoson, 2005).

4.2.1 Mekanisk rening

Inkommande avloppsvatten grovrenas för att avskilja trasor, sand och annat material som kan störa funktionen i kommande behandlingssteg. Grovreningen är en mekanisk avskiljning med galler, silar och sandfång.

Därefter följer en försedimentering för att avskilja partiklar i syfte att minska belastningen i efterföljande behandlingssteg. För att uppnå en bättre effekt tillsätts ibland fällningskemikalier innan vattnet går in i försedimenteringen, så kallad förfällning. Reduktionen av mikroorganismer i det mekaniska reningssteget är sannolikt mycket låg eftersom patogenerna i hög grad följer med vattenströmmen till efterföljande reningssteg.

4.2.2 Biologisk rening

Biologisk rening sker i form av aktivt slam, luftningsbassänger och bioreaktorer. Vid svenska avloppsreningsverk som studerats har en reduktion på 53–98 % av indikatororganismer erhållits vid aktiv slam behandling (Ottoson, 2005).

4.2.3 Kemisk rening

Vid kemisk rening används järnsalter eller aluminiumsalter för att bilda svårslösliga fosforföreningar som kan avskiljas genom efterföljande sedimentering eller filtrering. Filtreringssteget är ett effektivt sätt att reducera halten mikroorganismer. Den kemiska fällningen bidrar till att öka avskiljningsgraden eftersom bakterier ofta binder till andra partiklar. Den kemiska/mechaniska reningen som tillämpas i många svenska avloppsreningsverk ger en reduktion på 93–99,6 % av indikatororganismer (Ottoson, 2005).

4.3 Inaktivering

4.3.1 Klorering

Klor är den mest använda desinfektionsmetoden för dricksvattenändamål och reducerar många, men dock inte alla patogener. En vanlig typ av klor som används idag är natriumhypoklorit, men även andra former finns till exempel kloramin och klorgas. Oocystor från protozoer som till exempel *Cryptosporidium* har visat sig resistenta mot klor. Nackdelen med klor är även att giftiga klororganiska föreningar kan bildas. Efterföljande avklore-ring har tillämpats i USA för att undvika ovan nämnda problem med toxiska klorföreningar i recipienten (Marklund, 2012).

I Sverige används idag inte kemisk desinfektion med klor för kontinuerlig drift vid avloppsvattenbehandling.

Naturvårdsverket ställde krav på hygienisering av avloppsvatten efter rening innan det avleddes till recipient fram till mitten av 1970-talet (Lindh, 2013). Processtekniskt löstes detta med en klorkontaktbassäng som sista reningssteg. Med den ökade kunskapen om bildandet av toxiska klorföreningar vid klorering av avloppsvatten upphörde krav på kontinuerlig klorering av utgående avloppsvatten i Sverige i mitten av 1970-talet.

Francy et al. (2012) redovisar uppmätta log-reduktioner mellan 0,71 och 2,57 för indikatorbakterier, kolifager och adenovirus vid klorering av renat avloppsvatten vid ett konventionellt avloppsreningsverk i USA (medelflöde 18 900 m³/dygn). Rose et al. (2004) uppmätte en log-reduktion av koliformer och fekala koliformer (*fecal coliforms*) på cirka 2 vid desinfektion med klor och hypoklorit av biologiskt behandlat och filtrerat avloppsvatten vid 4 avloppsanläggningar i USA. Reduktion av virus och protozoer uppgavs vara betydligt lägre (log-reduktion <1).

4.3.2 UV-ljus

Desinfektion av vatten med UV-ljus är en beprövad teknik med ett stort antal tillämpningar över hela världen. UV-ljuset framkallar en fotokemisk reaktion i arvsmassan (DNA, RNA) hos bakterier, virus och protozoer. Reaktionen ger upphov till ett flertal skador i mikroorganismens arvs massa som innebär att organismen inte kan föröka sig eller ta upp näring (Svenskt Vatten, 2011). UV-behandling ger normalt inte upphov till toxiska bi-produkter.

Grundläggande om inaktiveringsprocessen samt riktlinjer för utformning av UV-anläggning finns beskrivet i publikationer utgivna av Svenskt Vatten, exempelvis Publikation U9 (Svenskt Vatten, 2011) och *Råd och riktlinjer för UV-ljus vid vattenverk* (Svenskt Vatten, 2009). Båda dessa exempel avser UV-desinfektion inom dricksvattenproduktion, men teorin kring UV-behandling är liknande oavsett tillämpning. UV-ljus förutsätter att vattnet ej innehåller för mycket partiklar och suspenderade ämnen. UV-behandling av avloppsvatten kräver därför normalt någon form av partikelavskiljande förbehandling, exempelvis filtrering med hjälp av skivfilter eller sandfilter (se nedan). Dinkloh et al. (2006) anger att halten suspenderade ämnen i avloppsvatten som skall UV-behandlas bör understiga 3 mg/l. Utöver kvaliteten på inkommande vatten till UV-reningsanläggningen är faktorer som

dos, våglängd, typ av UV-lampa, ljusspridning samt driftaspekter som rengöringsrutiner för att undvika påväxt på lysrören viktiga att beakta.

UV-behandling av renat avloppsvatten (Bleisteiner & Pfeiffer, 2003; Rose et al., 2004; Francy et al., 2012) eller bräddvatten (Johansen et al., 2007) innan utsläpp till recipient har förekommit internationellt under mer än ett decennium. Den vanligaste utformningen av anläggningar är öppna kanaler med UV-lamporna parallellt med flödesriktningen. I rännorna finns justeringsmöjligheter så att vattennivån i förhållande till UV-lamporna alltid är konstant oberoende av flödet. Beroende på anläggningens storlek kan kanalen antingen vara fast i betong eller, vid mindre anläggningar, i stål.

Enligt Francy et al. (2012) uppmättes log-reduktioner i storleksordningen 2–3 för indikatorbakterier och kolifager, medan reduktionen var betydligt lägre för F-specifika kolifager och adenovirus.

Enligt tyska källor (www.wasserwelt.com, 2012, *på tyska*) är kostnaderna för UV-desinfektion relativt låga. Kostnaden uppges vara i storleksordningen 2–10 Cent (<0,1 Euro) per kubikmeter inklusive investerings- och driftkostnader. Jämfört med total genomsnittlig behandlingskostnad på 3 Euro per kubikmeter utgör UV-behandlingen några procent av den totala behandlingskostnaden.

4.3.3 Ozon

Ozon är ett oxidationsmedel som skulle kunna användas för desinfektion av avloppsvatten. Fördelen med ozon är att den inte skapar klororganiska föreningar på det sätt som klor kan göra. Ozon är ett effektivt desinfektionsmedel för bakterier och virus samt för de flesta protozoer, till exempel Giardia (Svenskt Vatten, 2011). Enligt Smeets et al. (2006) och Microrisk-projektet (www.microrisk.com) ger ozon en liknande effekt på virus och protozoer medan inaktivering av bakterier tycks vara avsevärt högre.

Oocystorna av *Cryptosporidium* har visat sig tåliga mot ozon, vilket visade sig i samband med det vattenburna utbrottet i Östersund. Detta stöds även av Smeets et al. (2006). I Sverige används idag inte kemisk desinfektion i form av ozon vid avloppsvattenbehandling.

4.3.4 Inaktivering av mikrobiella föroreningar i gödsel

Genom att lagra och/eller behandla gödsel kan halterna av patogener minskas avsevärt innan spridning (Ottoson, 2012). En effektiv inaktivering av samtliga patogengrupper kan fås vid kompostering och termofil rötning (> 50 °C) och en viss reduktion kan erhållas vid mesofil rötning (20 °C–50 °C). Även bearbetning (pH-höjning) med släkt ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) eller osläkt (CaO) kalk ger en snabb behandling mot bakterier och med osläkt kalk även mot virus och parasiter. Behandling med urea kan ge en bra reduktion av bakterier, och ammoniak har visat sig ge en effekt på inaktiveringen av *Cryptosporidium* oocystor.

Liknande metoder, det vill säga temperaturhöjning och/eller pH-höjning med kalk, kan användas för inaktivering av patogener i avloppsslam (Schönning, 2003).

4.4 Avskiljning

4.4.1 Sandfilter

Sandfiltrering är en av de mest beprövade och spridda vattenreningsteknikerna. Sandfilter kan konstrueras på en mängd olika sätt och kombineras med exempelvis direktfällning. Några typer av vanligt förekommande sandfilter är kontinuerligt arbetande filter utan separat backspolningsfunktion (ex. DynaSand), grunda kemkontaktfilter eller trycksatta filter med backspolning. Kornstorleken på sanden och filterbäddens höjd är viktiga variabler, förutom ytbelastningen på filtret (och därigenom uppehållstiden).

Från internationell litteratur kan härledas att sandfilter är en förekommande teknik för att efterpolera avloppsvatten i avloppsreningsverk, då ofta kombinerat med en tillsats av fällningskemikalier före filtret. Denna tillämpning är även en av möjliga processlösningar för att uppnå partikelavskiljning innan exempelvis UV-behandling.

Rose et al. (2004) redovisar försök med en-mediafilter (bäddhöjd 1,2 m, Antracit), två-mediafilter (bäddhöjd 1,1 m resp. 1,8 m, Antracit och sand) och kontinuerligt arbetande filter (bäddhöjd 1,2 m, sand). I samtliga dessa fall var filtrering förbehandling innan desinfektion med klor eller UV-ljus. Reduktionen av indikatororganismer och ett urval av patogener över de studerade filtren var i storleksordningen 1–2 log. Variationen över tid var stor och ingen tydlig skillnad i avskiljningsresultat mellan olika filtertyper kunde bekräftas. För vissa parametrar (exempelvis *Cryptosporidium*) gav de djupare filtren en högre avskiljning. Lägst avskiljning uppmättes för virus. *Giardia* och *Cryptosporidium* var svårtolkat men i samma storleksordnings som virus (Rose et al., 2004). Ett stort antal tyska tillämpningar av sandfiltrering innan UV-behandling finns i avloppsanläggningar längs floden Isar (Dinkloh et al., 2006).

Koivunen et al. (2003) uppmätte i en studie av 3 stycken filteranläggningar i pilotskala vid finska avloppsreningsverk att avskiljning av salmonella var god (anm. till halter under detektionsgränsen) och för koliforma bakterier var avskiljningen 99 % (2 log) för ett kontinuerligt backspolat sandfilter (bäddhöjd 2 m; kornstorlek 0,9–1,2 mm; Dosering med PAX18 före filtrering; Kemdos < 1,0–2,2 g Al/m³; hydraulisk belastning 7–8 m/h; pilotskala 150 pe).

Sannolikt är de kontinuerligt arbetande sandfiltren ("uppströms-filter") den vanligaste sandfiltertypen i avloppsapplikationer på senare tid. Fördelen är att kornstorleken är mindre i denna typ av filter, vilket ger en högre avskiljning av små partiklar och att mikroorganismer av mindre storlek avskiljs effektivare (Koivunen et al., 2003). Den samlade ytan av sandkornen blir även större med mindre kornstorlek. För praktisk tillämpning i större avloppsreningsverk kan dock utrymmesbehov för sandfiltrering vara stort och ett stort antal filterenheter krävs. Normalt krävs pumpning upp på filtren, vilket är en stor nackdel på grund av de extra kostnader för driften detta medför.

4.4.2 Skivfilter

Ett skivfilter består av ett flertal sildukar med cirka 10–20 µm porstorlek som sitter monterade som vertikala skivor på en horisontell axel. Exempel på skivfilterinstallation vid Huskvarna avloppsreningsverk illustreras i figur 4-2. Avloppsvattnet leds in i filterenheten från gaveln och filtreras genom duken där partiklarna avskiljs. Filtratet samlas upp i tråget under maskinen. Dukens porer blockeras snabbt av partiklarna och måste efter någon halv minut spolas (Mattsson, 2005). För att tillgodose detta roterar filterenheten och spolning sker av duken i den övre delen av enheten.

Ett nyligen presenterat examensarbete vid Chalmers tekniska högskola (Ennerhall & Stenmark, 2012) redovisar resultat avseende avskiljning av mikrobiella föroreningar i skivfilteranläggning vid Ryaverket, Göteborg. För indikatororganismer (*E. coli*, enterokocker, koliforma bakterier och klostidier) var reduktionen efter skivfilter i medeltal 27–62 %. Halterna kolifager och norovirus reducerades inte alls.

Skivfilter är en etablerad teknik i Sverige idag, en av världens största skivfilteranläggningar är nyligen installerad vid Ryaverket i Göteborg. Fördelen med skivfilter är att den är relativt kompakt (jämfört med exempelvis sandfilter) och att partikelavskiljningen leder till förbättrat reningsresultat avseende organiska ämnen och näringsämnen. Igensättning av sildukarna är på minussidan, detta problem ökar med mindre porstorlek. Underlaget för att dra slutsatser om skivfilters förmåga att ge avskiljning av mikrobiella föroreningar är begränsat, men studier vid Ryaverket i Göteborg pekar hitills på att avskiljning av indikatororganismer och patogener är relativt låg eller mycket låg (speciellt avseende virus).

4.4.3 Membran, MBR

Tillämpningar med membran inom vattenrening har utvecklats kraftigt under senare tid. En form av tillämpning som finns spridd över världen är membranbioreaktor (MBR) (*eng. Membrane bioreactor*), är en modifiering av aktivt slam processen. Metoden bygger på membranfiltrering med liten porstorlek (0,45 µm) och ger en reduktion av indikatorbakterien *E. coli* på åtminstone 5 log (Sima et al., 2011; Francy et al., 2012). Virus är mindre än porerna i membranet. Efter att en biofilm byggts upp på membranet kan avsevärd avskiljning även ske för virus. Protozoer avskiljs i högre grad eftersom dessa är större än porerna i membranet. Förväntad logreduktion för virus är i dagsläget svår att slå fast, men logreduktioner i storleksordningen 2–6 för calicivirus, norovirus och adenovirus (Sima et al., 2011; Francy et al., 2012; Kuo et al., 2010) bedöms vara rimliga. Tidigare genomförda internationella studier pekar på att det kan finnas en potential att uppnå en relativt hög virusavskiljning med MBR, uppemot 5 log.

MBR klarar troligen inte stora flödesvariationer lika bra som traditionell aktivslamanläggning med sedimentation i bassänger. Igensättning bör även vara en driftaspekt att bemästra. Avskiljningsgraden av mikroorganismer gynnas av påbyggnad på membranet. Direkt efter rengöring finns därmed en risk att virus passerar genom membranet. MBR är sannolikt dyrare avseende anläggning och drift jämfört med konventionell teknik. En fördel med MBR, utöver avskiljning av mikrobiella föroreningar, är att den ger en

effektivare nedbrytning av organiskt material på grund av högre slamhalt än i en traditionell aktivslamprocess.

4.4.4 Naturnära efterpolering av renat avloppsvatten

Våtmarksbehandling har framhållits som en möjlig åtgärd för att efterpolera avloppsvatten, men även ytvattenavrinning från lantbruk (gödselhantering och djurhållning). Reinoso et al. (2008) har redovisat avskiljning av mikroorganismer i storleksordningen 78–98 % för ett antal olika typer av anlagda våtmarker i Spanien.

4.4.5 Buffertzoner för avrinning från lantbruk

Genom att anlägga buffertzoner med vegetation nedströms området med smittkällan, i detta fall lantbruket, kan en reduktion av patogener uppnås.

En studie med avrinning av *Giardia* som jämförde planterade vegetationsremsor med nakna jordremsor visade att en signifikant behandlingseffekt uppnåddes (Winkworth et al., 2008). 26 % färre *Giardia* detekterades i avrinningen som samlas in från de planterade remsorna. Även användning av halmkompost för att hindra och fördröja avrinning över markytor samt binda upp oocystor har enligt ett antal undersökningar uppvisat goda resultat med avseende på att minska antalet *Cryptosporidium* i avrinning från betesmark (Miller et al., 2008).

4.5 Blockering

4.5.1 Redundans

En form av blockering är att dubblera samtliga kritiska delar i ett avlopssystem, för att på detta sätt undvika utsläpp av orenat avloppsvatten till recipienten. På detta sätt motverkas nödutsläpp/bräddning vid haverier och el-bortfall. Erfarenheten visar att större haverier inom VA-försörjningen är ovanliga, men omöjliga att helt undvika. Åtgärderna är tydligt plats-specifika, men generellt består åtgärden i att tillskapa ett reservsystem med pumpar, ledningar och reservkraft som står standby ifall huvudsystemet faller bort. Reservsystemet bör driftsättas rutinmässigt för att vara säker på funktionen den dag ett haveri inträffar. Många exempel på reservkraft inom VA-anläggningar och dubblering av pumpinstallationer finns i Sverige idag, dock i första hand inom dricksvattenförsörjningen.

Man bör notera att dubblering av pumpar eller reservkraftaggregat som regel inte löser problemen med bräddning som uppstår i ett avloppssystem när orsaken är hydraulisk överbelastning på grund av nederbördspåverkan, exempelvis i kombinerade avloppsledningsnät vid kraftiga regn. Det är inte ovanligt med nederbördspåverkan även i duplikata ledningsnät, dock ofta med en fördröjning efter regntillfällena eller blöta perioder.

Åtgärder som skapar redundans kan även tillämpas i avloppsreningsverk, åtminstone i kritiska anläggningsdelar för att alltid ha en viss reningsfunktion. Även redundans i icke-kommunala anläggningar (enskilda, samfälligheter och lantbruk) kan vara aktuella.

Fördelen med en utbyggd redundans är att mycket stora tillfälliga utsläpp av mikrobiella föroreningar undviks vid haverier. Nackdelen är att åtgärder kan vara mycket kostsamma och tidskrävande (flera år) om fullständig redundans ska uppnås.

4.5.2 Magasinering

Principen för magasinering är att utjämna flöden som överstiger avloppsanläggningens kapacitet. Således undviks bräddning av orenat avloppsvatten. Metoden är tillämpbar i alla delar av avloppssystemet (ledningsnät, pumpstation eller reningsverk).

Johansen et al. (2007) har dokumenterat flerårsuppföljning av ett försök med bland annat magasinering av bräddvatten vid avloppspumpstation i Danmark.

4.5.3 Begränsningar avseende gödselspridning

I dagsläget finns ett antal generella bestämmelser för gödselspridning, bland annat regleras mängd fosfor per hektar spridningsareal och år. Följande är exempel på regler som är specifika för olika delar av landet beroende på hur känsliga områdena är för näringsläckage (Ottoson, 2012; www.jordbruksverket.se):

- Gödslingen skall anpassas till fältets förutsättningar, inte spridas på vattenmättad/översvämmad mark eller på mark som täcks av snö eller är frusen.
- Den skall inte heller spridas närmare än två meter från åkerkant som gränsar mot vattendrag eller på mark som sluttar mer än tio procent ner mot vattendrag eller sjö.
- Gödsel som sprids på obevuxen mark skall brukas inom 4 timmar.

Reglerna är utformade för att minska kväveförluster till mark och vatten men fungerar även för minskad avrinning av mikroorganismer. Mer utförlig information kring de råd, regler och föreskrifter som gäller kring gödselspridning ges via www.jordbruksverket.se.

4.5.4 Begränsningar avseende strandbete

Strandbete innebär en risk för snabb spridning av patogener till vattendrag/sjöar. Genom att ha exempelvis vatten, utfodring och väderskydd en bit från stranden ökar sannolikheten att fekalier hamnar på land, vilket medför mindre risk för transport av patogener till vattendraget. Sunohara et al. (2012) har genomfört provtagningar uppströms samt nedströms områden med respektive utan strandbete under en femårsperiod. Undersökningen visar att förhindrande av betande boskap inom 3–5 meter från intermittenta vattendrag kan förbättra vattenkvaliteten samt att vattenkvaliteten kan försämrats om boskap har oförhindrad tillgång till vattendrag.

Även djurdensitet och ålder på djur kan användas som en barriär. Kalvar är i högre grad infekterade av *Cryptosporidium parvum* och *E. coli* O157 och utsöndrar fler infektiösa celler än vuxna djur. Genom att begränsa tillgången till strandbete för unga djur minskas riskerna för smittspridning (Ottoson, 2012).

4.5.5 Begränsa avloppsutsläpp inom primärt skyddsområde

Exempel på åtgärd är att förhindra/undvika avloppsinfiltration inom primärt skyddsområde för grundvattentäkt. Inom denna kategori kan även omnämnas åtgärdsplaner för omvandlingsområden eftersom förbättring av enskilda avlopp eller kommunal VA-anslutning här kan vara en betydelsefull åtgärd för att skydda råvatten eller badvatten från mikrobiell påverkan.

4.5.6 Flytta utsläppspunkt till mindre sårbar recipient

Genom att anlägga pumpstationer och tryckavloppsledningar (även kallad överföringsledning) kan en avloppsström förflyttas från sitt naturliga avrinningsområde alternativt transporteras längre sträckor än vad som ofta är praktiskt möjligt med självfallssystem. Detta sker idag i många centraliserade avloppssystem där spillvatten från flera bebyggelseområden samlas till ett större avloppsreningsverk där höggradig rening redan finns utbyggd. Trenden har under en längre tid varit att ersätta mindre avloppsreningsverk med pumpstationer och ledningar, om så är möjligt. Motivet har dock oftast varit effektivisering och förhoppningar om långsiktigt minskade kostnader för underhåll och reinvestering av avloppsreningsverk.

Åtgärden att omleda eller överföra avlopp till mindre känslig recipient kräver dock ofta stora investeringar, omfattande utredningar av konsekvenser för miljön och hydrologi samt samordning med övriga kommunala planer. Det är inte omöjligt att åtgärden ger möjlighet till utveckling av nya bebyggelseområden i anslutning till nya ledningsstråk.

4.6 Övervakning

Allmänt avser denna aktivitet övervakning av befintliga eller tillkommande avloppsströmmar samt råvattenkvalitet med syfte att vid behov vidta omedelbara skyddsåtgärder för att trygga en god vattenkvalitet, både med tanke på hälso- och miljöaspekter.

Oavsett vilken övervakningsmetod som tillämpas är en grundförutsättning att mäta och analysera vattenkvalitet ur ett patogenperspektiv. Detta kan göras med hjälp av de mikrobiologiska indikatorerna (*E. coli* och andra indikatororganismer, se *Bilaga 1*) eller via fekal källspårning. Det senare är i stark utveckling, bland annat inom det pågående projektet *Verktyslåda för fekal källspårning på laboratorium och i fält* finansierat av Myndigheten för Säkerhet och Beredskap (MSB). Detta projekt kommer bland annat att utreda potentialen av analytiska tekniker såsom fluorescence, kemiska markörer och mikrobiell källspårning (MST).

När det gäller de traditionella mikrobiologiska indikatorerna *E. coli*, koliforma bakterier, Intestinala enterokocker och *Clostridium perfringens* ger dessa bristfällig träffsäkerhet för samtliga patogener men möjligheten ges att följa trender och få en indikation om påverkan från olika avloppsströmmar. En stor fördel med dessa indikatororganismer är den goda tillgången på jämförelsedata och att de är relativt billiga att analysera.

Vattenmyndigheterna har definierat olika former av övervakning; kontrollerande, operativ och undersökande övervakning (källa: <http://www.vattenmyndigheterna.se>). *Kontrollerande övervakning* ska ge en generell beskrivning och en representativ bild av vattenstatusen i varje vattendistrikt. *Operativ övervakning* ska genomföras för att fastställa statusen på de vattenförekomster som bedöms ligga i riskzonen för att inte uppfylla miljökvalitetsnormen. Den operativa övervakningen ska även användas till att följa upp effekterna av de åtgärdsprogram som satts in uppnår önskad effekt och mål. Den operativa övervakningen kan ändras, exempelvis när den aktuella påverkan har försvunnit. *Undersökande övervakning* inrymmer en strategi för övervakningsinsatser vid till exempel olyckor eller i vatten där man inte känner till orsakerna till att god status inte uppnås. Den kan även användas för att ge en övergripande bild av ett ämne eller biologisk parameter, där situationen sedan tidigare är okänd eller dåligt undersökt.

Utöver detta omnämns övervakning i skyddade områden enligt särskilda EG-direktiv som en egen kategori. Särskilt relevanta skyddade områden med tanke på ämnesområdet för denna studie är:

- områden som fastställts för uttag av vatten som är avsett att användas som dricksvatten.
- vattenförekomster som fastställts som rekreationsvatten, inklusive områden som fastställts som badvatten enligt direktiv 2006/7/EG.

4.6.1 Sensorer och on-line mätning av mikrobiell förorening

Utvecklingen av on-line mätning av indikatororganismer för avloppspåverkan (fekal påverkan) har pågått en längre tid, i huvudsak för tillämpningar inom kontroll av dricksvattenkvalitet. En redogörelse för olika tillgängliga tekniker och tillämpningar i Sverige och internationellt redovisas i SVU-rapport 2009-03 *Tidiga förvarningssystem – Är det någonting för våra kommuner?* (Hedström et al., 2009). En rapport utgiven av USEPA redovisar en kritisk granskning av olika sensorer och andra mättekniker inom kontinuerlig eller driftrelaterad dricksvattenkvalitetsövervakning (Hall et al., 2009).

Kontinuerlig mätning av mikroorganismer i råvatten kan vara problematiskt av flera skäl. En dansk utvärdering av instrumentet (Coliguard) som mäter halten koliforma bakterier i dricksvatten via enzymaktivitetsmätning "on-line" (svarstid 3 timmar) visade på osäkra mätresultat vid låga halter mikrobiell förorening (Bjergaarde et al., 2012). Utvecklingen av nya och bättre sensorer kan antas ske successivt eftersom behov och intresse för dessa tekniker finns.

4.6.2 Modellering

Mål och ambitionsnivå med modellering av råvattenkvalitet kan vara mycket skiftande. Något förenklat handlar det om att bygga upp en datormodell av vattentäkten med in- och utflöden av vatten och föroreningar geografiskt angivna. Samtliga betydande fysikaliska, kemiska och biologiska processer beskrivs med etablerade ekvationer och samband. Normalt används kommersiellt utvecklad programvara och arbetet med modelluppbbyggnad och kalibrering genomförs med hjälp av externa specialister.

Ett exempel på användbarheten av en modell av en ytvattentäkt ges i SVU-rapport 2011-18 *Värdering av risker för en relativt opåverkad ytvattentäkt* (Åström et al., 2011). Studien visar att en hydrodynamisk modellering av Rådasjön bedöms ge beslutsunderlag för prioritering av åtgärder med utgångspunkt i patogennivåer. Modellresultatet underlättade även en mikrobiell riskanalys enligt MRA-metoden.

SVU-rapport 2011-08 (Ohlsson et al., 2011) redovisar en modellstudie av tätortens inverkan på recipienters bakteriella status baserat på mätningar och modellering i Halmstad. Halmstadstudien visar att mikrobiell förorening via bräddning på avloppsledningsnätet är mest komplicerad att ta fram. Med en ledningsnätsmodell och dynamisk modellering av andelen spillvatten i bräddvattnet så kan utspädningsgrad och därigenom bräddvattnets innehåll av patogener bedömas. Halmstadstudien visar även att källorna till mikrobiell förorening och fördelningen mellan dessa kan se mycket olika ut vid intensiva och volymrika regn jämfört med perioder av basflöde.

Åström (2013) kommenterar och jämför sju GIS-baserade hydrologiska modeller för att beskriva generering och spridning av *Cryptosporidium* och *Giardia* i ytvattentäkter. Några av modellerna omfattade även andra mikroorganismer såsom *E. coli* och *Campylobacter*. Studien pekar bland annat ut GIS-modellering som ett användbart analysverktyg vid upprättande av vattenskyddsområden där ofta flera kommuner berörs.

Sammanfattningsvis, modellering kan vara ett bra verktyg för att tolka och dra mesta möjliga nytta av mätdata, samt möjliggöra riskvärdering och åtgärdsplanering/simulering.

4.6.3 Inventering av felkopplingar från spillvatten till dagvattennätet

Erfarenheter från flera kommuner visar att felkoppling av spillvatten till dagvatten förekommer. Detta problem även omnämnt i internationella studier (Marsalek & Rochfort, 2004). Genom mätning av indikatororganismer i strategiska punkter i dagvattennätet kan eventuella felkopplingar ringas in. För att bestämma var felkoppling är belägen inom en fastighet eller delområde kan kompletterande undersökningar behövas, exempelvis tv-inspektion.

4.6.4 Kontrollprogram djurhälsa

En viktig åtgärd för att minska smittspridning från lantbruk är att ha friska djur. I vissa fall uppvisar djuren dock inga symptom (t.ex. *Campylobacter* och VTEC), varför det är omöjligt att helt undvika förekomsten av sjukdomsframkallande mikroorganismer. En låg prevalens på individnivå ger en stor utspädning på besättningsnivå. I Sverige har vi en tradition av att jobba preventivt med djurhälsa, bland annat har vi sedan 1950 ett kontrollprogram för att reducera förekomsten av salmonella i alla steg av produktionskedjan, vilket har uppvisat goda resultat. Att arbeta förebyggande med hygienrutiner kan ha en begränsande effekt på spridningen av sjukdomsagens (Ottoson, 2012).

4.6.5 Kontrollprogram människohälsa

Ytterligare en metod att övervaka potentiell avloppspåverkan på råvatten är att kontrollera frekvensen av samtal till sjukvårdsrådgivningen (1177) på orten. Samtal som rör akut mag-tarmsjukdom (ex. kräkningar och diarré) kan ge en indikation på att dricksvattenkvaliteten försämrats avseende mikrobiell status, vilket rimligen orsakats av försämrad råvattenkvalitet. Studier i Göteborg, med råvattentäkt Göta Älv, publicerade av Tornevi et al. (2013) visar att det finns ett samband mellan mag-tarmsjukdom och nederbörd uppströms råvattenintaget. Under en studerad period om cirka 1 500 dagar rapporterades cirka 25 000 samtal kopplade till mag-tarmsjukdom. Ökande antal sjukdomsfall 5–6 dagar efter kraftiga regn kan förklaras av avloppspåverkan på råvatten och bristfälliga mikrobiella barriärer i vattenverken.

Övervakning och analys av statistik från sjukvårdsrådgivningen borde således kunna användas för att bedöma behovet av förbättrade mikrobiella barriärer. Metoden borde också kunna användas för att följa upp om åtgärder ger effekt. Om en kraftig ökning av samtal till sjukvårdsrådgivningen sker, kan det ses som en larmsignal att öka tillsynen av möjlig avloppspåverkan i tillrinningsområdet eller inventera vattenverkets funktion. För att detta skall fungera behöver man hitta rutiner som effektivt och utan dröjsmål överför information från sjukvårdsrådgivningen till VA-huvudmannen och den lokala miljömyndigheten.

4.7 Översikt verktyglåda

■ INAKTIVERING	■ AVSKILJNING	■ BLOCKERING	■ ÖVERVAKNING
Klorering	Sandfilter	Redundans	Sensorer och on-line mätning av mikrobiell förorening
UV-ljus	Skivfilter	Magasinering	Modellering
Ozon	Membran, MBR	Begränsningar avseende gödselspridning och strandbete	Inventering av felkopplingar
Inaktivering av mikrobiella föroreningar i gödsel	Naturnära efterpolering av renat avloppsvatten	Begränsa avloppsutsläpp inom primärt skyddsområde	Kontrollprogram djurhälsa
	Buffertzoner för avrinning från lantbruk	Flytta utsläppspunkt till mindre sårbar recipient	Kontrollprogram människohälsa

Figur 4-1 Översikt verktyglåda. Illustration: Maritha Mörtzell.

5 Enkätundersökning

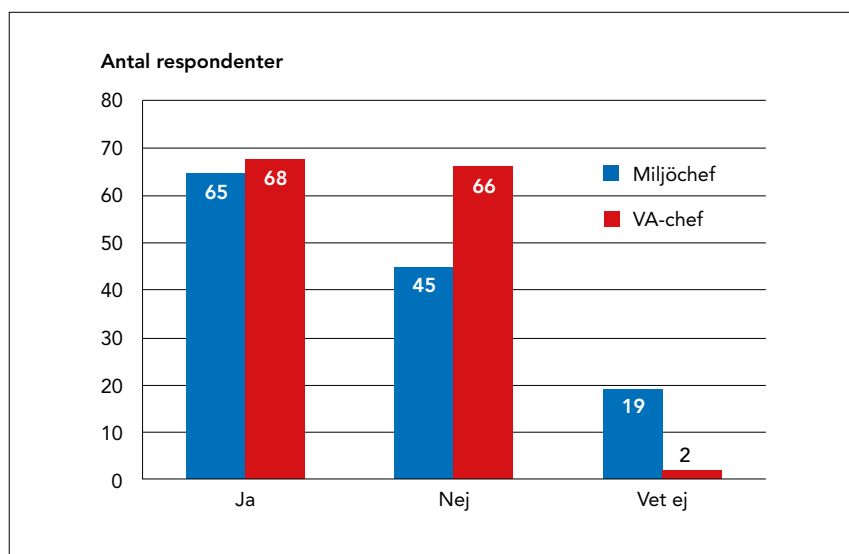
Ett delmål med denna studie var att kartlägga vilka metoder som används i Sverige idag för att förhindra mikrobiell avloppspåverkan på råvatten. En intressant fråga var även hur ansvariga tjänstemän vid kommunala miljöenheter och VA-verk bedömer hotbilden mot råvattnet och på vilken grund har man vidtagit eller planerar att vidta åtgärder. Syftet med enkätundersökningen som genomfördes inom projektet var att sprida ljus över dessa frågeställningar samt att vara ett underlag för uppföljande undersökningar.

Enkätundersökningen genomfördes under november–december 2012. Samtliga VA-chefer och kommunala miljöchefer i Sverige bjöds in att besvara enkäten. Mål, metod och enkätutformning redovisas tillsammans med enkätresultatet i *Bilaga 2*.

Nedan redovisas en sammanfattning av enkätresultatet som baseras på 136 inlämnade svar från VA-chefsenkäten och 129 svar från miljöchefsenkäten. Några av svaren har en avsändare som representerar ett VA-bolag eller miljöförbund där fler kommuner ingår. Svarsfrekvens för båda enkäterna var cirka 50 %.

5.1 Hotbild

Ungefär hälften (50 %) av de tillfrågade VA-cheferna upplever en hotbild mot sina råvatten avseende mikrobiell förorening (se figur 5-1). Bland miljöcheferna upplevde en något större andel en hotbild, även om relativt många ansåg sig ej kunna besvara frågan. VA-chefer och miljöchefer hade en liknande syn på orsakerna till upplevd hotbild. Av de förhandsgivna alternativen angavs "Djurhållning/Lantbruk" som den viktigaste orsaken (cirka 70 % har angett detta alternativ), tätt följd av "Avlopp från enskilt avlopp".



Figur 5-1 Upplevd hotbild mot råvatten avseende mikrobiell förorening, VA-chefer och miljöchefer.

På frågan om orsakerna till upplevd hotbild var fler svarsalternativ möjliga. Cirka 40 % av VA-cheferna och miljöcheferna angav att avlopp från kommunalt VA-system var orsak till upplevd hotbild. Andel som angav annan orsak var 25–30 %.

5.2 Åtgärder kommunalt avlopp

Flera frågor kring genomförda och planerade åtgärder ställdes till VA-cheferna. Frågorna var indelade i 1/Avloppsreningsverk, 2/Avloppspumpstationer och 3/Avloppsledningsnät.

När det gäller avloppsledningsnät och avloppspumpstationer:

- Cirka en tredjedel har genomfört och planerar åtgärder för att begränsa spridningen av mikrobiell förorening.
- Åtgärder som begränsar bräddning dominerar. Svaresresultatet för pumpstationer och ledningsnät visar stora likheter.
- Inom avloppsledningsnät fanns även ett förhandsgivet alternativ avseende larm och övervakning. Cirka 20 % av uppger att denna typ av åtgärd genomförts.

Avseende åtgärder inom avloppsreningsverk:

- Cirka 40 % av VA-cheferna uppgav att åtgärder genomförts och cirka 20 % planerar framtida åtgärder.
- Den vanligaste åtgärden är att begränsa bräddning (18 % av inkomna svar).
- Utrustning för klorering för tillfällig drift i avloppsreningsverk uppges finnas i cirka 18 % av VA-organisationerna/kommunerna. Inga nya anläggningar planeras.
- UV-ljus för tillfällig drift har genomförts eller planeras i en handfull kommuner.

Drygt en tredjedel av VA-organisationerna/kommunerna har genomfört åtgärder mot bräddning (ca 35 %) inom avloppsreningsverk, avloppspumpstationer eller avloppsledningsnät. Lika stor andel anger att åtgärder mot bräddning planeras.

De kommentarer som getts visar på en stor variation av planerade åtgärder vid avloppsreningsverk, avloppspumpstationer och avloppsledningsnät. Totalt inkom ett 50-tal beskrivningar av åtgärder som planeras, varav huvuddelen handlar om att på olika sätt begränsa bräddning (exempelvis via åtgärder som minskar eller utjämnar mängden ovidkommande vatten). Även andra åtgärder inom kategorierna avskiljning, inaktivering, blockering och övervakning planeras.

Av miljöcheferna uppgav knappt hälften (ca 44 %) att det finns exempel på genomförda åtgärder i den egna kommunen. En relativt stor andel (16 %) kände inte till om åtgärder vidtagits och resterande (40 %) svarade att åtgärder inte vidtagits för att begränsa spridning av mikrobiell förorening från kommunalt avlopp.

5.3 Åtgärder enskilt avlopp

Miljöcheferna fick frågan om det finns exempel på åtgärder som vidtagits för att begränsa spridning av mikrobiell förorening från enskilt avlopp. Över 80 % svarade att åtgärder vidtagits. Fria kommentarer indikerar att vanliga åtgärder inom kategorin enskilt avlopp är inventering, tillsyn och krav på utökad rening avseende enskilda avloppsanläggningar samt krav på anslutning till kommunalt avlopp. Medvetenheten om problemen med enskilda avlopp och behovet av riktad tillsyn förefaller vara utbredd.

5.4 Åtgärder djurhållning/lantbruk

Ett antal frågor kring mikrobiell förorening från djurhållning och lantbruk ingick i enkät som var riktad till landets kommunala miljöchefer.

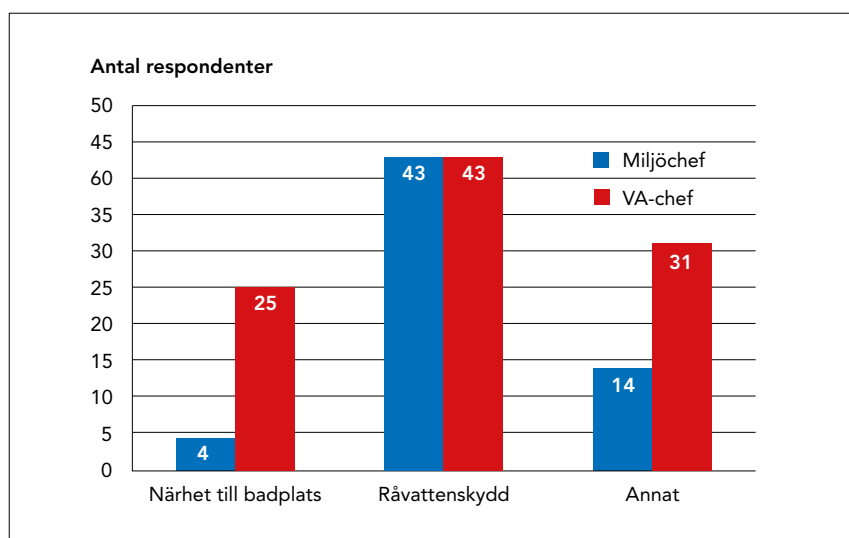
Exempel på genomförda åtgärder uppgavs finnas i hälften av kommunerna. Färre uppger att åtgärder planeras (ca en tredjedel). Andelen osäkra var dock betydligt högre avseende planerade åtgärder jämfört med genomförda åtgärder.

Ett 60-tal kommentarer till genomförda åtgärder inkom som fritextsvar. Drygt hälften av kommentarerna omnämner specifikt åtgärder inom gödselhantering genom förbud, tillsyn och reglering av gödselspridning samt krav på gödselvårdsanläggningar. En tredjedel av kommentarerna anger utformning och tillämpning av vattenskyddsområde med föreskrifter som exempel på genomförda åtgärder. En sjättedel av kommentarerna (ca 10 st.) beskriver begränsning, krav och tillsyn på djurhållning.

När det gäller planerade åtgärder inom djurhållning och lantbruk dominerar miljöchefernas kommentarer av begreppen vattenskyddsföreskrifter och tillsyn, det vill säga åtgärderna kopplas i många fall till en framtida myndighetsutövning inom vattenskyddsområden.

5.5 Motiv till åtgärder

En följdfråga ställdes till de som angett att åtgärder genomförts avseende det huvudsakliga motivet till åtgärden/åtgärderna. Majoriteten av VA-chefer och miljöchefer svarade att råvattenskyddet varit det huvudsakliga motivet, se figur 5-2 nedan. Här bör noteras att VA-cheferna angav motivet till åtgärderna inom sitt ansvarsområde, det vill säga kommunalt avlopp, och miljöcheferna svarade på frågan om motivet till åtgärder inom djurhållning och lantbruk.



Figur 5-2 Huvudsakligt motiv till genomförda åtgärder mikrobiell förorening.

En betydligt större andel av VA-cheferna jämfört med miljöcheferna angav närhet till badplats som huvudsakligt motiv. Andelen som angav andra motiv var relativt stor, vilket även redovisades i efterföljande fritextsvar. Andra motiv som omnämns är huvudsakligen allmän miljöhänsyn/recipientskydd och begränsning av övergödning (både VA- och miljöchefer). Flera av VA-cheferna uppgav även bräddning och (minskning av) ovidkommande vatten som motiv till åtgärder.

5.6 Vattenskyddsföreskrifter

Ungefär lika stor andel av VA-cheferna svarade ja respektive nej på frågan om aktuella vattenskyddsföreskrifter i tillräcklig mån skyddar råvattnet från mikrobiell förorening. Svarmotivering och fria kommentarer kring temat vattenskyddsföreskrifter visar på en liknande problembild med föråldrade föreskrifter och pågående arbete i många kommuner. Flera omnämner intressekonflikter och att långsiktigt vattenskydd är komplicerat, bland annat på grund av att framtida hot och risker ej är kända.

Hälften av miljöcheferna uppgav att befintliga vattenskyddsföreskrifter är ett bra verktyg för tillsyn, kontroll och krav på åtgärder. Samma andel, det vill säga hälften av miljöcheferna, ansåg att utsläpp av mikrobiella föroreningar från djurhållning och lantbruk regleras i tillståndprocessen. En fjärdedel tyckte inte att reglering sker och resterande fjärdedel ansåg sig inte kunna svara.

6 Exempel på genomförda åtgärder i Sverige

6.1 *UV-behandling av utgående avloppsvatten under sommarhalvåret, Huskvarna*

Huskvarna avloppsreningsverk har idag mekanisk, biologisk och kemisk rening, men trots en effektiv reningsprocess som renat bort synlig föroreningar och övergödande näringsämnen så finns det fortfarande höga halter av bakterier i det utgående avloppsvattnet (Kall & Raudberget, 2011). Det utgående avloppsvattnet leds genom Huskvarnaån till Vättern vid Oset i Huskvarna. Mycket nära Huskvarnaåns mynning i Vättern ligger en badplats som är välbesökt varma sommarkvar. Vättern är även råvattentäkt för huvuddelen av inneånarna i Jönköpings kommun. Även andra kommuner norrut tar sitt råvatten från Vättern. Mikrobiella risker i dricksvattenproduktionen på grund av utsläpp av renat avloppsvatten har dock inte varit avgörande för åtgärderna redovisade nedan.

Försök med kompletterande kemisk rening har tidigare genomförts. Åtgärden bestod i att dosera ytterligare en fällningskemikalie (PAX) under sommarsäsongen för att förbättra kvaliteten på badvattnet. Detta har dock inte medfört ett minskat antalet bakterier i det utgående vattnet mer än indirekt då halten suspenderat material minskar genom ökad avskiljning i processen.

Tekniska kontoret, Jönköpings kommun, startade under 2006–2007 arbetet med att projektera och installera en anläggning som ytterligare renar och även desinficerar det utgående avloppsvattnet i Huskvarna avloppsreningsverk. Desinfektionen sker med hjälp av UV-ljus och målet har varit att uppnå kraven i EU:s badvattendirektiv på det utgående avloppsvattnet för att därmed också indirekt förbättra kvaliteten på badvattnet vid Oset i Huskvarna.

Anläggningen togs i drift i början av juli 2007 och har sedan dess varit i drift under badsäsongen (juni–augusti) varje år. För att desinfektionsanläggningen skall få så bra effekt som möjligt placerades den efter sista ordinarie reningssteg i en nybyggd kanal. Desinfektionsanläggningen består av en filterenhet och ett UV-system, där filterenheten reducerar suspenderat material som annars kan försämra effekten av den efterföljande UV-doseringen. Skivfilter och UV-anläggning i Huskvarna avloppsreningsverk illustreras i figur 6-1 och 6-2.

Filterenheten består av skivfilter med en filterduk som initialt hade en porstorlek på 10 µm. På grund av upprepade igensättningar av filterduken byttes denna till en duk med porstorlek 20 µm. Skivfilter används för att sänka halten av suspenderat material i vattnet som annars kan medföra försämrade genomlysning av UV-ljuset och därmed ge lägre effektiv UV-dos. Skivfiltret backspolas med filtrerat avloppsvatten, varefter spolvattnet samlas upp och leds till en på verket befintlig förtjockare. Vattnet som samlats upp i förtjockaren pumpas vidare till inloppet på avloppsreningsverket.



Figur 6-1 Skivfilter Huskvarna avloppsreningsverk.



Figur 6-2 UV-anläggning Huskvarna avloppsreningsverk.

UV-systemet vid Huskvarna avloppsreningsverk består av sex moduler med åtta lågtryckslampor per modul och ger totalt en UV-effekt på 400 J/m². Vattnet genomlysas av UV-lamporna, och anläggningen är installerad så att ett så jämnt flöde som möjligt genom UV-systemet erhålls. Det är viktigt att jämnt flöde passerar UV-ljus för att vattnet skall få tillräcklig UV-dos och därmed bli tillräckligt desinficerat. Anläggningen kan byggas ut med flera moduler om behov skulle uppstå i framtiden.

Skivfilter och UV-anläggningen är dimensionerad för följande parametrar i inkommande vatten:

- Maximalt flöde 1 100 m³/h.
- Maximal halt av suspenderat material 10 mg/l.
- Vattentemperatur 15–22 °C.
- E. coli 100 000 cfu/100 ml.
- Koliforma bakterier 500 000 cfu/100 ml.
- Intestinala enterokocker 100 000 cfu/100 ml.

Jönköpings kommun dimensionerade anläggningen för att utgående vatten inte skall överstiga nedanstående bakteriehalter:

- E. coli 100 cfu/100 ml.
- Intestinala enterokocker 100 cfu/100 ml.
- Koliforma bakterier 500 cfu/100 ml.

Gränserna för E. coli och intestinala enterokocker baserade kommunen på kraven för utmärkt kvalitet i badvattendirektiv 76/160/EEG. Gränsvärde för koliforma bakterier inkluderades på grund av att det är en parameter som miljökontoret i Jönköpings kommun tidigare använt vid bedömning av badvatten. Efter 2008 använder kommunen istället det nya badvattendirektivet (2006/7 EG) för utvärdering av bakteriehalter i utgående vatten där gränserna för utmärkt badvattenkvalitet i inlandsvatten är 500 cfu/100 ml för E. coli och 200 cfu/100 ml för Intestinala enterokocker.

Drifterfarenheterna från åren 2007–2010 har sammanställts i ett antal interna rapporter av Kall och Raudberget (2007–2011) som nedkortad men oredigerad form återges nedan:

Resultat sommaren 2007; anläggningen fungerade dåligt på grund av intrimningsproblem. Det huvudsakliga problemet var igensättning av skivfilter vilket gjorde att vatten bräddade förbi filtret och totalt sett erhöles ingen påvisbar inaktivering med UV-ljuset.

Resultat sommaren 2008; halterna gällande E. coli var lägre än gränsen för utmärkt kvalitet enligt 2006/7 EG vid samtliga tillfällen trots att bakteriehalterna i vattnet in i desinfektionsanläggningen enligt analyserna vid något tillfälle överstigit den halt som anläggningen är dimensionerad för. De koliforma bakterierna nämns inte som gränsvärden i förordningen 2006/7 EG, men tidigare använd riktlinje har varit 500 cfu/100 ml. Denna riktlinje har inte heller överskridits vid något tillfälle under säsongen 2008.

Gränsen för utmärkt kvalitet när det gäller Intestinala enterokocker uppgår till 200 cfu/100 ml i 2006/7 EG och den gränsen har vid några tillfällen överskridits, men gränsen för bra kvalitet har dock endast överskridits vid två tillfällen.

Efter korrigeringar 2008 och följande år har anläggningen fått en bättre funktion. Åtgärder som genomfördes var att byta ut filterduken (porstorlek 20 µm istället för 10 µm) samt installation av en automatisk syratvätt av filterduken. Även installationen av en frekvensstyrd avloppsvattenpump i verket gjorde att belastningen på skivfilter och UV-anläggning blev jämnare från och med badsäsongen 2008.

Resultat sommaren 2009; halterna gällande E-coli har överstigit gränsen för utmärkt kvalitet enligt 2006/7 EG vid ett par tillfällen, men endast en gång har gränsen för tillfredsställande kvalitet överskridits. De koliforma bakterierna nämns inte med gränsvärden i förordningen 2006/7 EG, men tidigare använd riktlinje har varit 500 cfu/100 ml. Denna riktlinje har också endast överstigits vid ett par tillfällen. Gränsen för utmärkt kvalitet när det gäller Intestinala enterokocker uppgår till 200 cfu/100 ml i 2006/7 EG och den gränsen har överskridits endast vid ett tillfälle. Överskridanden av halterna av de olika parametrarna sker vid samma tillfällen och vid ena tillfället beror detta troligtvis på ett tillfälligt högt flöde som medfört bräddningar förbi skivfiltret. Överskridanden vid det andra tillfället kan inte förklaras med höga flöden, men däremot kan en låg transmittans eventuellt vara förklaringen vid det tillfället. En låg transmittans kan medföra försämrad förmåga för UV-ljuset att tränga igenom vattnet med försämrad desinfektionseffekt som följd. Under 2009 erhöles inga driftstörningar på vare sig UV-anläggningen eller skivfilteranläggningen förutom bräddningar på grund av högt flöde.

Resultat sommaren 2010; halterna gällande E-coli har överstigit gränsen för utmärkt kvalitet enligt 2006/7 EG vid endast ett tillfälle, och vid det tillfället överskreds även gränsen för tillfredsställande kvalitet med råge. De koliforma bakterierna nämns inte med gränsvärden i förordningen 2006/7 EG, men tidigare använd riktlinje har varit 500 cfu/100 ml. Denna riktlinje har dock endast överstigits vid ett par tillfällen. Gränsen för utmärkt kvalitet när det gäller Intestinala enterokocker uppgår till 200 cfu/100 ml i 2006/7 EG och den gränsen har överskridits vid tre tillfällen. Vid ett tillfälle av dessa tre överskreds dock ej gränsvärdet för bra kvalitet. Vid höga flöden bräddar en delström av avloppsvattnet förbi biosteget varvid avloppsvattnet in till skivfiltret har hög halt av suspenderat material även efter eftersedimenteringen. Den ökade belastningen av organiskt material medför att skivfiltret blir tätt, vilket i sin tur medför att vattnet bräddar förbi skivfiltret och UV-ljuset klarar inte av att desinficera vattnet. Under 2010 har detta problem uppstått vid några tillfällen och personalen har fått rengöra skivfiltret genom en tidsödande manuell syratvätt som komplement till den automatiska syratvätten.

6.2 UV-behandling vid avloppsreningsverk under badsäsong, Arvika

Arvika kommun installerade försommaren 2010 en UV-ljusanläggning (Dåverhög, 2011) (figur 6-3). Syftet med anläggningen är att utgående avloppsvatten behandlas med UV-ljus innan det leds ut i recipienten Kyrkviken. Genom denna behandling reduceras mängden bakterier kraftigt och reningsverkets bidrag till förhöjda bakteriehalter i Kyrkviken under badsäsongen minimeras. Kyrkviken har under de senaste 100 åren varit belastad med kommunalt avloppsvatten och dagvatten. Vid flera tillfällen under tidigare badsäsonger har prover från Kyrkviken visat på alltför höga bakterietal. I Arvika installerades ingen utökad filtrering och partikelavskiljning före UV-ljusanläggningen (exempelvis via behandling med skivfilter) eftersom halten suspenderade ämnen ansågs vara tillräckligt låg även utan partikelavskiljande förbehandling.



Figur 6-3 UV-ljusanläggning Arvika avloppsreningsverk.

Kraven på UV-ljusutrustningen som ställdes var:

- Anläggningen skall dimensioneras för flöden på 600 m³/h, ett flöde motsvarande drygt 90 % av alla noterade maxflöden baserat på timupplösning under maj–september 2008.

Analys av det UV-ljusbehandlade vattnet skall för nedanstående parametrar understiga:

- Intestinala enterokocker ≤ 200 cfu/100 ml.
- *Escherichia coli* ≤ 500 cfu/100 ml.

Arvika kommun baserade gränserna för bakteriehalter i utgående vatten enligt ovan på NFS 2008:8. Angivna halter motsvarar gränsen för utmärkt badvattenkvalitet i inlandsvatten och är även i överensstämmelse med badvattendirektiv 2006/7 EG.

Enligt internrapport Arvika kommun (Dåverhög, 2011) kan drifterfarenheter sammanfattas enligt följande:

- Installationen av UV-ljusläggningen har varit lyckad. UV-ljusläggningen har fungerat mycket bra, analyserade värden har till största del legat klart under kraven för utmärkt badvattenkvalitet för de analyserade parametrarna, *E. coli* och intestinala enterokocker.
- Vid de tillfällen man inte uppnått ställda krav har detta inte berott på själva UV-ljusläggningen utan på yttre faktorer. Åtgärder har vidtagits som förväntas ge fortsatt låga bakteriehalter och en än mer stabil drift.
- För att kunna få en korrekt flödesmätning efter det att UV-ljusläggningen installerats krävdes det att befintlig flödesmätning byttes ut. Från att ha mätt utgående flöde i skibord mäts nu utgående flöde med en dopplermätare.

6.3 Åtgärder mikrobiologiska risker Lyckebyån, Karlskrona

Karlskronas vattenförsörjning baseras på ytvatten från Lyckebyån. Lyckebyåns avrinningsområde sträcker sig igenom tre län (Kronoberg, Kalmar och Blekinge) och 6 kommuner. Totalt försörjer Lyckebyån 54 000 personekvivalenter med dricksvatten inklusive ett antal industrier. 20 500 personekvivalenter bor inom avrinningsområdet. Inom avrinningsområdet finns ett antal kommunala avloppsreningsverk som har sitt utsläpp av renat avloppsvatten till Lyckebyån. Cirka 50 % har enskilt avlopp.

I samband med tillståndsprövningen för stadens utsläpp av avloppsvatten (utsläpp från avloppsreningsverket, bräddningar från ledningsnät samt pumpstationer) har Karlskrona kommun fått föreläggande av Länsstyrelsen att utföra en riskinventering med efterföljande åtgärdslista (Strand, 2013). Detta arbete ska redovisa vilka effekter utsläpp av avloppsvatten medför på miljö samt människors hälsa. Arbetet berör tre kommuner; Lessebo, Emmaboda och Karlskrona.

Resultatet från riskinventeringen visar att det finns ett antal mikrobiologiska risker uppströms råvattenintaget som bör reduceras för att minska risken för människors hälsa. De åtgärder som kommunen planerar att vidta i syfte att erhålla en ökad mikrobiologisk status i Lyckebyån är:

- Nedläggning av kommunalt avloppsreningsverk som avbördar avloppsvatten till Lyckebyån, cirka 10 km uppströms råvattenintaget. Avloppsvattnet avbördas istället via en nyförlagd ledning till reningsverket i Karlskrona med utlopp i Östersjön.
- För att ytterligare minska den mikrobiologiska belastningen på Lyckebyån så ansluts enskilda avlopp efter ledningssträckan (anslutning till kommunalt avlopp). Åtgärderna planeras att utföras under 2013–2014 och har en budget på cirka 15 miljoner.
- Kommunens övriga avloppsreningsverk med utlopp till Lyckebyån men som ligger längre uppströms, kommer att åtgärdas på liknande sätt. Där är tidplanen satt till 2017–2018.
- Samtliga bräddpunkter från kommunens avloppsledningsnät och -pumpstationer med utlopp till Lyckebyån är under utredning i syfte att undvika/minimera bräddningar. Utredningen bedöms vara klar under 2013. Tänkbara alternativa åtgärder är:
 - utbyggnad av permanenta reservkraftsanläggningar som säkerställer pumpning även vid strömbortfall.
 - anläggande av bräddmagasin för att blockera/minimera bräddning vid höga flöden.
 - bortledning av avloppsvatten till annan recipient.

Övriga risker som uppmärksammas är ett stort jordbruk med betesmark och strandbete cirka 300 meter uppströms råvattenintaget. Nuvarande skyddsområde och föreskrifter för vattentäkten reglerar dock ej denna verksamhet. Arbetet med att revidera föreskrifterna pågår.

Ytterligare dokumentation finns avseende genomförd modellering av Lyckebyån (DHI på uppdrag av vattenmyndigheten) samt förslag till vattenskyddsområde för Lyckebyån med föreskrifter (Vatten & Samhällsteknik AB, Kalmar, juni 2012).

6.4 Övervakning av sjöförlagd tryckavloppsledning i råvattentäkt, Jönköping

Flera mindre samhällen nordost om Jönköping/Huskvarna tätort är anslutna till Huskvarna avloppsreningsverk vid Vätterns södra strand (Wennerberg, 2013). Tidigare skedde avloppsrening lokalt, men VA-verk har precis som i många andra kommuner successivt ersatts med långa överföringsledningar och pumpstationer. Avloppsreningsverket i Kaxholmen är taget ur drift, men bassängerna i verket används för magasinering av avloppsvatten som på grund av gynnsam topografi leds med självfall ("självtryck") till Huskvarna avloppsreningsverk. Avloppsledningar som är naturligt trycksatta består dels av markförlagda PVC-rör och sjöförlagda helsvetsade PE-rör i Vättern. Reglering av flöde görs i Huskvarna avloppsreningsverk med automatventil som

är inställd för att hålla en viss nivå i magasin uppströms samt för att tryckavloppsledning ej ska tömmas.

Noggrann flödesmätare är installerad på utgående ledning i före detta avloppsreningsverk. Varje natt stängs ventil på inkommande ledning till Huskvarna avloppsreningsverk. Flödet ska då vara noll, men sker trots allt ett flöde avges ett larm till beredskapsorganisation utan dröjsmål.

Larm har förekommit som berodde på läcka på markförlagd PVC-tryckledning (på land). Haveri (ledningsbrott) på sjöförlagd tryckavloppsledning (i råvattentäkten Vättern) har ej inträffat.

Orsak till ventilstängning är även att skapa ett större självrensflöde. Under nattetid sker uppfyllnad av lagringsvolym i före detta reningsverk (idag utjämningsbassäng för avlopp från uppströms liggande bebyggelse). Vid öppning av ventil möjliggörs ett högre flöde som rensar ledning från avlagringar. Annars uppstår problem med svavelvätebildning.

6.5 Reglering av gödselhantering i vattenskyddsområde i Borås

Öresjö vattentäkt försörjer cirka 80 000 personer i Borås och Bollebygds kommuner med dricksvatten. Möjligheten till alternativa vattentäkter är mycket begränsad och därför klassas Öresjö vattentäkt som en vattentäkt med mycket högt skyddsvärde. Öresjö har ett vattenskyddsområde, vars nuvarande utsträckning och skyddsföreskrifter är fastställda år 2007. Vattenskyddsområdet utsträckning har tidigare varit mindre. Vattenskyddsområdet omfattar markområden i Borås, Herrljunga och Ulricehamns kommuner (Wennström, 2013).

För att skydda råvattentäkten anger skyddsföreskrifterna att yrkesmässig hantering av stallgödsel och andra organiska gödselmedel samt slam från reningsverk kräver tillstånd av den kommunala nämnden för miljöfrågor. Detta gäller för primär och sekundär skyddszon. Strandbete regleras inte. Miljö- och konsumentnämnden har gjort bedömningen att det är rimligt att likställa primär och sekundär zon i vattenskyddsområden med definitionen av känsliga områden enligt Statens Jordbruksverks föreskrifter om miljöhänsyn i jordbruket vad avser växtnäring (SJVSF 2004:62).

I samband med att tillstånd för gödselhanteringen meddelas anges ett antal villkor (Wennström, 2013), till exempel:

- Lagring av stallgödsel inom primär och sekundär skyddszon ska ske i gödselvårdsanläggning som är utformad så att läckage till angränsande mark inte sker. Lagringsutrymmet ska minst motsvara gödselproduktionen under 8 månader, om jordbruket har mer än 10 djurenheter.
- Organiska gödselmedel får inte spridas på mark som är vattenmättad eller översvämmande. Inte heller får organiskt gödsel spridas på frusen eller snötäckt mark.
- Spridning av organiska gödselmedel får inom primär zon inte ske närmare sjö eller vattendrag än 6 meter.
- Stukalagring av organiska gödselmedel får inte ske.

- I primär och sekundär zon ska flytgödsel och urin spridas i växande gröda eller inför vårsådd alternativt inför sådd av höstoljeväxter.
- Pressvatten från ensilagehantering och avloppsvatten från mjölktrum ska samlas upp och tas omhand utan att läckage till angränsande mark sker.

Ett tillstånd för gödselhantering meddelas normalt för en period på 10 år. Även vid Borås kommuns grundvattentäkter meddelas speciella villkor för gödselhantering i samband med att tillstånd beviljas.

6.6 Bortledning av dräneringsvatten från betesmark i Karlshamn

I Karlshamns ytvattentäkt Långasjön har periodvis förhöjda halter *E. coli* uppmätts (Randsalu, 2013). De förhöjda halterna har förekommit med relativt långa intervall emellan. Problemet identifierades till det område där en bäck från närliggande betesmark mynnar i sjön. Efter samråd mellan kommunen och lantbrukaren har ett dräneringssystem anlagts i betesmarken, så att dräneringsvatten kan samlas upp och pumpas bort. Vattnet pumpas upp till en våtmark/dammanläggning på andra sidan en vattendelare, varifrån det sedan rinner ner till ett annat vattensystem. På så sätt har belastningen på råvattentäkten med avseende på smittämnen kunnat reduceras.

7 Diskussion

Denna studie sonderar terrängen avseende vilka metoder som finns och vilka metoder som används eller planeras i Sverige idag för att säkerställa den mikrobiella statusen i recipienten. Resultatet är en verktygslåda med ett 20-tal möjliga åtgärder som direkt eller indirekt kan förhindra avloppspåverkan på råvatten. Åtgärderna sorterades i fyra huvudgrupper (inaktivering, avskiljning, blockering och övervakning) för att om möjligt strukturera verktygslådan och stödja åtgärdsplanering. Variationen mellan olika åtgärder är stor och sannolikt krävs mer än en enskild åtgärd för att uppnå önskad skyddsnivå med avseende på mikrobiella föroreningar.

Utgångspunkten för studien var råvattenkvalitet och drivkraften följaktligen att förhindra vattenburen smitta på grund av avloppspåverkan på råvatten och därmed indirekt även på dricksvatten. De senaste årens rubriker om tusentals magsjuka på grund av svårfångade parasiter i dricksvattnet har ökat det allmänna medvetandet. Paradoxalt nog är det badvattenkvalitet och de krav som ställs av badvattendirektivet som gett tydligast resultat i form av konkreta åtgärder inom inaktivering av patogener i avloppsvatten (UV-behandling av avloppsvatten). Detta pekar på en möjlig svårighet om mikrobiella barriärer ska användas på en avloppsström som avleds till råvattentäkten. Vilken råvattenkvalitet ska vi uppnå? Vad ska vi kräva av leverantören av anläggningen?

Tydliga kvalitetskrav i form av gränsvärden för indikatororganismer och typiska patogener saknas idag för råvatten, men för badvatten är gränsvärdena satt för *E. coli* och *Intestinala Enterokocker*. Kraven kan dock möjligen uttryckas i antalet mikrobiella barriärer eller "barriärhöjd". En åtgärd som förhindrar avloppspåverkan bör kunna värderas på liknande sätt som mikrobiella barriärer i vattenverket. Som denna studie visar finns det både processtekniska åtgärder ("strukturella" åtgärder) men också åtgärder inom planering, tillsyn och kontroll ("icke-strukturella" åtgärder). Hur barriärverkan av de olika åtgärderna ska värderas kräver fortsatta studier. När det gäller de strukturella åtgärderna som ger rening av mikrobiella föroreningar i en avloppsström genom inaktivering och avskiljning är det teoretiskt möjligt att ansätta förväntade log-reduktioner för olika indikatororganismer och patogener. För de "icke-strukturella" åtgärderna kan det vara betydligt svårare.

Ordval och begrepp kan vara laddade, så även här och i synnerhet i kommunikation med allmänhet och beslutsfattare. Begrepp som *förhindra* mikrobiell förorening eller mikrobiella *barriärer* kan behöva diskuteras och förtydligas. Ett försök att ge en nyanserad beskrivning kan vara att utgå från riskbegreppet, exempelvis *acceptabel* risk för vattenburna sjukdomsutbrott. En bedömning av risken måste alltid göras utifrån lokala förhållanden, inklusive en bedömning av naturliga processer som ger inaktivering och reduktion i vattenförekomsten. Det är alltså viktigt att påpeka att inga praktiskt-ekonomiskt rimliga åtgärder ger ett råvatten eller badvatten garanterat fritt från sjukdomsframkallande mikroorganismer.

Enkätundersökningen indikerar att en majoritet av landets VA-chefer och miljöchefer upplever en hotbild avseende mikrobiell förorening av

råvatten. Dessutom upplever en stor andel att nuvarande vattenskydds-föreskrifter inte ger tillräckligt skydd och framtagande av nya föreskrifter upplevs som komplicerat och tidskrävande. Åtgärdsplanering för att minska bräddning av orenat avloppsvatten är utbredd över hela landet, så även uppfattningen att enskilda avlopp och djurhållning är viktiga orsaker till hotbilden. Sammantaget antyder enkätsvaren att viljan till åtgärder för att skydda råvattnet från mikrobiell förorening är hög.

Gemensamt för bräddning, enskilda avlopp och djurhållning är att utsläppspunkterna är många eller diffusa, men också att eventuella åtgärder ofta även bidrar till minskad belastning av näringsämnen på recipienten. Enkäten visar att allmän miljöhänsyn och begränsning av övergödning beskrivs som huvudsakliga drivkrafter till åtgärder, som man anser även ha en begränsande effekt på mikrobiella föroreningar. Ett fortsatt fokus på minskad näringsläckage från jordbruk är sannolikt, vilket bör samordnas med förbättrade mikrobiella barriärer i djurhållning och lantbruk. En viktig kommentar i detta sammanhang är att avlopp från människa och fekalier från djur innebär skillnader i risken för vattenburen smitta eftersom fekalier från djur (som sprids exempelvis via gödsel och strandbete) innehåller färre typer av patogener som kan överföras till människa.

En långsiktig strategi som bör övervägas är blockering genom att flytta avloppsströmmar till en mindre känslig recipient eller att med redundans uppnå en nära nog 100 %-ig nivå av driftsäkerhet i avloppshanteringen. Detta kan ofta vara förknippat med stora investeringskostnader och omfattande utredningar. Enkätundersökningen bland VA-chefer tyder på att cirka en tredjedel av landets VA-huvudmän har genomfört eller planerar åtgärder för att begränsa bräddning av avloppsvatten. Denna studie visar därmed att tiden kan vara mogen för att diskutera både processtekniska lösningar (såsom UV-behandling för att behandla vissa punktutsläpp) och mer genomgripande förändringar av hela avloppshanteringen som inkluderar lokalisering av utsläppspunkter och åtgärdsprogram på bred front runt en råvattentäkt. Här ingår även mikrobiella föroreningar från djurhållning och lantbruk.

Det finns en viktig koppling mellan allmänt ökad reningsgrad (avseende organiskt material och näringsämnen) och mikrobiell barriärverkan för vissa metoder, exempelvis membran och skivfilter. Det bör därmed finnas en potential att göra effektiva åtgärdsval och strategiska prioriteringar. I detta läge kan det vara "kontraproduktivt" att alltför bryskt påskynda åtgärder med exempelvis förelägganden, eftersom nödvändig tid för planering, projektering och etappvis utbyggnad bedöms som lång (flera år). Liknande reflexion kan göras även när det gäller det stora intresset och höga aktivitetsnivån när det gäller förnyelse och förbättring av avloppsledningsnäten samt åtgärdsplaner för enskilda avlopp. Ledningsnätsförnyelse är en tidskrävande och kostsam operation som dock ger väldigt många olika fördelar, bland annat minskad bräddning av orenat avlopp eller mängd ovidkommande vatten till avloppsreningsverken (det vill säga potential att ge begränsning av mikrobiell föroreningstransport till recipient och förbättrad råvatten/badvattenkvalitet).

När det gäller inaktivering av avlopp visar litteraturstudien att UV-ljus är den metod som bedöms ha störst potential. Sannolikt finns dock fler typer av desinfektionsmetoder som ej omnämnts här. Ett förväntat ökande behov att behandla avloppsvatten med avseende på mikrobiell förorening,

läkemedelsrester och andra persistenta organiska ämnen skapar en marknad för kemiska reningsmetoder. Fördelen med kemikaliedosering är att detta kan göras utan större om- eller tillbyggnad av befintliga avloppsanläggningar, förutsatt att nuvarande reningsprocess ej störs och att giftiga biprodukter ej bildas som kan skada omgivande miljö. Reningsmetoder som baseras på kemikaliedosering direkt i en avloppsström kan även nyttjas tillfälligt (till exempel med mobila anläggningar) vid nödutlopp på avloppsledningsnätet. Nackdelar är att produktion, transport och lagring av kemikalier kräver resurser och att effekt på omgivande miljö sällan är obetydlig.

Viktiga frågeställningar i åtgärdsplaneringen är bland annat vilka är de huvudsakliga källorna och vad är nuvarande/framtida hotbild? Vilken reduktion av mikrobiella föroreningar i råvatten genom nedbrytning, utspädning och sedimentation kan förväntas? Vilka åtgärder är mest kostnadseffektiva utifrån lokala förhållanden och krav?

Risken för vattenburna sjukdomsutbrott av *Cryptosporidium* har varit allmänt känt länge, åtminstone efter utbrottet i Milwaukee för 20 år sedan. Men hur har vi hanterat denna risk? I backspegeln borde *Cryptosporidium* riskvärderats noggrannare, halter borde mätts regelbundet i råvattnet och översyn av mikrobiella barriärer borde ha gjorts. Det är alltså viktigt att i högre grad återkoppla ökad kunskap hos forskare och myndigheter till den enskilda kommunen och vattensektorn som helhet. Vad är de framtida hoten? Finns det patogener vi borde höja varningsflaggan för? Vad ska vi mäta? Även om indikatorbakterier (som vi normalt mäter) finns i låga eller ej detekterbara halter så kan "tåligare" patogener finnas kvar i råvattnet. I allmänhet finns det fortfarande kunskapsluckor och praktiska problem att mäta och förstå spridningen av vattenburna virus. Vi behöver arbeta proaktivt, även med hänsyn till ett förändrat framtida klimat.

Antalet genomförda åtgärder i full skala inom detta område är relativt få vilket försvårar bedömningar och jämförelser av kostnadseffektivitet. Det mesta tyder på att en punktåtgärd på en prioriterad avloppsström, till exempel UV-behandling i ett avloppsreningsverk, innebär några procents fördyring jämfört med befintlig reningskostnad. Kan man väga kostnader mellan åtgärder på utgående avloppsström mot kostnader för mikrobiologiska barriärer i vattenverken? Teoretiskt borde denna avvägning kunna göras om man har god kunskap om råvattenkvaliteten och dess variationer.

I manual för GDP (Publikation P108, Svenskt Vatten) ges förslag på hur åtgärder som rör vattentäkten och förbättrad råvattenkvalitet kan hanteras. En av de åtgärdstyper som förekommer är "Reduktion av föroreningstillförsel till vattentäkten". Metodiken skulle behöva utvecklas för att kunna värdera reduktion av utgående mikroorganismer i avloppsströmmarna, exempelvis via UV-behandling eller filtrering. I dag krävs i princip en fullständig blockering av avloppspåverkan för att erhålla en log-reduktion. De mikrobiologiska riskvärderingsmodeller som tagits fram bedöms vara en bra grund för det fortsatta arbetet att värdera nyttan av åtgärder som förhindrar avloppspåverkan. Teoretiskt borde man kunna tillgodoräkna sig en säkerställd förbättring av råvattenkvalitet. Även andra typer av modeller som beskriver mikroorganismernas spridningsmönster i vattentäkten har potential att studera effekten av en åtgärd.

8 Slutsatser

Denna studie visar att det finns flera åtgärder och aktiviteter att överväga för att förhindra mikrobiell förorening av råvatten. En kartläggning av metoder har resulterat i en verktygslåda för reduktion av mikroorganismer som härstammar från olika avloppsströmmar, innan dessa når recipient som även nyttjas som råvattentäkt. Baserat på litteraturstudier kan metoderna indelas i fyra undergrupper; *Avskiljning*, *Inaktivering*, *Blockering* och *Övervakning*.

Exempel på åtgärder inom samtliga dessa fyra undergrupper finns i Sverige idag. Motivet för genomförda och planerade åtgärder är i första hand råvattenskydd men även skydd av badvattenkvalitet har föranlett åtgärder.

Internationellt har olika metoder för att förhindra mikrobiell förorening tillämpats i högre grad än i Sverige. De internationella erfarenheterna och tillämpningarna kan generellt antas vara applicerbara för svenska förhållanden. Relativt få fullskaleförsök har dock dokumenterats.

Sammantaget, fem metoder/åtgärder som har stor potential bedöms vara:

1. Avskiljning med sandfilter (eventuellt kombinerat med kemisk fällning/kemikaliedosering).
2. Avskiljning med membran, exempelvis membranbioreaktor (MBR).
3. Inaktivering med UV-ljus troligen kombinerat med partikelavskiljande förbehandling (skivfilter eller sandfilter).
4. Begränsning av mikrobiella föroreningar från gödsel och djurhållning genom långsiktig planering, tillsyn och etablerande av skyddszoner.
5. Blockering av avloppsström genom att flytta avloppsströmmar eller källor till mindre känsliga recipienter eller utloppspunkter (exempelvis via åtgärdsplan för enskilda avlopp, överföringsledningar, reservkraft vid pumpstationer eller magasin).

Kunskapen om de olika åtgärdernas förmåga att minska halterna av sjukdomsframkallande mikroorganismer i avloppsströmmen är inte heltäckande. Reduktionen av indikatororganismer såsom *E. coli* är väl dokumenterad, men reduktionen av olika typer av avloppsrelaterade virus och parasiter är betydligt mindre känd även om ett flertal dokumenterade studier av vissa reningsanläggningar genomförts internationellt. Följaktligen, det är till viss del osäkert om hur olika åtgärder i fullskala förhindrar spridning av parasiter och virus, i synnerhet virus.

Kostnadsjämförelser för olika åtgärder är i dagsläget svår att bedöma, framför allt när det gäller kostnader för framtida drift och underhåll. Kostnads-nyttoanalyser behöver utvecklas för att underlätta åtgärdsprioriteringen eftersom en viss åtgärd kan tjäna flera syften. Ett exempel på detta är investeringar i avloppsledningsnät och överföringsledningar som förutom minskade bräddningar och blockering av avloppsström till en viss känslig recipient ofta ger möjligheter till tillkommande anslutningar och samhällsbyggande i allmänhet. För inaktivering med UV-ljus i avloppsreningsverk kan en ökad driftkostnad (inklusive kapitalkostnader) på någon eller några

procent förväntas, baserat på några enstaka exempel av dokumenterade kostnadsutfall. Mer genomgripande investeringar i nya avloppsledningar eller åtgärder som förhindrar diffusa källor exempelvis ytavrinning från lantbruk innebär ofta stora investeringskostnader, men det uppnådda skyddet och reningseffekten är långsiktigt större.

Mikrobiella barriärer för olika avloppsströmmar bör kunna tillämpas/inkluderas i de metoder för riskvärdering som är etablerade idag (GDP och MRA). En åtgärd som påverkar mikrobiella statusen av en kontinuerlig avloppsström och indirekt råvattnet bör teoretiskt kunna ge en viss barriärhöjd i dricksvattenkedjan.

9 Fortsatt arbete

Ämnesområdet mikrobiell förorening av råvatten och badvatten är mycket omfattande och aktivitetsnivån är för tillfället hög på många plan. En generell slutsats som kan dras av denna förstudie är att de sjukdomsframkallande mikroorganismernas liv och förekomst i yt- och grundvatten fortfarande till viss del är bristfälligt förklarat. En återkommande reflexion är att mätmetodiken behöver utvecklas i syfte att få fram mer data. Detta har också bäring på ett framtida behov av betydligt tätare eller måhända ”smartare” kontrollprogram. Analyskostnaderna riskerar att bli enorma om vi ska mäta allt överallt, så här finns ett stort behov av fortsatt arbete, det vill säga hur, när, var och vad ska vi mäta? Fortsatta studier kring relativt okända mikroorganismer behövs, kan det finnas ”nya patogener” som skapar framtidens hotbild?

Som tidigare nämnts vore det lämpligt att utreda vidare om det går att definiera möjliga riktvärden (i råvatten) för de mikrobiologiska parametrar vi beslutar oss för att mäta i framtiden. Riskvärdering är fortsatt viktig och metodiken behöver utvecklas, men utan möjlighet att sätta upp mål för råvattenkvalitet kan det bli svårt att följa upp om åtgärderna är tillräckliga. Med ett fortsatt arbete avseende lämpliga riktlinjer för dimensionering kan även krav ställas och följas upp gentemot leverantörer av reningsanläggning.

Från enkäten kan framför allt två saker pekas ut som möjliga teman för fortsatta studier:

- Åtgärder mot bräddning av orenat avloppsvatten. En stor andel har genomfört eller planerar att genomföra åtgärder inom detta område. Minskning av bräddning medför även flera andra fördelar såsom minskning av närsaltbelastning och estetisk påverkan på ytvatten. Vilka goda exempel finns och ger åtgärderna avsedd effekt? Hur genomförs uppföljning och kontroll av bräddade mängder samt dess påverkan på bad- och råvattenkvalitet avseende halter av mikroorganismer.
- Vattenskyddsområden och vattenskyddsföreskrifter. Många kommuner arbetar med att upprätta aktuella vattenskyddsföreskrifter. Flera omnämner intressekonflikter och att långsiktigt vattenskydd är komplicerat, bland annat på grund av att framtida hot och risker ej är kända. Det tycks finnas ett behov av ökat stöd till kommuner och länsstyrelser samt studier och förslag som effektiviserar handläggningen av vattenskyddsärenden.

Förslag till fortsatt arbete kring redovisade metoder för att förhindra avloppspåverkan sammanfattas nedan:

- Fullskalestudier av UV-behandling av avloppsvatten. Fortsatt uppföljning och utökad mätning vid de två redovisade anläggningarna i Huskvarna och i Arvika är intressant. Mätning av fler parametrar än indikatorbakterierna *E. coli* och *Intestinala enterokocker* kan behövas för att visa om UV-behandling ger förväntad reduktion av olika typer av patogener (virus och parasiter). Överskattar eller underskattar vi

inaktivering av patogener när vi studerar inaktivering av indikatororganismer? Om UV-behandling ska användas året runt behöver anläggningens funktion under olika årstider studeras ytterligare.

- Långtidsuppföljning av vattenkvalitetsförbättring i hela vattentäkten till följd av åtgärder på avloppsströmmar. Önskvärt att studera effekt av flera olika typer åtgärder på olika avloppsströmmar (kommunala avlopp, enskilda avlopp, lantbruk och djurhållning). Detta bör kombineras med modellering vilket även kan ge en utvecklad kunskap om spridnings- och nedbrytningsprocesser i vattentäkten. Alltså, vad ger åtgärderna för teoretisk och uppmätt effekt vid råvattenintaget?

10 Referenser

- Arnone, R. D. & Walling, J. P. (2006) Evaluating *Cryptosporidium* and *Giardia* concentrations in combined sewer overflow. *J Water Health*, 4 (2) pp. 157–165.
- Bergstedt, O. & Norberg, P. (2005) Må leve med giardia en stund. Observationer från Bergen hösten 2004. Livsmedelsverkets VAKA-grupp.
- Bernes, C. & Lundgren L. J. (2009) Bruk och missbruk av naturens resurser, Monitor 21 – En svensk miljöhistoria. Svenska Naturvårdsverket, publikation 2009:09. ISBN:978-91-620-1274-8.
- Bjergaarde, N. E. & Hansson, E. (2012) New methods for on-line detection of coliforme bacteria in drinking water. Proceedings Nordisk dricksvattenkonferens Stockholm, Juni 2012.
- Bleisteiner, S. & Pfeiffer, W. (2003) Desinfektion av avloppsvatten med UV – grunder, tekniker och erfarenheter <http://www.uni-wh-utm.de/download> På tyska.
- Bäckman, H. (1984) Avloppsledningar i svenska tätorter i ett historiskt perspektiv: ett sammandrag av tekniska förutsättningar, ideer och diskussioner under 1900-talets ledningsbyggande, Vol. 74 av Meddelande, Chalmers tekniska högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen.
- Dinkloh, L., Hübner, J., Dillig, H., Malachewitz, I. & Preikschat, M. (2006) UV-Anlage für das Klärwerk II Gut Marienhof in München, Die Flußmeister <http://www.flussmeister.de/archiv/pdf/38.pdf>.
- Donovan, E., Unice, K., Roberts, J. D., Harris, M. & Finley, B. (2008) Risk of Gastrointestinal Disease Associated with Exposure to Pathogens in the Water of the Lower Passaic River. *Appl and Environmental Microbiology*, Vol 74, No 4, pp 994–1003.
- Dryselius, R. (2012) Mikrobiologiska dricksvattenrisker ur ett kretsloppsperspektiv – behov och åtgärder. Livsmedelsverkets rapportserie nr 6/2012.
- Dåverhög, M. (2011). Installation och drift av UV-ljusanläggning på Viks avloppsreningsverk, 2010. Internrapport Arvika Teknik AB 2011-04-18.
- Ekvall, A. (2010) Utbrott av calicivirus i Lilla Edet – händelseförlopp och lärdomar. Svenskt Vatten Utveckling Rapport 2010-13
- Ennerhall, C. & Stenmark, E. (2012) Disc Filters to Reduce Wastewater Pathogen Levels in Raw Water Sources – Risk Reduction Potential for Göta älv. Master's thesis 2012:54, Chalmers tekniska högskola.
- Francy, et al. (2011) Quantifying viruses and bacteria in wastewater... (ej komplett titel) US geological survey, Scientific Investigations Report 2011-5150.
- Francy, et al. (2012) Comparative effectiveness of membrane bioreactors, conventional secondary treatment, and chlorine and UV disinfection to

- remove microorganisms from municipal wastewater. *Water Research* 46, pp. 4164–4178.
- Hedström, A., Jönsson, R. & Mäki, A. (2009) Tidiga förvarningssystem – Är det något för svenska vattenverk? *Svenskt Vatten Utveckling Rapport* 2009-03.
- Hall, Szabo, Panguluri & Meiners (2009). Distributions system water quality monitoring: Sensor technology evaluation methodology and results. US EPA 600/R-09/076.
- Johansen, N. B., Hallager, P., Laustsen, A., Nielsen, J.B., Kristensen, N.T.D., Nordemann, P., Nielsen, G. G. & Arnbjerg-Nielsen, K. (2007) Enhanced local treatment of combined sewer overflows enabling the implementation of the Water Framework Directive Proceedings Proceedings Novatech07, Lyon.
- Jönsson, R., Kvibacke, C., Mäki, A. & Wikström, A-S. (2008) Vattenburen smitta i Walkerton år 2000 – en internetstudie. *Rapport Livsmedelsverket*.
- Kall, M. & Skredsvik-Raudberget, C. (2007–2011) Desinfektion med UV-ljus, Huskvarna avloppsreningsverk. Internrapporter, Tekniska kontoret, Jönköpings kommun.
- Koivunen, J., Siitonen, A. & Heinonen-Tanski, H. (2003) Elimination of enteric bacteria in biological–chemical wastewater treatment and tertiary filtration units. *Water Research*, Vol 37, No 3, pp 690–698.
- Kuo, D.H, Simmons, F.J., Blair, S., Hart, E., Rose, J.B. & Xagorarakis, I. (2010) Assessment of human adenovirus removal in a full-scale membrane bioreactor treating municipal wastewater. *Water Res.* 44 (5):1520–1530.
- Lindh, A. (2013) f.d. ansvarig för avloppsfrågor, *Svenskt Vatten*. Personlig kommunikation.
- Lindberg, T. & Lindqvist, R. (2005) Dricksvatten och mikrobiologiska risker. *SLV Rapport* 28-2005.
- Lindhe, A. (2010a) Risk assessment and decision support for managing drinking water systems. *Doktorsavhandling*, Chalmers Tekniska Högskola.
- Lindhe, A. (2010b) Riskanalys från råvatten till tappkran. *Svenskt Vatten Utveckling Rapport* 2010-08.
- Livsmedelsverket (2011) Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten. *Livsmedelsverket, Rapport SLVFS* 2001:30.
- Livsmedelsverket, Smittskyddsinstitutet, *Svenskt Vatten* (2011) Cryptosporidium och Giardia – rekommendationer om åtgärder för att minska risken för vattenburen smitta.
- Mac Kenzie, W.R., Hoxie, N.J., Proctor, M.E, Gradus, M.S., Blair, K.A. & Peterson, D.E. (1994) A massive outbreak in Milwaukee of cryptosporidium infection transmitted through the public water supply. *N Engl J Med.* 1994 Jul 21;331(3):161-7.

- Marklund, S. (2012) VA-chef, Luleå kommun. Personlig kommunikation.
- Marsalek, J. & Rochfort, Q. (2004) Urban wet-weather flows: sources of fecal contamination impacting on recreational waters and threatening drinking-water resources. *J Toxicol Environ Health* 67 (20–22) pp. 1765–1777.
- Mattsson, A. (2005) Skivfilteranläggning på Ryaverket. Gryaab, Report 2005:4, Göteborg.
- Miller, W.A., Lewis, D.J., Pereira, M.D.G, Lennox, M. et al (2008) Farm Factors Associated with Reducing *Cryptosporidium* Loading in Storm Runoff from Dairies. *J. Environ. Qual.* 37:1875–1882.
- Norsk Vann (2009a) ODP – Optimal desinfektionspraxis, Norsk Vann Rapport 169-2009.
- Norsk Vann (2009b) Veiledning til bestemmelse av god desinfeksjonspraxis. Sluttrapport fra prosjektet Optimal desinfeksjonspraxis. Norsk Vann Rapport 170-2009.
- Ohlsson, L., Karlsson, D. & Gustafsson, L-G. (2011) Tätorters inverkan på recipienters bakteriella status. *Svenskt Vatten Utveckling Rapport* 2011-08.
- Ottoson, J. (2005) Comparative analysis of pathogen occurrence in wastewater: management strategies for barrier function and microbial control. Doktorsavhandling. Kungliga tekniska högskolan (KTH), Stockholm.
- Ottoson J., Hansen, A., Björlenius, B., Norder, H. & Stenström, T.A. (2006) Removal of viruses, parasitic protozoa and microbial indicators in conventional and membrane processes in a wastewater pilot plant. *Water Research*, Volume 40, Issue 7, April 2006, Pp1449–1457.
- Ottoson, J. (2012) Dricksvatten och mikrobiologiska risker från lantbrukens djur. LRF-rapport, Juni 2012.
- Randsalu, J. (2013) Miljöinspektör, Miljö i Väst. Personlig kommunikation.
- Rose, J. B., Farrah, S. R., Harwood, V. J., Levine, A. D., Lukasik, J., Menendez, P. & Scott, T. M. (2004) Reduction of Pathogens, Indicator Bacteria, and Alternative Indicators by Wastewater Treatment and Reclamation Processes. Final report Water Environment Research Foundation (WERF), USA. ISBN: 1-84339-730-7.
- Schönning, C. (2003) Risker för smittspridning via avloppsslam – Redovisning av behandlingsmetoder och föreskrifter, SNV Rapport 5215.
- Sima, L. C., Schaeffer, J., Le Saux, J. C., Parnaudeau, S., Elimelech, M. & Le Guyader, F. S. (2011) Calicivirus removal in a membrane bioreactor wastewater treatment plant. *Appl Environ Microbiol.* 2011 Aug;77(15):5170-7. doi: 10.1128/AEM.00583-11. Epub 2011 Jun 10.
- Smeets, P., Rietveld, L., Hijnen, W., Medema, G. & Stenström, T.A. (2006) Efficacy of wastewater treatment processes. Microrisk Research Project. www.microrisk.com (flera titlar finns via hemsida).

Smittskyddsinstitutet (2011) Cryptosporidium i Östersund. Smittskyddsinstitutets arbete med det dricksvattenburna utbrottet i Östersund 2010–2011. Rapport 2011-15-4.

Smittskyddsinstitutet (2011) Giardia och Cryptosporidium i svenska ytvattentäkter. Smittskyddsinstitutet Rapport 2011-1-6.

Socialstyrelsen (2010) Smittämnen i avloppsvatten från sjukhus – en teoretisk jämförelse med samhället i övrigt utifrån Socialstyrelsens allmänna råd SOSFS 1989:39. ISBN 978-91-6585-71-6.

Sokolova, E. (2011) Hydrodynamic and Microbiological Modelling of Water Quality in Drinking Water Sources. Licentiatavhandling, Chalmers Tekniska Högskola.

SOSFS 1989:39 Socialstyrelsens allmänna råd om desinfektion av avloppsvatten från sjukhus, laboratorier m.fl.

SOSFS 2011:6 Socialstyrelsens kungörelse om upphävande av Socialstyrelsens allmänna råd (SOSFS 1989:39) om desinfektion av avloppsvatten från sjukhus, laboratorier m.fl., 2011-05-31.

Strand, M. (2013) stf VA-chef, Karlskrona kommun. Personlig kommunikation.

Sunohara, M. D., Topp, E., Wilkes, G., Gottschall, N., Neumann, N., Ruecker, N., Jopnes, T. H., Edge, T. A., Marti, R. & Lapen, D. R. (2012) Impact of Riparian Zone Protection from Cattle on Nutrient, Bacteria, F-coliphage, Cryptosporidium, and Giardia Loading of an Intermittent Stream, doi:10.2134/jeq2011.0407 Vol. 41, No. 4, p. 1301–1314.

Svenskt Vatten (2008) Råvattenkontroll – Krav på råvattenkvalitet, daterad 2008-12-08.

Svenskt Vatten (2009) Råd och riktlinjer för UV-ljus vid vattenverk, Publikation December 2009.

Svenskt Vatten (2011) Dricksvattenteknik 4 – efterbehandling och distribution. Publikation U9.

Tornevi, A. & Forsberg, B. (2012) Samband mellan nederbörd uppströms ett dricksvattenverk och samtal till sjukvårdsupplysningen gällande mag-tarmsymtom. Proceedings Nordisk dricksvattenkonferens Stockholm, Juni 2012

Tornevi, A., Axelsson, G. & Forsberg, B. (2013) Association between Precipitation Upstream of a Drinking Water Utility and Nurse Advice Calls Relating to Acute Gastrointestinal Illnesses. PLoS ONE 8(7): e69918. doi:10.1371/journal.pone.0069918.

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

www.wasserwelt.com (2012) – Strahlend rein: UV-Licht kann Abwasser zuverlässig desinfizieren Dr. Andreas Kolch/Serafino Verace, Juni 2012. www.wasserwelt.com/content.php?388-Strahlend-rein-UV-Licht-kann-Abwasser-zuverl%C4ssig-desinfizieren.

Wennerberg, L. (2013) f.d. VA-ingenjör, Jönköpings kommun. Personlig kommunikation.

Wennström, N. (2013) miljöinspektör, Miljöförvaltningen Borås Stad. Personlig kommunikation.

WHO (2011) Guidelines for Drinking-water Quality (4th Edition). World Health Organization, Geneva.

Winkworth, C., Matthaei, C. & Townsend, C. (2008) Recently Planted Vegetation Strips Reduce Giardia Runoff Reaching Waterways. *J. Environ. Qual.* 37:2256–2263.

Åström, J. & Pettersson, T. (2007) Avloppsutsläpp och mikrobiologisk påverkan i råvattentäkten Göta älv. *Svenskt Vatten Utveckling Rapport* 2007-11.

Åström, J. & Pettersson, T. (2009): Mikrobiologisk förorening av ytvattentäakter – kommunala avloppsutsläpp och stokastisk simulering. *Svenskt Vatten Utveckling Rapport* 2009-04.

Åström, J., Bergstedt, O., Sokolova, E., Kjellberg, I., Pettersson, T., Borell-Lövstedt, C. m.fl. (2011) Värdering av risker för en relativt opåverkad ytvattentäkt. *Svenskt Vatten Utveckling Rapport* 2011-18.

Åström, J. (2013) Geografiska informationssystem för analys av parasitkällor i ytvattentäakter. *Svenskt Vatten Utveckling Rapport* 2013-16.

Bilaga 1 Mikrobiella föroreningar i råvatten och dricksvatten

Klassificering i olika grupper

Bakterier

Bakterier är encelliga mikroorganismer med egen ämnesomsättning som förökar sig genom delning. Bakterier är generellt större än virus men mindre än protozoer. Storleken är av avgörande betydelse när det gäller möjligheten att genom filtrering avskilja mikroorganismer i vattenverket. Inom gruppen bakterier finns alla typer av egenskaper vad beträffar infektionsdos och överlevnad i olika miljöer. Ofta begränsas dock tillväxten i vatten på grund av lite näring och låga temperaturer. Bakterier kan tillväxa i ledningsnätets biofilm. De flesta bakterier är känsliga för klor.

Virus

Virus är mycket små, mindre än både bakterier och protozoer, vilket försvårar avskiljning i form av filtrering. Virus har ingen egen metabolism och kan inte föröka sig på egen hand utan kräver en värdorganism för att kunna bilda nya viruspartiklar. De flesta virus har en låg infektionsdos.

Protozoer

Protozoer, som även brukar kallas parasiter i dricksvattensammanhang, är generellt större än både bakterier och virus. Det är encelliga organismer som lever i sjöar och vattendrag som kan förflytta sig för egen maskin och förökar sig genom delning. De protozoer som orsakat flest vattenburna sjukdomsutbrott (*Giardia* och *Cryptosporidium*) behöver dock en värdorganism för att föröka sig. Infektionsdosen för de flesta protozoer är mycket låg. Överlevnaden i vatten är god eftersom protozoer kan bilda sporer i form av till exempel oocystor. Dessa sporer är dessutom mycket klorresistenta.

Indikatororganismer

För att kunna påvisa patogener (sjukdomsframkallande mikroorganismer) i vatten- och markprover krävs ofta komplicerade och dyra analyser. Dessutom är ofta halterna så låga att det kan behövas stora mängder prov för att hitta den aktuella patogenen. Istället använder man sig ofta av olika typer av indikatororganismer för att påvisa avloppspåverkan (fekal förorening). En indikatororganism ska ha samma överlevnadsmönster i miljön och samma motståndskraft för olika reningsprocesser. Indikatororganismen bör även härröra från samma specifika källa som patogenen den avser indikera för.

De vanligaste indikatorbakterierna är *E. coli* och andra koliforma bakterier samt i viss mån även enterokocker som är mer klortåliga än koliforma bakterier. För virus ger kolifager en god indikation om avloppspåverkan (fekal förorening). En fag är ett virus som angriper bakterier. En kolifag är därmed ett virus som specifikt angriper koliforma bakterier.

Koliforma bakterier

Koliforma bakterier är den mest använda fekala indikatorn. Termotoleranta koliforma bakterier har en direkt koppling till avloppspåverkan. *E. coli* är direkt kopplat till ett fekalt ursprung och därmed en mer tillförlitlig fekal indikator än andra koliformer. *E. coli* utsöndras i halter av 10³–10⁸ cfu/g i avföring.

Enterokocker

Enterokocker kan påvisas i avföring i halter mellan 10⁵ och 10⁷ cfu/g. De används som en alternativ indikatorbakterie till koliformer eftersom den är mer tålig mot omgivande faktorer.

Clostridium perfringens

(sporer av sulfitreducerande anaeroba bakterier)

Clostridium perfringens kan påvisas i avföring från människa och djur. Sporererna kan överleva länge i vatten och är tåliga mot kemisk och fysisk stress.

Bakteriofager

Bakteriofager är virus som infekterar bakterier som värdceller men är ofarliga för människor, de är en god indikator för närvaro och uppträdande av tarmvirus i omgivningen. Många tarmvirus är mer resistent mot miljöfaktorer och behandlingsmetoder än bakterier. De är också mindre i storlek vilket ger dem en annan transportförmåga och andra förutsättningar för avskiljning i form av filtrering än bakterier.

Patogener

Bakterier

Campylobacter

Campylobacter har en hög förekomst (prevalens) i befolkningen, vilket medför många bakterier i avloppsvattnet. I kombination med att bakterien är väl anpassad till vattenmiljö och har en låg infektionsdos innebär detta att *Campylobacter* är den vanligaste orsaken till bakteriell gastroenterit (magsjuka) i Sverige. Under perioden 1980–2012 har bakterien kopplats till cirka 20 vattenburna sjukdomsutbrott. *Campylobacter* är en vanlig tarmbakterie hos husdjur och vilda djur, den är vanlig hos fåglar som bär på infektionen men inte själv insjuknar. Särskilt vanlig är den hos hönsfåglar som är en vanlig smittkälla till människa. Lindberg och Lindqvist (2005) redovisar resultat från tidigare studier utförda inom Livsmedelsverkets riksprojekt 2000. Där påvisades förekomsten av *Campylobacter* i 38 % av råvattentäkterna tillhörande svenska vattenverk som tog minst 5 prover (årligen). Högst förekomst i juni och november.

Infektionsdosen är låg, färre än 1 000 organismer kan orsaka sjukdom. *Campylobacter* är känsliga för klor och en väl fungerande klorering är därmed en god barriär mot *Campylobacter*.

Salmonella

Salmonella är en tarmbakterie som tillhör släktet Enterobacteriaceae. Infekterade personer kan vara smittbärare och utsöndra bakterier under lång tid, det förekommer till och med kroniska smittbärare. I stort sett alla djurarter kan bära på salmonella. Växelvärma djur som reptiler och sköldpaddor, bär ofta på salmonella. Våra svenska djurbesättningar är i princip fria från salmonella tack vare ett omfattande och väl fungerande kontrollsystem.

Salmonella kan tillväxa inom temperaturintervallet 6–47 °C och har visat sig kunna överleva i flytgödsel i mer än 77 dagar. Salmonella kan spridas via dricksvatten (Ottoson, 2012).

VTEC/EHEC

Verotoxinproducerande *E. coli* går under benämningen VTEC och kan orsaka magsjuka hos människa. De VTEC som kan ge upphov till blodiga diarréer kallas för EHEC. Idisslare kan vara bärare av VTEC. De är inte sjuka men bär smittan vidare till människa. Ottoson (2012) refererar till tidigare svenska studier där VTEC påvisats i 9 % av svenska nötkreaturbesättningar. Exempel på smittvägar är opastöriserad mjölk och sallad. Det har förekommit fall där människor insjuknat efter att ha badat i förorenat vatten eller druckit vatten som varit förorenat. VTEC är klorkänsliga och avdödas vid en fungerande klorering. I Sverige har vi haft ett utbrott orsakat av EHEC i vatten från en samfällighet, men inga vattenburna utbrott orsakade av EHEC från kommunala anläggningar har rapporterats.

Infekterade djur utsöndrar normalt halter på 100 cfu/g avföring, men även halter upp till >10⁴ har påvisats. Kalvar utsöndrar högre halter än vuxna djur.

Virus

Rotavirus

Man tror att merparten av vattenburna utbrott med okänt agens orsakas av virus. Rotavirus är den vanligaste orsaken till diarré hos barn och kan även infektera vuxna. Inkubationstiden är kortare än 48 timmar och sjukdomstiden 5–8 dagar. Som mest kan avföringen hos en sjuk innehålla 1 011 virioner/gram avföring.

Norovirus

Norovirus tillhör gruppen Calicivirus som orsakar det vi kallar vinterkräksjukan. Norovirus är den vanligaste orsaken till magsjuka i västvärlden och uppskattas stå för 90 % av alla ickebakteriella utbrott av magsjuka. På senare år har förmågan att detektera virus förbättrats, varför man på senare år sett en ökning av antal rapporterade fall. Inkubationstiden är 24–48 timmar och sjukdomen håller ofta i sig 3–4 dagar. Virioner kan dock finnas kvar i avföringen i upp till två veckor. Den vanligaste smittvägen är person till personsmitta men smittspridning förekommer även via vatten och livsmedel.

Adenovirus

Adenovirus är en vanlig orsak till infektion hos människa. Oftast är det luftvägarna som drabbas. Adenovirus kan ge infektion från såväl de övre

som nedre luftvägarna, med symtom som vid vanlig förkylning, ont i halsen med svullna tonsiller, lunginflammation etc. Vissa typer kan även orsaka epidemisk keratokonjunktivit, som kan ge svår skada på hornhinnan med synnedsättning som följd. Adenovirus kan även orsaka diarré. Adenovirus kan överleva länge utanför människokroppen och är tämligen motståndskraftigt mot desinfektionsmedel. Adenovirus kan spridas mellan människor genom direkt eller indirekt kontakt och via vatten. Inkubationstiden är i regel kort, 2–7 dygn.

Enterovirus

Enterovirus är en grupp virus som kan orsaka förkylning och polio men även till exempel hjärnhinneinflammation och hjärtmuskelinflammation. De flesta som smittas av viruset är barn och de med nedsatt immunförsvar. Enterovirus kan smitta via vatten, födoämnen, avföring och kontakt-smitta. Inkubationstiden från att man blir smittad till symtom uppstår är 4–7 dagar. Viruset kan överleva i kyla och på en yta i flera dygn vilket leder till att den lätt kan smitta. De symtom som kan uppstå är bland annat feber, muskelsmärta och olika former av hudutslag. Men också snuva, halsont, nedsatt lukt- och smaksinne, smärta i övre och nedre mag- och tarmkanalen, kramp, illamående och diarré.

Protozoer (parasiter)

Protozoer är encelliga eukaryota organismer. De protozoer som orsakar vattenburen smitta kallas även parasiter.

Giardia

Giardia är förmodligen den vanligast förekommande tarmparasiten i världen. Den kan bilda cystor som överlever i månader i vatten. Smitta kan ske via förorenat vatten och livsmedel, till exempel grönsaker som bevattnats med förorenat vatten. Cystorna kan även spridas från person till person. Giardia kan finnas i höga halter i avloppsvatten. Infektionsdosen är mycket låg, förmodligen mindre än 10 cystor. I Sverige har vi haft en handfull vattenburna utbrott orsakade av Giardia sedan 1980. Det största och mest kända utbrottet i Norden är det som inträffade i Bergen 2004 där 6000 människor insjuknade.

Cryptosporidium

Cryptosporidium parvum är en klorresistent parasit som kalvar kan utsöndra upp till cirka 6 veckors ålder. Tillsammans med virus tror man att cryptosporidium är den vanligaste orsaken till vattenburen smitta av okänt agens. Cryptosporidium bildar oocystor som är infektiösa i upp till 6 månader och överlever i upp till 9 månader. Oocystorna klarar dessutom höga koncentrationer av desinfektionsmedel som till exempel klor. Cryptosporidium hominis orsakade det genom tiderna största vattenburna utbrottet i Milwaukee 1993 där över 400 000 människor smittades av dricksvattnet. Även de största svenska utbrotten, i Östersund 2010 och Skellefteå 2011, orsakades av Cryptosporidium hominis.

Bilaga 2

Enkätundersökning avseende mikrobiell förorening av råvatten

1 Syfte

Ett delmål med denna studie var att studera vilka metoder som används i Sverige idag för att säkerställa den mikrobiella statusen i recipienten. En intressant fråga var även hur ansvariga tjänstemän vid kommunala miljöenheter och VA-verk bedömer hotbilden mot råvattnet och på vilken grund har man vidtagit eller planerar att vidta åtgärder. Syftet med enkätundersökningen var att sprida ljus över dessa frågeställningar samt att vara ett underlag för uppföljande undersökningar.

2 Metodik

Enkäten upprättades som en webbenkät. I några få fall (pga tekniska problem) besvarades enkäten via ett digitalt enkätformulär som skickades ut med e-post. Enkätformulären returnerades till Vatten & Miljöbyrån som registrerade svaren i den gemensamma enkätstatistiken.

Enkätinbjudan skickades ut via mejl 2012-11-09 till samtliga VA-chefer (ca 290 st) och kommunala miljöchefer (ca 290 st) i landet. En påminnelse skickades ut i slutet av november 2012 och svarstiden förlängdes samtidigt med en vecka. Svarstiden var totalt 4 veckor.

Metod för sammanställning, kvalitetssäkring och analys bestod i databearbetning i excel och uppföljande telefonintervjuer eller kommunikation via e-post för klargöranden eller ytterligare information kring genomförda åtgärder och respondenters kommentarer.

Enkäten riktades till VA-chefen respektive miljöchefen i kommunen. Detta hindrade inte att chefen delegerade besvarandet av enkäten till annan sakkunnig person inom sin organisation, vilket skedde i flera fall. Ett rimligt antagande är att den mest lämpade respondenten utsågs inom respektive organisation, oavsett befattning.

3 Svarsfrekvens

Antalet inkomna svar var följande:

- 136 st VA-chefsenkät
- 129 st Miljöchefsenkät

Ytterligare ett 13 kommuner inom enkätgrupp VA-chef samt 15 kommuner inom enkätgrupp Miljöchef finns representerade i enkätsvaren, eftersom några av svaren har en avsändare som representerar ett VA-bolag eller miljöförbund där fler kommuner ingår. Utöver detta har ett tiotal kommuner och organisationer svarat att de hänvisar till grannkommun eller annan organisation. I synnerhet gäller detta kommuner som köper dricksvatten och /eller avloppstjänster från annan kommun. I vissa fall saknas helt råvattenuttag i kommunen.

Baserat på ovanstående har svar inkommit i någon form från ca 150 st kommuner för både VA-chefsenkäten och miljöchefsenkäten. Detta innebär en svarsfrekvens på drygt 50 % (52%) vilket kan anses en bra/acceptabel nivå för enkätundersökningar av detta slag. Tidigare erfarenheter från Svenskt Vatten stödjer detta.

4 Enkätutformning

4.1 VA-chefer

	Fråga	Svar
1	Ett flertal vattentäkter i Sverige har den senaste tiden förorenats av mikrobiell förorening som lett till vattenburna utbrott. Finns det en hotbild mot något av Era råvatten idag avseende mikrobiell förorening?	(Svarsalternativ: Ja, Nej, Vet ej)
2	Om JA - är denna hotbild orsakad av (flera svarsalternativ kan väljas):	☐ Avlopp från kommunalt VA-system ☐ Avlopp från enskilt avlopp ☐ Djurhållning/Lantbruk ☐ Annat
3	Har ni vidtagit tekniska åtgärder för att begränsa spridning av mikrobiell förorening från något av Era AVLOPPSPUMPSTATIONER?	(Svarsalternativ: Ja, Nej, Vet ej)
4	Om JA - vilken teknisk åtgärd/utrustning för AVLOPPSPUMPSTATIONER?	☐ UV-ljus för kontinuerlig drift ☐ UV-ljus för tillfällig drift vid behov ☐ Klorering för kontinuerlig drift ☐ Klorering för tillfällig drift vid behov ☐ Åtgärder som begränsar bräddning ☐ Annat
5	Har ni vidtagit tekniska åtgärder för att begränsa spridning av mikrobiell förorening från AVLOPPSPUMPSTATIONER (i samband med bräddning)?	(Svarsalternativ: Ja, Nej, Vet ej)
6	Om JA - vilken teknisk åtgärd/utrustning för AVLOPPSPUMPSTATIONER?	☐ UV-ljus för kontinuerlig drift ☐ UV-ljus för tillfällig drift vid behov ☐ Klorering för kontinuerlig drift ☐ Klorering för tillfällig drift vid behov ☐ Åtgärder som begränsar bräddning ☐ Annat
7	Har ni vidtagit tekniska åtgärder för att begränsa spridning av mikrobiell förorening från AVLOPPSLEDNINGSNÄT (spillvatten, dagvatten)?	(Svarsalternativ: Ja, Nej, Vet ej)
8	Om JA - vilken teknisk åtgärd/utrustning för AVLOPPSLEDNINGSNÄT?	☐ UV-ljus för kontinuerlig drift ☐ UV-ljus för tillfällig drift vid behov ☐ Klorering för kontinuerlig drift ☐ Klorering för tillfällig drift vid behov ☐ Åtgärder som begränsar bräddning ☐ Larm och övervakning ☐ Annat
9	Vad är det huvudsakliga motivet till vidtagna åtgärder?	☐ Närhet till badplats ☐ Råvattenskydd ☐ Annat, beskriv nedan

10	Beskriv andra orsaker till vidtagna åtgärder:	
11	Planerar ni (framtida) tekniska åtgärder för att begränsa mikrobiell förorening från AVLOPPSRENINGSVÄRK?	(Svarsalternativ: Ja, Nej, Vet ej)
12	Om JA - vilken åtgärd/utrustning för AVLOPPSRENINGSVÄRK planeras?	☐ UV-ljus för kontinuerlig drift ☐ UV-ljus för tillfällig drift vid behov ☐ Klorering för kontinuerlig drift ☐ Klorering för tillfällig drift vid behov ☐ Åtgärder som begränsar bräddning
13	Beskriv ev andra planerade åtgärder för AVLOPPSRENINGSVÄRK:	
14	Planerar ni (framtida) tekniska åtgärder för att begränsa mikrobiell förorening från AVLOPPSPUMPSTATIONER (i samband med bräddning)?	(Svarsalternativ: Ja, Nej, Vet ej)
15	Om JA - vilken åtgärd/utrustning för AVLOPPSPUMPSTATIONER planeras?	☐ UV-ljus för kontinuerlig drift ☐ UV-ljus för tillfällig drift vid behov ☐ Klorering för kontinuerlig drift ☐ Klorering för tillfällig drift vid behov ☐ Åtgärder som begränsar bräddning
16	Beskriv ev andra planerade åtgärder för AVLOPPSPUMPSTATIONER:	
17	Planerar ni (framtida) tekniska åtgärder för att begränsa mikrobiell förorening från AVLOPPSLEDNINGSNÄT (spillvatten, dagvatten)?	(Svarsalternativ: Ja, Nej, Vet ej)
18	Om JA - vilken åtgärd/utrustning för AVLOPPSLEDNINGSNÄT?	☐ UV-ljus för kontinuerlig drift ☐ UV-ljus för tillfällig drift vid behov ☐ Klorering för kontinuerlig drift ☐ Klorering för tillfällig drift vid behov ☐ Åtgärder som begränsar bräddning ☐ Larm och övervakning
19	Beskriv ev andra planerade åtgärder för AVLOPPSLEDNINGSNÄT:	
20	Tycker Ni att aktuella vattenskyddsföreskrifter i tillräcklig mån långsiktigt skyddar Ert råvatten från mikrobiell förorening?	(Svarsalternativ: Ja, Nej, Vet ej)
21	Motivera gärna Ert svar ovan:	
22	Kontaktperson för ev. svarsuppföljning (namn, telefonnr, mejl-adress):	
23	Övriga kommentarer:	

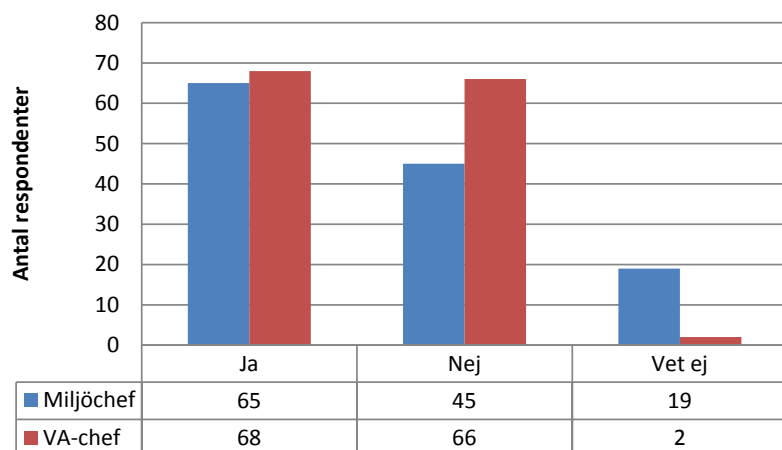
4.2 Miljöchefer

	Fråga	Svar
1	Ett flertal vattentäkter i Sverige har den senaste tiden förorenats av mikrobiell förorening som lett till vattenburna utbrott. Finns det en hotbild mot något av Era råvatten idag avseende mikrobiell förorening?	(Svarsalternativ: Ja, Nej, Vet ej)
2	Om JA - är denna hotbild orsakad av (flera svarsalternativ kan väljas):	☐ Avlopp från kommunalt VA-system ☐ Avlopp från enskilt avlopp ☐ Djurhållning/Lantbruk ☐ Annat
3	Finns det i Er kommun exempel på åtgärder som vidtagits för att begränsa spridning av mikrobiell förorening till recipient från djurhållning och lantbruk?	(Svarsalternativ: Ja, Nej, Vet ej)
4	Om JA - vilken typ av åtgärd?	
5	Vad är det huvudsakliga motivet till att denna/dessa åtgärder utförts?	(Svarsalternativ: Närhet till badplats, Råvattenskydd, Annat)
6	Om "Annat" beskriv vad:	
7	Planeras det framtida åtgärder för att begränsa spridning av mikrobiell förorening till recipient från djurhållning och lantbruk?	(Svarsalternativ: Ja, Nej, Vet ej)
8	Om JA - vilken typ av åtgärd planeras?	
9	Vad är det huvudsakliga motivet till denna/dessa planerade åtgärder?	(Svarsalternativ: Närhet till badplats, Råvattenskydd, Annat)
10	Om "Annat" beskriv vad:	
11	Är befintliga vattenskyddsföreskrifter ett bra verktyg för er tillsyn, kontroll och krav på åtgärder avseende mikrobiella föroreningar?	(Svarsalternativ: Ja, Nej, Vet ej)
12	Regleras utsläpp av mikrobiell förorening i tillståndprocessen avseende djurhållning/lantbruk?	☐ Ja, vid Anmälan ☐ Ja, vid Tillstånd ☐ Nej ☐ Vet ej
13	Finns det i Er kommun exempel på åtgärder som vidtagits för att begränsa spridning av mikrobiell förorening från KOMMUNALT AVLOPP?	(Svarsalternativ: Ja, Nej, Vet ej)
14	Finns det i Er kommun exempel på åtgärder som vidtagits för att begränsa spridning av mikrobiell förorening från ENSKILT AVLOPP?	(Svarsalternativ: Ja, Nej, Vet ej)
15	Kontaktperson för ev. svarsuppföljning (namn, telefonnr, mejl-adress):	
16	Fria kommentarer:	

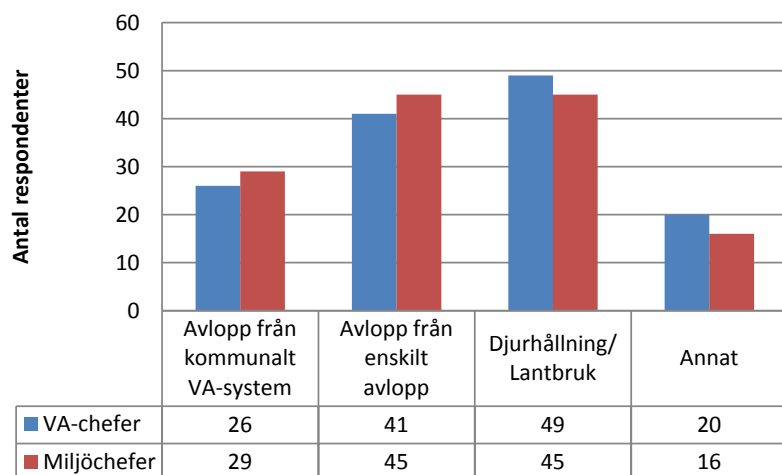
5 Enkätresultat

5.1 Hotbild

Ett flertal vattentäkter i Sverige har den senaste tiden förorenats av mikrobiell förorening som lett till vattenburna utbrott. Finns det en hotbild mot något av Era råvatten idag avseende mikrobiell förorening?



Orsaker till upplevd hotbild
(flera svarsalternativ kan väljas)



5.2 Genomförda och planerade åtgärder (VA-chefer)

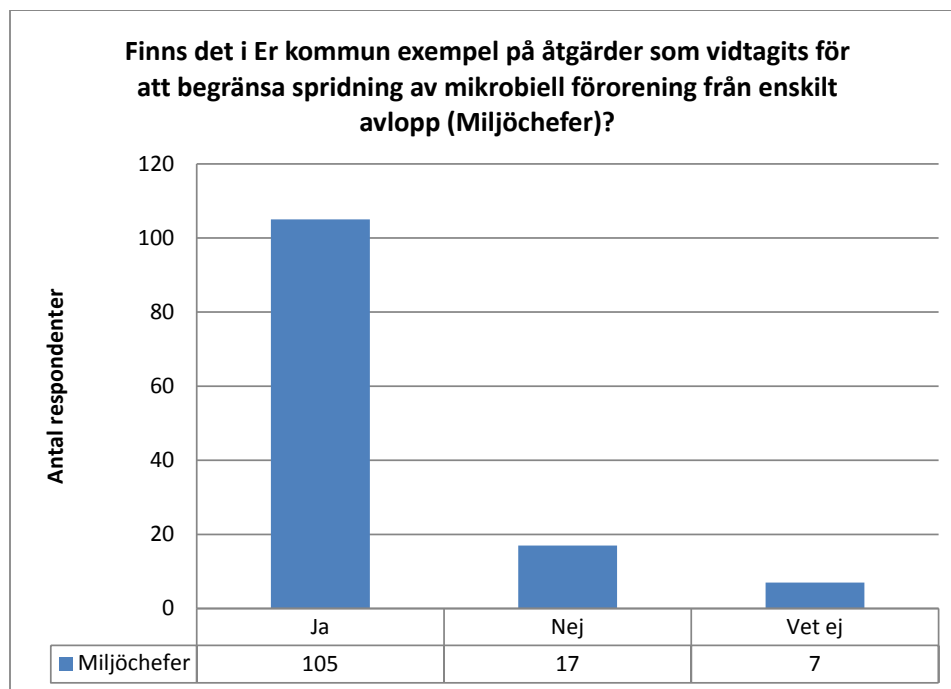
<i>Genomförda åtgärder mikrobiell förorening enligt VA-chefsenkäten</i>			
Åtgärder vidtagna mot mikrobiell förorening?	Avloppsreningsverk	Avloppspumpstation	Avloppsledningsnät
Ja	54	48	49
Nej	79	87	85
Vet ej	3	1	2
	136	136	136
Genomförda åtgärder mot mikrobiell förorening	Avloppsreningsverk	Avloppspumpstation	Avloppsledningsnät
UV-ljus för kontinuerlig drift	9 (*)	0	1
UV-ljus för tillfällig drift	2	0	0
Klorering för kontinuerlig drift	6 (**)	0	1
Klorering för tillfällig drift	24	4	2
Åtgärder som begränsar bräddning	25	38	30
Larm och övervakning	0	0	29
Annat	8	6	6

(*) , (**) Dessa respondenter har sannolikt även inräknat åtgärder i dricksvattenproduktion, dvs. UV och klorering i vattenverk.

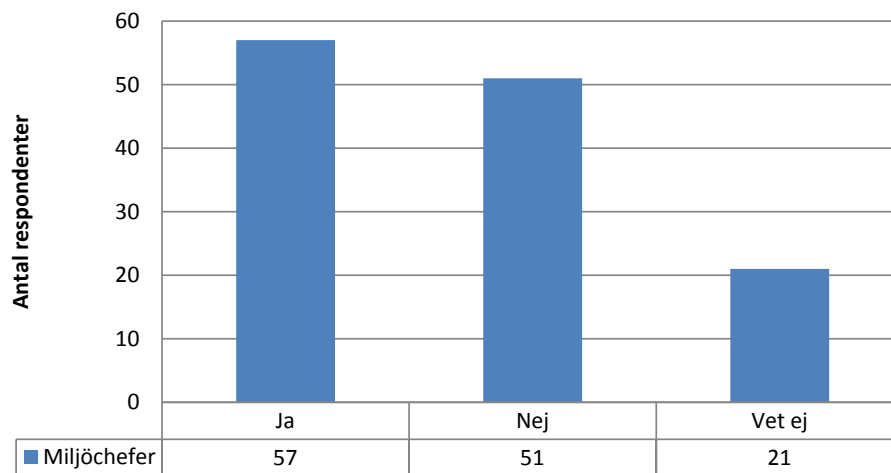
<i>Planerade åtgärder mikrobiell förorening enligt VA-chefsenkäten</i>			
Har åtgärder mot mikrobiell förorening planerats?	Avloppsreningsverk	Avlopps-pumpstation	Avloppsledningsnät
Ja	25	41	48
Nej	93	80	73
Vet ej	18	15	15
	136	136	136
Planerade åtgärder mot mikrobiell förorening:	Avloppsreningsverk	Avlopps-pumpstation	Avloppsledningsnät
UV-ljus för kontinuerlig drift	3	0	1
UV-ljus för tillfällig drift	3	1	0
Klorering för kontinuerlig drift	0	0	0
Klorering för tillfällig drift	3	0	1
Åtgärder som begränsar bräddning	21	40	41
Larm och övervakning	0	0	17
Annat	0	0	0

Åtgärder mot bräddning i avloppsreningsverk, avloppspumpstationer eller avloppsledningsnät (VA-chefer)	Antal organisationer/kommuner	Andel
Genomfört åtgärder	48	35%
Planerar åtgärder	49	36%

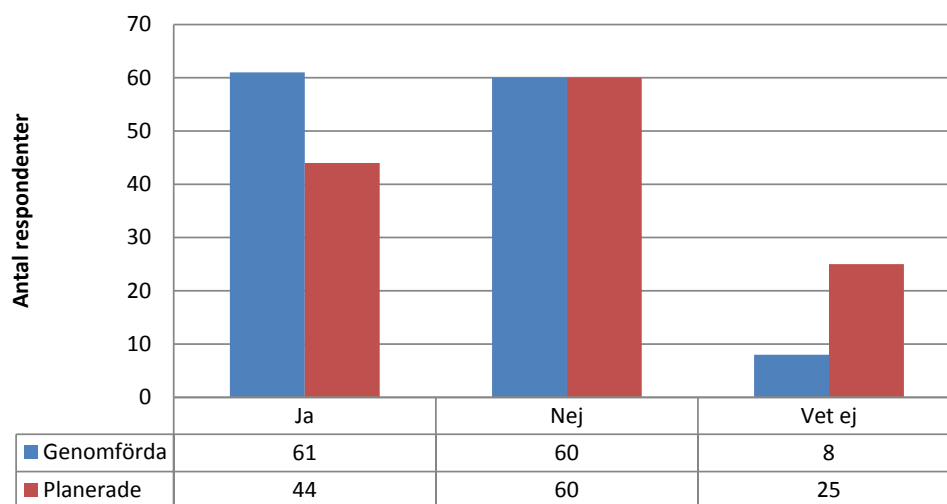
5.3 Genomförda och planerade åtgärder (miljöchefer)



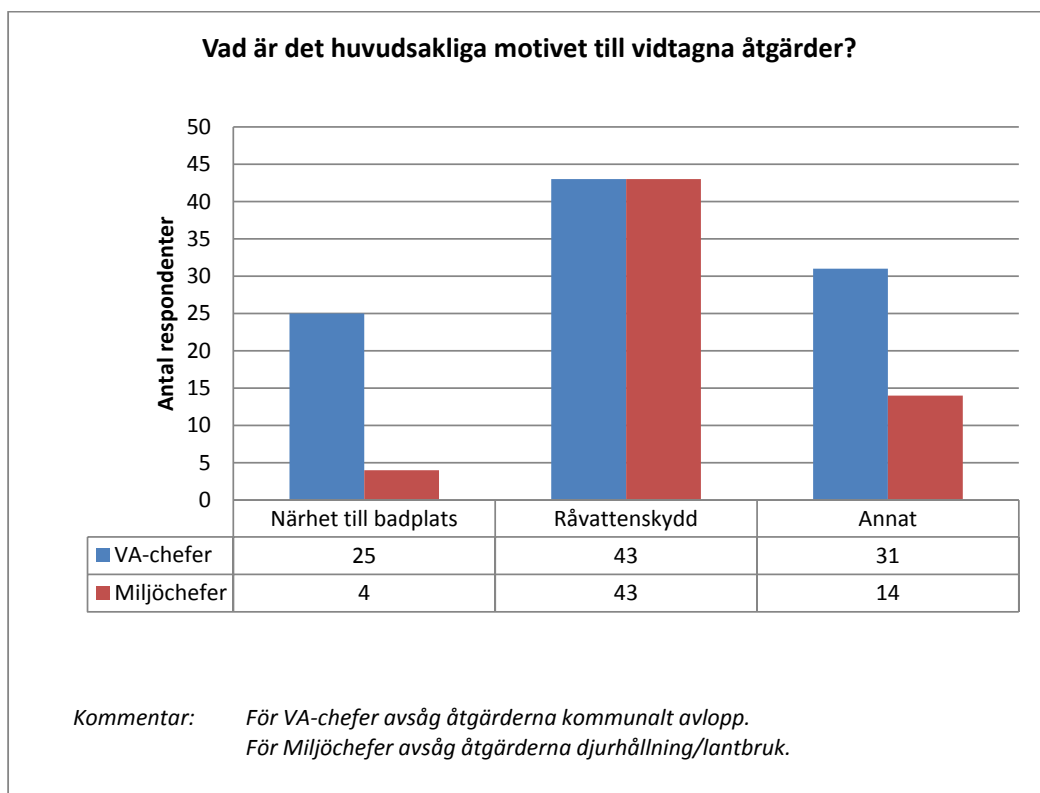
Finns det i Er kommun exempel på åtgärder som vidtagits för att begränsa spridning av mikrobiell förorening från kommunalt avlopp (Miljöchefer)?



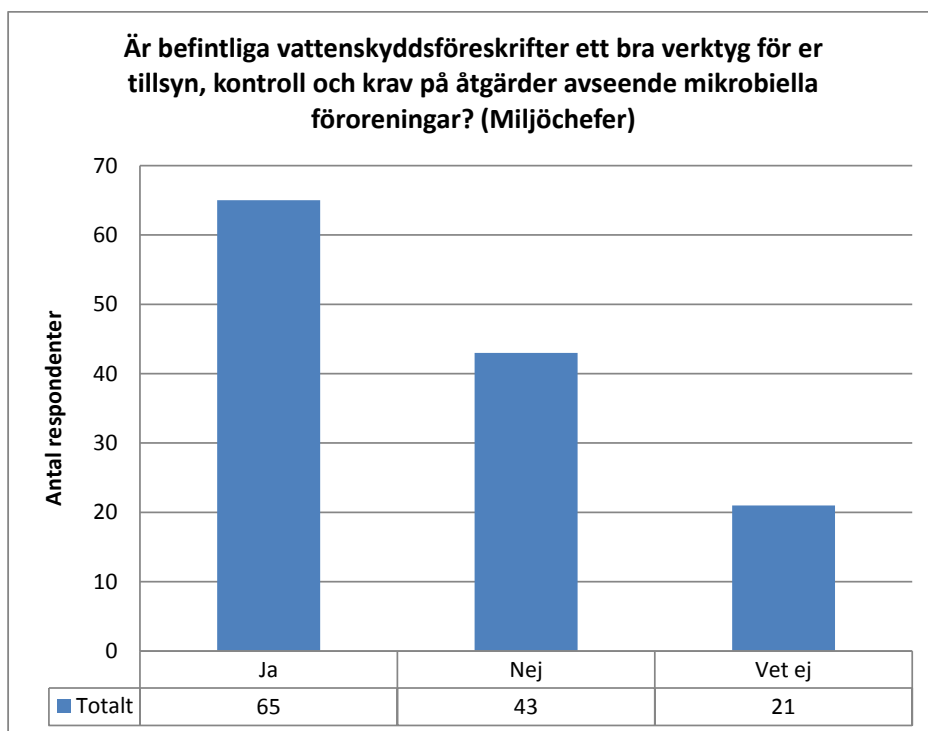
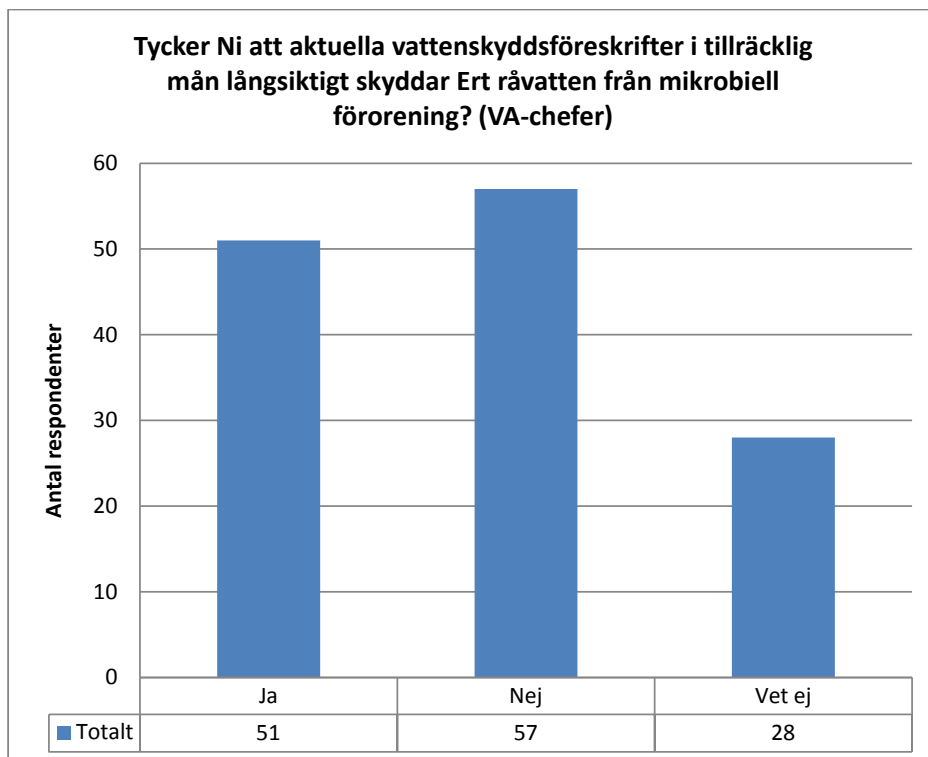
Finns det i Er kommun exempel på åtgärder som vidtagits för att begränsa spridning av mikrobiell förorening inom djurhållning och lantbruk? (Miljöchefer)



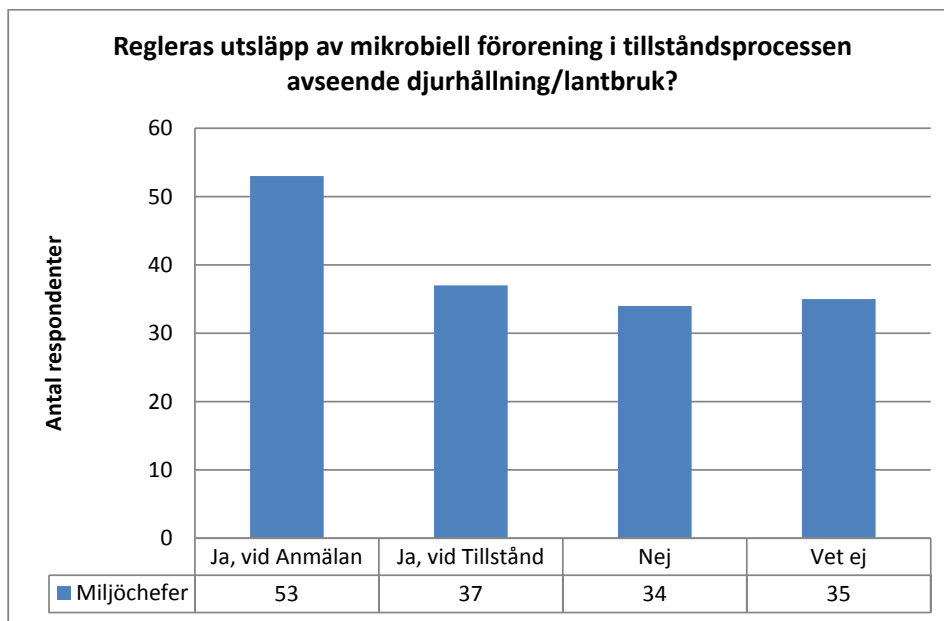
5.4 Motiv till åtgärder



5.5 Vattenskyddsföreskrifter



5.6 Tillståndprocessen





Box 47607, 117 94 Stockholm

Tel 08 506 002 00

Fax 08 506 002 10

E-post svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se