

Tidiga förvarningssystem – Är det någonting för våra kommuner?

Annelie Hedström, Robert Jönsson, Anna Mäki



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SV-Utveckling) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna, vilket är unikt på så sätt att statliga medel tidigare alltid använts för denna typ av verksamhet.

SV-Utveckling (fd VA-Forsk) initierades gemensamt av Svenska Kommunförbundet och Svenskt Vatten. Verksamheten påbörjades år 1990. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Ledningsnät
Avloppsvatten
Ekonomi och organisation
Utbildning och information

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

Anders Lago, ordförande	Södertälje Kommun
Olof Bergstedt	Göteborg Vatten
Roger Bergström	Svenskt Vatten AB
Per Fåhraeus	Varbergs Kommun
Carina Färm	Mälarenergi AB
Daniel Hellström	Svenskt Vatten AB
Mikael Medelberg	Roslagsvatten AB
Marie Nordkvist Persson	Sydvatten AB
Lars-Gunnar Reinius	Stockholm Vatten AB
Bo Rutberg	Sveriges Kommuner och Landsting
Ulf Thysell	VA SYD
Susann Wennmalm	Käppalaförbundet
Fred Ivar Aasand	Norsk Vann, adjungerad

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

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 47 607
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:	Tidiga förvarningssystem – Är det någonting för våra kommuner?
Title of the report:	Early warning system - Is this something for our municipality?
Rapportens beteckning Nr i serien:	2009-03
Författare:	Annelie Hedström, Luleå tekniska universitet; Robert Jonsson, Vatten & Miljöbyrå, Luleå; Anna Mäki, Vatten & Miljöbyrå, Luleå
Projekt nr:	27-102
Projektets namn:	Tidiga förvarningssystem – Är det någonting för våra kommuner?
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling, Göteborg Vatten, Stockholm Vatten, Sydvatten, Skellefteå kommun. Luleå kommun, Luleå tekniska universitet
Rapportens omfattning Sidantal: Format:	58 A4
Sökord:	Råvatten, varning, kontroll, olyckor, sabotage, bakterier, föroreningar, vattenkvalitet, dricksvatten
Keywords:	Water supply, warning, control, accidents, sabotage, bacteria, pollutants, water quality, drinking water
Sammandrag:	Syftet var att undersöka olika typer av metoder som kan användas som tidiga förvarningssystem för varning av föroreningar i råvattnet. Teknik som finns tillgänglig i dag är t ex mätning av fysikaliska parametrar, E.coli, doft-bänkar prognosmodeller och biomonitörer.
Abstract:	The aim was to investigate different methods which can be used as early warning systems in drinking water supply. Technologies that are available today is e.g. measurements of physical parameters, E. coli, odour benches, prediction models and biomonitors.
Målgrupper:	VA-avdelningar på kommuner och vattenbolag
Omslagsbild:	Olika typer av tidiga förvarningssystem. Foto: Annelie Hedström
Rapporten:	finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2009
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB

Förord

Arbetet med detta projekt har varit intressant och lärorikt och bygger i stora delar på information som meddelats med muntlig kommunikation. De som vi varit i kontakt med i detta projekt har visat ett stort intresse och på bästa sätt försökt att bidra med sina kunskaper. De som först bör nämnas är de personer som deltagit i projektets referensgrupp. Dessa är Caj Lundquist, Sydvatten, Johanna Ansker, Stockholm Vatten, Bengt Dahlberg, Göteborg vatten, Roland Hägglund, Skellefteå kommun och Stefan Marklund och Petra Viklund, Luleå kommun. Under projektets gång har vi träffas två gånger och under dessa möten diskuterades vilka behov som är intressantast inom detta område, vilka kommuner som skulle kunna ha något som kan liknas vid tidiga förvarningssystem. Vidare fick de olika deltagarna delge det arbete som eventuellt görs inom detta område vid respektive kommun. Diskussionerna i referensgruppen var mycket givande och satte ramarna för det fortsatta arbetet och deltagarna är förtjänta av ett stort tack. Ett särskilt omnämnande bör Bengt Dahlberg ha som under en dag i juni visade de olika system som Göteborg Vatten använder sig av samt Caj Lundquist som bidragit med bilder på doftbänkarna som Sydvatten nyttjar.

Utöver dessa finns många andra som måste nämnas som bidragit till denna rapport, både med information och entusiasm. Dessa är Per Ericsson, Norrvatten, som entusiastiskt berättat om de system som de funderar på att ta i bruk, Niklas Strömbeck, Strömbeck Consulting, disputerad limnolog från Uppsala universitet, som bidragit med sina kunskaper om optisk instrumentering, Olof Liungman, DHI, och tidigare förflutet på SMHI, som beskrivit prognosmodeller som verktyg i ett tidigt förvarningssystem och Cecilia Ambjörn, SMHI, som berättat om Seatrack. Vidare har Mats Eriksson, Linköpings universitet, delgett oss det arbete de för närvarande utför inom området elektroniska tungor för att detektera okända ämnen på dricksvattennätet vilket vi är tacksamma för. Sudhir Chowdhury, Predect AB, har bidragit med sina kunskaper angående möjligheter att använda sig av partikelmätning i ett tidigförvarningssystem och detta har vi uppskattat. Vi har även varit i kontakt med Henrik Braathen, Colifast A/S, som tålmodigt besvarat de frågor vi haft angående vilka metoder som skulle kunna vara lämpliga att använda i system för tidig förvarning som rör försämrad råvattenkvalitet med avseende på mikrobiella föroreningar. Vi är även tacksamma för den information som vi erhållit från Olav Rune Godoe, Havsforskningsinstituttet, Norge, som bidragit med sin kunskap om detektion av oljeföroreningar till havs. Slutligen är vi tacksamma för den tyska information som Godecke Blecken har hjälpt oss med.

Ett stort tack till er alla!

Innehåll

Sammanfattning	6
Abstract	7
1 Inledning	8
2 Syfte.....	10
3 Kort beskrivning av arbetsmetodik.....	11
4 Vad kan ett tidigt förvarningssystem innebära för ett vattenförsörjningssystem?	13
5 Tidiga förvarningssystem i ett internationellt perspektiv.....	15
5.1 Tidiga förvarningssystem i USA.....	15
5.2 Kanada	16
5.3 Nederländerna.....	17
5.4 Tyskland	17
6 Hur utbrett är användning av tidiga förvarningssystem i Sverige?	19
7 Vilka behov finns vid de svenska vattenverken?	21
8 System som används idag i Sverige	23
8.1 Kontinuerlig övervakning av kemisk-fysikaliska parametrar i Göta älv.....	23
8.2 On-linemätningar av kemisk-fysikaliska parametrar i Linköping och Norrköping	27
8.3 Automatisk kontroll av E. coli i älvvattnet.....	27
8.4 Kamerabevakning	28
8.5 Doftbänkar och doftkolonner.....	29
8.6 Prognosmodeller	30
8.7 Trendanalys.....	32
9 Möjliga system under utveckling.....	33
9.1 Biomonitorer	33
9.2 Aktiva optiska mätinstrument	35
9.3 Metodutveckling för automatisk kontroll av E. coli	39
9.4 Prognosmodeller	39
9.5 Identifiering av petroleumföroreningar.....	40
9.6 Elektroniska tungor	41
9.7 Identifiering av patogena parasiter med partikelmätning	42
9.8 HPLC-fingerprints	44
9.9 Fjärranalys.....	44

10	Sammanfattande diskussion.....	45
10.1	On-linemätningar av kemisk-fysikaliska parametrar	46
10.2	Snabbanalyser av mikroorganismer	46
10.3	Doftbänkar	47
10.4	Optiska mätinstrument.....	48
10.5	Kontroll av petroleumprodukter	48
10.6	Flyg- och satellitspaning.....	48
10.7	Trendanalyser	49
10.8	Prognosmodeller	49
10.9	Identifiering av farliga ämnen vid sabotage.....	50
10.10	Identifiering av partikulära föroreningar	50
10.11	Fjärranalys.....	51
11	Hur ser framtiden ut?.....	52
12	Referenser.....	54
	Bilaga 1	57
	Hur fungerar optiska mätinstrument?	57

Sammanfattning

Att använda ett väl fungerande förvarningssystem kan vara ett sätt att säkra sitt vatten, och det är en viktig pusselbit i övriga delar av arbetet med en säker vattenförsörjning. Syftet med detta projekt har varit att undersöka vilka olika typer av metoder som idag används för att tidigt upptäcka störningar i råvattenförekomster så att vattenförsörjningssystem inte hotas, både nationellt och internationellt. Målet är att denna undersökning ska kunna ligga till grund för en vidare utveckling av tidiga varningssystem för vattenförsörjningssystem. Tidiga förvarningssystem, eller "Early warning systems" som är det engelska uttrycket, inbegriper system som avser att varna för hotfulla händelser innan några negativa konsekvenser av händelserna uppstår.

Under arbetet med detta projekt har framkommit att det endast finns ett fåtal kommuner i Sverige som använder sig av något som kan liknas vid tidiga förvarningssystem för att bevaka råvattnets kvalitet. Göteborg Vatten är den vattenproducent som arbetat mest och längst med detta och den främsta anledningen till det är att råvattnet som hämtas från Göta älv är starkt påverkad av antropogen verksamhet. Dessutom finns ett stort engagemang och intresse hos dem som arbetar med systemen för att utveckla dem vidare.

Den här studien visar att det inom flera områden och för vissa föroreningsparametrar redan finns teknik som går att applicera. Flera goda exempel finns på detta i Sverige. Detta gäller exempelvis mätning av kemisk-fysikaliska parametrar, doftbänkar, system för bestämning av *E. coli* och prognosmodeller. Vidare finns system som exempelvis biomonitorer som är tillgängliga och används på den internationella marknaden men inte används i Sverige. Andra system "knackar på dörren" och är redan idag användbara, men används inte idag i system som kan liknas vid tidiga förvarningssystem. Detta rör exempelvis optiska mätmetoder och trendanalyser. Dessa metoder har så att säga inte nått ut. Slutligen finns system som är intressanta, men fortsatt utveckling krävs, och det gäller exempelvis elektroniska tungor, partikelmätning och fjärranalys.

Att implementera tidiga förvarningssystem i vattenförsörjningssystem kommer emellertid inte att vara lätt. Kommuner och vattenbolag kommer att behöva stöd i utformningen av sådana system eftersom utförandet beror på lokala förutsättningar. Därutöver måste en investering i ett tidigt förvarningssystem, som innebär ett val av kritiska punkter och tekniska metoder, sättas i relation till andra investeringsbehov och vilken personal som kan vara ansvarig för ett sådant system.

En risk- och sårbarhetsanalys över dricksvattenförsörjningssystemet är en miniminivå av insats som dricksvattenproducenter bör göra för att få en översikt över den hotbild som kan finnas runt vattenförsörjningen. Hotbilden varierar från täkt till täkt exempelvis beroende på typ av vattentäkt, vilka verksamheter som finns i området och om hotbilden byggs upp utifrån naturliga föroreningar, olyckor eller sabotage. Vid en inventering av föroreningsrisker erhålls en bild över hur situationen ser ut och riskerna kan rangordnas. Utifrån detta kan sedan dricksvattensystemet kompletteras med en stegvis ökning av förvarningssystem beroende på hur riskbilden ser ut.

Abstract

Using a well-functioning early warning system can be one way of securing water, considered an vital component in the efforts to secure a water supply. The objective of this project has been to investigate which methods are used today to detect disturbances in the availability and quality of raw water and thus avoid any threat to the water supply, both nationally and internationally. The aim of this investigation could provide the basis for a further development of early warning systems for the water supply system. Early warning systems comprise systems that deal with the warning of threatening events before any negative consequences occur.

During this project, it appeared that only a few Swedish municipalities use some form of prior warning system to monitor the quality of raw water. Göteborg Vatten is the producer that has worked the most and longest with such systems, mainly because the raw water taken from the Göta River is greatly influenced by anthropogenic activities. Further, there is great commitment and interest among those who work with the system to develop it further.

This study shows that the applicable technology already exists within several areas and for certain pollution parameters, of which several good example are found in Sweden, such as the measuring of physical parameters, odour benches, methods to determine *E. coli*, and prediction models. Furthermore, available biomonitoring systems are used on the international market, but not in Sweden. Other systems are available and already in use today, though not in systems considered similar to early warning systems, e.g. optical measuring methods and trend analyses. Finally, there are interesting methods, but further development is needed, e.g. electronic tongues, particle measurements and remote sensing.

However, the implementation of early warning systems in water supply systems will not be easy. Municipalities and water companies will need support in the design of such systems, since its execution will depend on local conditions. As well, an investment in an early warning system, which implies choosing between critical parameters and technical methods, must be placed in relation to other investment needs and which personnel can be responsible for such a system.

A risk and vulnerability analysis of the drinking water supply system is the minimum level of effort that drinking water producers should perform to get an overall view of the threats that can be prevalent in the water supply. The threatening picture varies from source to source, e.g. depending on which type of water supply, which activities are in the area and if this threatening picture is built up from natural contaminations, accidents or sabotage. During an inventory of contaminations, a view of the situation and a ranking of the risks can be obtained. From this, the drinking water system can be supplemented with a gradual improvement in the early warning system, depending on the level of risk.

1 Inledning

Vattenförsörjningssystemet är en helt essentiell funktion för samhället och vatten är vårt viktigaste livsmedel. Därför kan konsekvenserna bli betydande om exempelvis otjänligt dricksvatten levereras till viktiga samhällsfunktioner, industrier och medborgare – eller om leveransen helt upphör.

För att dricksvatten av god kvalitet ska kunna levereras är det av vikt att råvattenkvaliteten är bra. EU påbjuder däremot inte en särskild kontroll eller mätning av råvattnet, och de svenska kraven går numera inte utöver EU:s krav (Riksrevisionen, 2008). Det finns ett mycket allmänt formulerat krav i dricksvattenföreskrifterna, att ”särskild hänsyn skall tas till beskaffenheten” av det vatten som används (Livsmedelsverket, 2001). Den allmänna formuleringen hindrar dock inte vattenproducenter att ändå utföra kontroller och ställa krav på råvattnet och exempelvis låta riktvärden styra vattenintag och den efterföljande behandlingen i anläggningarna. Detta gör att ambitionen och rutinerna kring kontroll av råvattenkvalitet i kommunerna runt om i Sverige varierar. Vissa kommuner kombinerar olika system för att kontrollera sitt råvatten. Andra förlitar sig enbart på det så kallade egenkontrollprogrammet och råvattnet provtas då sällan. Några få kommuner har system som kan liknas vid ett tidigt förvarningssystem.

Att förlita sig på egenkontrollprogrammet har sina brister och begränsningar. Såvida råvattentäkten betraktas vara en täkt av god kvalitet sker vattenprovtagning sällan. Därmed finns en risk att råvattentäkten kan förorenas genom olycka eller sabotage utan att det märks förrän tidigast när vattnet kommit in till vattenverket, och i värsta fall efter att vattnet levererats till konsumenterna. Den vattenprovtagning som idag görs enligt kontrollprogrammet och som sker på mer regelbunden basis innebär att proverna ska skickas för analys. Detta betyder att det kan ta upp till en vecka efter ett provtagningstillfälle innan resultatet av provtagningen erhålls. Detta medför i sin tur att om analysen visar att vattnet är otjänligt kan åtgärder först sättas in då, trots att vattnet kan ha levererats till konsumenterna i flera dagar. Med ett sådant förfarande säger endast vattenanalyserna vilket vatten man har haft – inte vilket vatten man har eller kommer att få.

I riksrevisionens rapport ”Dricksvattenförsörjning – beredskap för stora kriser” (2008) framgår att det finns skäl att mer regelbundet kontrollera råvattnet, särskilt i de områden där riskerna är stora. Regelbundna mätningar av råvattenkvaliteten är väsentliga ur beredskapssynpunkt, eftersom de ökar sannolikheten för tidiga indikationer av att någonting inte står rätt till. Däremot drar Riksrevisionen slutsatsen att det är oklart vilka åtgärder som krävs för att säkerställa en ökad kontroll av råvattenkvaliteten i syfte att åstadkomma en tidig förvarning inför exempelvis en allvarlig kris. Livsmedelsverket har även nyligen kommit med en ny föreskrift som ställer krav på att större kommunala vattenverk måste skydda sig bättre mot sabotage och skadegörelse (livsmedelsverket, 2008).

”Det räcker inte med att veta vilket vatten man har haft – man bör också veta vilket vatten man kommer att få.”

I dessa sammanhang kan olika typer av tidiga förvarningssystem vara till hjälp. Tidiga förvarnings system, eller "Early warning systems" som är det engelska uttrycket, inbegriper system som avser att varna för hotfulla händelser innan några negativa konsekvenser av händelserna uppstår. Detta begrepp används i flera vitt skilda sammanhang som exempelvis för varning av jordbävningar (Odaka et al. 2006) och tsunamis (Cyranoski 2005), varning för militära angrepp (Britannica Concise Encyclopedia 2007), men har även använts för varning av föroreningar i anslutning till vattentäkter (Izydorczyk et al. 2005; Servais et al. 2005).

Att använda ett väl fungerande förvarningssystem kan vara ett sätt att säkra sitt vatten, och det är en viktig pusselbit i övriga delar av arbetet med en säker vattenförsörjning. Det finns även många åtgärder att vidta för att skydda råvattnet. En del krav finns även i den svenska lagstiftningen och i föreskrifterna från olika myndigheter. Som exempel på detta kan nämnas att kommunen ska planera för hur extraordinära händelser ska hanteras. I det bör bland annat rutiner för kommunikation/information vid haverier samt handlingsplaner för olyckor som riskerar att förorena vattentäkter ingå. Ett annat krav som finns är att en s.k. HACCP ska upprättas för vattenverken. HACCP-systemet bygger på principen att faktorer i vattenverket som är viktiga för dricksvattnets kvalitet, ska identifieras, styras och kontrolleras. Ett annat begrepp inom området är Water Safety Plans (WSP), som troligen kommer att inarbetas i de svenska kraven. I en WSP ingår förutom hantering av riskerna i vattenverk och på ledningsnät, som finns i en HACCP, även att minimera, reducera och om möjligt eliminera riskerna vid råvattentäkten.

Eftersom det inte finns någon samlad bild över hur föroreningsrisker av råvatten kontrolleras i Sverige idag har detta projekt kommit till stånd. Ett mål är att underlätta utbyte av kunskap och erfarenheter gällande system som kan liknas vid tidiga förvarningssystem. Detta skulle i ett senare skede kunna resultera i en utveckling och en högre grad av implementering av sådana system och därmed bidra till ökad dricksvattensäkerhet.

2 Syfte

Syftet med detta projekt har varit att undersöka vilka olika typer av metoder som idag används för att tidigt upptäcka störningar i råvattenförekomster så att vattenförsörjningssystem inte hotas. Målet är att denna undersökning ska kunna ligga till grund för en vidare utveckling av tidiga varningssystem för vattenförsörjningssystem. Inom ramen för projektet har även behovet hos svenska kommuner berörts.

Mer specifikt har följande frågeställningar behandlats:

- Vilka metoder används idag i Sverige för att tidigt upptäcka störningar så att vattenförsörjningssystem inte hotas?
- Är dessa metoder funktionella?
- Fungerar de som det var avsett?
- Vilka är för- och nackdelarna med dagens metoder?
- Är metoderna kostsamma?
- Hur stora driftresurser kräver de?
- Vilka metoder används internationellt och är de applicerbara för svenska förhållanden?
- Vilka metoder kan vara lämpliga att vidareutveckla?

3 Kort beskrivning av arbetsmetodik

Tidigt i projektet framkom att tidiga förvarningssystem som kan ge indikation om att råvattenkvaliteten försämras eller i värsta fall blivit oanvändbart är ovanliga här i Sverige. Vidare framkom att ett antal system finns kommersiellt tillgängliga medan ett stort utvecklings- och forskningsarbete pågår för utveckla system. Detta har medfört att kunskapsinhämtningen till denna rapport gjorts genom åtskilligt sökande av personliga kontakter, både på kommuner, företag och inom universitetsvärlden, både nationellt och internationellt. Mycket av den information som inhämtats har därför erhållits via telefonintervjuer, muntlig kommunikation samt via e-postkonversation.

De kommuner som har kontaktats i denna studie valdes ut efter diskussioner i projekt och referensgruppen samt via tips från de kommuner vi redan varit i kontakt med. Urvalsmetoden för att välja ut de kommuner som skulle kontaktas i denna studie angående nyttjande av system som kunde liknas vid tidiga förvarningssystem var:

1. Redan i ansökningsförfarandet utsågs en referensgrupp med representanter från Vattenbolag och kommuner som antingen använder sig av tidiga förvarningssystem eller hyser ett intresse för sådana.
2. Med kännedom av andra kommuners metoder och arbetssätt i denna fråga identifierades de kommuner som inte projekt- och referensgruppen hade kännedom om.
3. Utifrån denna grupp av kommuner, sattes fokus därefter på de stora kommunerna och vattenbolagen eftersom större kommuner och bolag har större resurser att satsa på sådana system.
4. Vid kontakt med representanter från dessa ”nya” kommuner och vattenbolag tillfrågades de om de kände till någon annan som använde sig att förvarningssystem.

Flera kommuner som vi kontaktat har inte haft något tidigt förvarningssystem och dessa nämns inte i rapporten.

Via de kommuner och vattenbolag som har tidiga förvarningssystem, togs kontakt med de företag som levererat deras utrustning. Information har även hämtas via sökningar i vetenskapliga databaser och på Internet och via intervjuer och e-post konversation med forskare vid KWR Watercycle Research Institute, Nederländerna samt vattenbolag och leverantörer av utrustning i Tyskland.

I detta projekt har vi arbetat med alla de frågeställningar som vi hade initialt och dessa finns redovisade i kapitel 2. Eftersom flera av de system som beskrivits här skiljer sig mycket åt, både vad gäller substanser som ska indikeras och utförande har inte systemen ställts mot varandra. Det innebär att vi inte har rangordnat några system utan systemen har beskrivits var för sig. Vidare ska de system som finns redovisade i denna rapport endast ses som exempel på tänkbara system och i flera fall förekommer utveckling av liknande system av andra företag. De företag som nämns i denna rapport är därför endast exempel och avser att ge en initial vägledning till möjligheter att hitta nya tekniska lösningar.

Eftersom några av systemen fortfarande är under utveckling har viss information inte kunnat erhållas för en del av metoderna. Detta rör exempelvis kostnader och driftresurser. I rapporten kan beskrivningarna om olika system läsas i kapitel 7 och 8 medan våra reflektioner över systemen återfinns i kapitel 9, "Sammanfattande diskussion".

4 Vad kan ett tidigt förvarningssystem innebära för ett vattenförsörjningssystem?

Tidiga varningssystem för vattenförsörjning har definierats som en mekanism för att upptäcka, karaktärisera och rapportera om förekomsten av en råvattenförorening – för att huvudmannen snabbt ska kunna agera och därmed mildra effekten av denna förorening (Grayman and Males 2002). Amerikanska naturvårdsverket (EPA, 2005) använder sig av begreppet integrerat system för tidig förvarning vilket inkluderar sensorer som ska upptäcka föroreningar; ett system som överför, sammanställer och analyserar data; kommunikation och underrättelse/larm; instruktioner som vägleder beslutsfattande och respons vid allvarliga händelser.

Föroreningar som avses att upptäckas med ett tidigt förvarningssystem kan både ha ett naturligt ursprung (Izydorczyk et al. 2005) eller orsakas av olyckor eller sabotage (Noij & Bobeldijk 2003). Förvarningssystem kan vara utformade på många olika sätt. Utformningen är beroende på lokala förutsättningar som exempelvis typ av vattentäkt, storlek på vattenförsörjningssystemet, ekonomiska resurser samt vilka risker som anses vara viktiga att varna för.

I de situationer där ett tidigt förvarningssystem avser att varna för föroreningar som orsakats av sabotage ligger oftast fokus på ledningsnätet för dricksvatten och inte på råvattensidan. Eftersom färdigbehandlat dricksvatten har andra egenskaper än råvatten kommer varningssystem för råvatten och dricksvatten att se olika ut och detta kommer att beröras senare i rapporten.

I arbetet med detta projekt har framkommit att många i VA-branschen relaterar begreppet "tidiga förvarningssystem" till någon typ av "on-linemätningar" av vattenkvalitetsparametrar eller föroreningar. Dessa kan vara av olika karaktär, exempelvis fysikaliska, kemiska, mikrobiella eller okulära. Mätningar kan göras vid ett antal kritiska punkter som väljs beroende på de lokala förutsättningarna. Dessa punkter bör, om möjligt, placeras utanför själva vattentäkten för att få en indikation på en förändrad vattenkvalitet innan själva vattentäkten blir påverkad. Om detta inte är möjligt, kan även kritiska provtagningspunkter placeras i vattentäkten och inom själva vattenverket. Med ett system som sitter i vattenverket finns risk för att vattenverket kan slås ut men innebär i alla fall att en försämrad vattenkvalitet kan upptäckas innan det förorenade vattnet släpps ut på nätet.

Vid sidan av on-linemätningar kan tidiga förvarningssystem innebära andra tillvägagångssätt. Det kan exempelvis vara olika typer av rutiner för vattenprovtagning, lukt- eller okulära kontroller. Vattenprovtagning kan kopplas till trendanalyser som är särskilt intressant för grundvattentäkter men kan även vara på sin plats för ytvattentäkter. Med sådana kan långsamma negativa förändringar av vattenkvaliteten upptäckas innan vattnet blir otjänligt. Rutiner som innebär att drift-

personal ofta och regelbundet luktar på vattnet inne på vattenverk, vid speciella doftbänkar eller vid öppna bassänger kan vara ett annat varningssystem.

Vidare kan tidiga förvarningssystem vara olika typer av prognossystem som exempelvis förutsäger hur ett utsläpp kan spridas och spädas ut, utifrån olika omgivande faktorer. Ett sådant system bygger på att någon rapporterar in att en olycka eller ett drifthaveri har skett i anslutning till vattentäkten. Med denna information kan med prognosmodellen räknas ut om föroreningen kan nå intaget till vattenverket och ge en varning, vilket på det sättet kan förhindra att förorenat råvatten tas in.

5 Tidiga förvarningssystem i ett internationellt perspektiv

I den inventering som gjorts inom ramen för detta projekt fås intrycket att tidiga förvarningssystem inom området dricksvattenförsörjning är ett intressant fält som många olika typer av aktörer är intresserade av. Det gäller exempelvis företag som tillverkar och säljer mätutrustningar, mjukvarutillverkare, myndigheter, kommuner samt försvarsmakten. Däremot har systemen inte slagit igenom i fullskala ännu vilket också framgår av en mycket omfattande rapport som det Amerikanska naturvårdsverket (EPA) har givit ut (EPA, 2005). Den rapporten innehåller bl a en marknadsöversikt över en mängd olika system som skulle möjligen skulle kunna gå att använda i system för tidig förvarning. I rapporten görs slutsatsen att det är åtskilliga år bort innan det kommer att finnas tidiga förvarningssystem som på ett praktiskt och rutinmässigt sätt kan användas i stor skala. Fortfarande är utformningen av många tidiga förvarningssystem teoretiska eller i preliminära stadier även om vissa komponenter gällande sensorer samt mjuk- och hårdvara finns tillgängliga. Vidare framgår av EPA (2005) att teknikutvecklingen inom området sker snabbt men att mycket arbete återstår för att knyta samman olika typer av sensorer, mjuk- och hårdvaror som kombineras med rutiner och personinsatser. Många sensorer och komponenter i tidiga förvarningssystem har heller inte testats eller verifierats. Dessutom måste mer arbete göras med att identifiera vilka typer av parametrar och föroreningar som är intressanta att ta med i ett tidigt förvarningssystem samt avgöra vid vilka nivåer systemet ska larma och ge respons (EPA, 2005).

5.1 Tidiga förvarningssystem i USA

I USA ligger fokus på tidiga förvarningssystem att utveckla system som har till syfte att upptäcka föroreningar som uppkommit genom sabotage (EPA, 2005). Det finns en stor rädsla för terrorhandlingar och det synsättet dominerar utvecklingen. I detta sammanhang är det därför mer angeläget att installera varningssystem längs med ledningsnätet än på råvattensidan.

San Fransisco har nyligen (maj 2008) beviljats åtta miljoner dollar av EPA för att utveckla och utvärdera varningssystem som kan användas för att detektera föroreningar i vattenförsörjningssystemet (CGS, 2008). Detta projekt kallas för "Water security initiative" och kommer att drivas av San Francisco Public Utility Commission som själva bidragit med tre miljoner dollar till projektet. I olika pilotprojekt kommer nya högteknologiska utrustningar som kan användas vid bevakning och detektion att testas. Vidare kommer nya typer av potentiella föroreningar att försöka detekteras. De har även för avsikt att arbeta med att definiera viktiga punkter i dricksvattenssystemet där varningssystem bör placeras (CGS, 2008). I detta projekt avses att både försöka utveckla

system för föroreningar som kan förekomma naturligt eller som orsakas av sabotage. Några detaljer om vilka typer av parametrar och tekniska komponenter som de avser att arbeta med vill de däremot inte tillkännage på grund av säkerhetsskäl.

Staden New York fick vid ungefär samma tidpunkt som San Francisco ett liknande ekonomiskt stöd från EPA som de kommer att arbeta med på liknande sätt (CGS, 2008).

I Pennsylvania har ett förvarningssystem installerats i floderna Allegheny och Monongahela som försörjer 1,3 miljoner människor med vatten i västra Pennsylvania på initiativ från Ohio River Valley Water Sanitation Commission (ORSANCO) (Nexsens, 2008). Systemet inkluderar både on-linemätningar vid sju mätstationer med automatisk dataöverföring till Internet och personinsatser för bland annat utvärdering. De sonder som används mäter vattentemperatur, konduktivitet, löst syre, pH, turbiditet och klorofyll. Vidare används Turner Designs fluorometrar för detektion av kolväten (som beskrivs närmare i kap 9.1) samt en online-analys för TOC-mätningar som tillhandahålls av ISCO (Nexsens, 2008).

5.2 Kanada

Ett tidigt förvarningssystem för Grand Rivers avrinningsområde håller för närvarande på att utvecklas (Chan et al., 2007). Anledningen till detta är att flera kommuner i Kanada har för avsikt att övergå till att hämta dricksvattnet från ytvattentäkter istället för att som tidigare nyttja grundvatten. En orsak till detta är att trycket på grundvattenreservoarerna har ökat. Eftersom ytvatten håller en mer varierande kvalitet finns numera ett behov av tidiga förvarningssystem för dessa nya vattentäkter. Det kommer att bestå av ett sensorsystem i floden som är kopplat till ett kommunikationssystem för vidarebefordring av data till en websida via satellit. Om registrerade värden överskrider acceptabla nivåer kommer berörda operatörer att meddelas via ett automatiskt telefonmeddelande. De parametrar som de avser att mätas on-line är vattenparametrar som temperatur, pH, konduktivitet, löst syre. Vidare anses att det i detta specifika fall även är intressant att mäta ammonium, fosfat och nitrat med on-line sensorer eftersom floden är påverkad av industrier, jordbruk och avloppsreningsverk (Chan et al., 2007). Kriterier som använts för att ta fram parametrarna för Grand Rivers avrinningsområde anges vara vilka föroreningar som förekommer i avrinningsområdet, tillämpbar teknologi samt kostnadseffektivitet.

Arbete återstår innan detta system kan användas i full skala. Chan et al. (2007) avser att utföra laborietester och pilotförsök. Vidare har de ännu inte funnit en tillräckligt prisvärd och användbar sond för mätning av fosfor. De kommer även att utforma höljen till utrustningen och arbeta med ergonomiska aspekter i utformningen av detta system.

5.3 Nederländerna

I Nederländerna pågår för närvarande utveckling av tidiga förvarningssystem och vissa system är även möjliga att använda idag (Gertjan Medema, forskningskoordinator vid KIWA Water research, 2008, Personlig kommentar). De arbetar med olika typer av biomonitorer som fisk, musslor och alger men även system som bygger på analytisk kemi. Dessa system används rutinmässigt på flera vattenverk i Nederländerna och längs floderna Rhine och Meuse finns ett 15-tal stationer med biomonitorer för tidig förvarning.

5.4 Tyskland

Tyskland är ett land som till stor utsträckning använder sig av grundvatten till vattenförsörjningen. Vi har dock inte funnit någon information om system för tidig förvarning på grundvattensidan.

Bodensjön, som ligger på gränsen mellan Tyskland och Schweiz, är en viktig ytvattentäkt och försörjer många miljoner invånare i denna gränsregion med dricksvatten. Zweckverband Bodenseewasserversorgung (ZVBWV) är en organisation som består av 17 vattenverksbolag som levererar vatten till 4 miljoner människor i norra Tyskland och delar av Schweiz. Vattenverken är ytvattenverk och därför är behovet förvarningssystem stora.

Eftersom Bodensjön är en viktig vattentäkt använder sig de av många olika system som kompletterar varandra. För att säkerställa att ingen tar sig in i närheten av intagspunkten, använder sig de av staket, radar och övervakningskameror. Vidare har de kontinuerliga mätningar på råvattnet och de mäter temperatur, konduktivitet och potentiella oljeföroreningar med fluorometrisk och spektroskopisk metoder. Dessutom har de dagliga stickprovskontroller då de analyserar standardparametrar som exempelvis pH och konduktivitet, näringsämnen men även metaller och alger. Från dessa prover görs trendanalyser och de har mätkurvor sedan 1953. De använder sig även av biomonitorer (vilka beskrivits i denna rapport i kap 9.1) som baseras på bakterier, diskar och daphnia. De har också en strömningsmodell som liknar de prognosmodeller som beskrivits i kap 8.6. Med denna kan de få upp till tre dagars förvarningstid om någonting inträffat i sjön som kan påverka vattenkvaliteten. Modellen är uppsatt för hela sjön och ingår i ett forskningsprojekt som finns presenterat på www.bodenseeonline.de.

Informationen till detta har avsnitt har givits av R. Schick, ZVBWV.

Rostock är en stor stad som försörjs med vatten från en mindre flod och ett ytvattenverk. Älvvattnet är påverkad av både av naturliga processer och antropogena aktiviteter. De har problem med humus i vattnet på grund av myrområden som finns i avrinningsområdet. Eurawasser Rostock, som ansvarar för vattenförsörjningen, var förtegn om de förvarningssystem de använder, men de angav att de har online-mätningar med avseende på 10–12 standardparametrar som exempelvis temperatur, konduktivitet, pH och näringsämnen. De har även en provtagningsplan med detaljerade analyser. De poängterar också att de

utför trendanalyser på mätdata som de får från sina on-linemätningar. De använder sig även av biomonitorer som tillhandahålls av företaget bbe-moldaenke (som beskrivs senare i denna rapport). Vidare har även de prognosmodeller för strömningen i floden med dess biflöden vilket gör att de kan få en prognos på om förorenat vatten som orsakats av haveri kan nå intagspunkten för råvattnet.

Informationen till detta har avsnitt har givits av Mr. Trappens, Eurawasser Rostock.

6 Hur utbrett är användning av tidiga förvarningssystem i Sverige?

I den inventering som gjorts inom ramen för detta projekt kan konstateras att tidiga förvarningssystem som kan varna för att vattenkvaliteten förändras i vattentäkten eller vattenskyddsområdet alternativt ute på nätet inte är särskilt utbredda i Sverige. Däremot sker mera rutinmässiga kontroller inne på verken, som är knutna till den normala driften. Nedan följer en kort beskrivning av de kommuner i Sverige som vi varit i kontakt med som använder sig av någon form av tidigt förvarningssystem idag.

Göteborg Vatten som försörjer Göteborg stad och delar av kringliggande kranskommuner är den VA-enhet i Sverige som arbetat mest med tidiga förvarningssystem och har gjort så sedan 1970-talet i samarbete med Göta älvs vattenvårdsförbund. En stor bidragande orsak till det är att de hämtar sitt råvatten från Göta älv. Älvvattnets kvalitet påverkas av många antropogena aktiviteter uppströms vattenintaget, som exempelvis industrier, bebyggelse med reningsverk, fartygstrafik, jord- och skogsbruk. Dessutom ligger vattenintaget nära havsnivån och vattenkvaliteten påverkas även av havet då vattenståndet är högt. Göteborg Vatten mäter kemisk-fysikaliska parametrar och bakterier, försöker kontrollera vattenytan vid intaget med avseende på oljeutsläpp och har doftbänkar inne på vattenverket. De försöker också driva egen utveckling av de system de har. Vid sidan av dessa system samarbetar Göteborg Vatten med de industrier och avloppsreningsverk som ligger längs älven. Om någon av dessa anläggningar får problem med vattenbehandlingsprocessen skickas ett fax med en varning till kontrollstationen på Alelyckan som beräknar flyttiden till intaget och tar beslut om vattenintaget ska stängas. Larm från bemannade vattenkraftverk längs älven eller från räddningstjänsten kan också komma till kontrollstationen avseende synliga utsläpp, såsom oljeutsläpp.

Sydvatten, som försörjer stora delar av Skåne med vatten, hämtar sitt råvatten från Bolmen som ligger i södra Småland och Vombsjön i Skåne. Vattnet från Bolmen leds ned till Ringsjöverket som är ett ytvattenverk genom den sk Bolmentunnel som varit i drift i ca 20 år. Vattnet från Vombsjön renas i Vombverket, där vattenproduktionen baseras på konstgjord infiltration. För att klara vattenförsörjningen är det viktigt att Bolmentunneln inte förorenas med exempelvis petroleumprodukter, eftersom tunneln är mycket svår att sanera. Därför tar Sydvatten regelbundet prover i Bolmen för att analysera med avseende på kolväten. Sydvatten har även valt att installera så kallade doftbänkar inne på Ringsjöverket för att ha möjlighet att upptäcka petroleumföroreningar i vattnet, innan det leds ut på dricksvattnet.

Stockholm Vatten, som förebyggande arbetar mycket med vattenskyddsområdet, har två stora ytvattenverk, Norsborg och Lovö. Båda dessa vattenverk hämtar råvattnet från östra Mälaren. På dessa vatten-

verk finns bemanning dygnet runt och åtminstone en gång per timme görs ronderingar där vattnet i fällningshallarna besiktas okulärt och med avseende på doft. På Norsborgs vattenverk finns också doftkolonner för rå- och dricksvatten. De mäter även pH och UV-absorbans på inkommande råvatten in till vattenverken. Stockholm Vatten använder sig även av "Seatrack" som är en spridningsmodell som kan nyttjas när det sker ett utsläpp eller en olycka i Mälaren.

Norrvatten hyser ett stort intresse för vattensäkerhetsfrågor och är intresserade av tidiga förvarningssystem i olika former. De använder sig idag av prognosmodellen Seatrack som även Stockholm Vatten gör. De står i begrepp att installera doftbänkar inne på vattenverket och är intresserade av att installera ett tidigt förvarningssystem för oljeföroreningar. De har också initierat mindre utredningsuppdrag inom området riskanalys och varningssystem och ingår i flera forskningsprojekt inom området.

Norrköping vatten och Tekniska verken i Linköping mäter vardera ett par kemisk-fysikaliska parametrar kontinuerligt i sjösystemet från vilka de hämtar dricksvattnet, se vidare 8.2.

7 Vilka behov finns vid de svenska vattenverken?

Behoven av tidiga förvarningssystem i dricksvattenproduktionen varierar mellan olika kommuner och skiljer sig även åt mellan olika vattenverk. Exempelvis har typ av vattentäkt, antropogena verksamheter och bebyggelse en inverkan på i vilken utsträckning kommunerna arbetar med tidiga förvarningssystem och vilken omfattning de bör ha sådana. Generellt har vi i Sverige ett fantastiskt råvatten med stor tillgång och god vattenkvalitet. Många kommuner anser sig inte ha något större behov av ett tidigt förvarningssystem, då kvaliteten ständigt är god. Alla kommuner är däremot inte lika lyckligt lottade och uppvisar en betydligt sämre råvattenkvalitet med stora variationer från dag till dag, t.ex. vid Göteborg Vatten som har Göta älv som råvattentäkt. Här har kommunen nästintill varit tvingad att införskaffa och utveckla ett förvarningssystem för att inte äventyra dricksvattenkvaliteten hos abonnenterna. Under de senaste decennierna har dock samhället och klimatet förändrats och i takt med dessa förändringar ökar även hoten mot våra vattenresurser. Behovet av att skydda vattentäkterna och ha kontroll över råvattenkvaliteten kommer att få en allt viktigare funktion om vi skall kunna bevara den goda vattenstatus som vi för närvarande har i Sverige.

Hotbilden mot vattentäkterna kan indelas i två huvudkategorier, nämligen diffusa föroreningar och akuta föroreningar.

Inom kategorin diffusa föroreningar inryms t.ex. ökande salthalter i vattentäkterna härstammande från vägnätet eller ökad humushalt och färgtal i densamma, orsakade av förändringar i klimatet. Även diffusa läckage från industriområden, jordbruksmark och diverse upplag kan hota vattentäkterna långsiktigt. Vid dessa diffusa föroreningar är det av stor vikt att ett tidigt förvarningssystem ger information om en förändring av råvattenkvaliteten i ett så tidigt skede som möjligt så att t.ex. processändringar i vattenverket alternativt sanering av aktuell förorening kan ske. Alternativet kan även vara att nyttja reservvattentäkt eller att etablera en sådan.

Med akuta föroreningar menar vi oftast ett olycksförlopp som mycket fort kan påverka vattentäkterna negativt t.ex. olyckor med farligt gods i närheten av vattentäkterna. Dessa olyckor kan ske på våra vägar, järnvägar eller efter vattendrag. Till skillnad från de diffusa föroreningarna gäller det vid dessa olyckor att snabbt bli varse om olyckan och därefter vidta åtgärder. Dessa åtgärder kan t.ex. vara att stänga grundvattenbrunnar/råvattenintag för att förhindra att föroreningen når vattentäkten eller vattenverket. Akuta föroreningar kan också orsakas av sabotage. Detta är en viktig drivkraft för utveckling av tidiga förvarningssystem ibland annat USA men är håller även på att aktualiseras i Sverige.

Många kommuner i Sverige är intresserade av system för tidig förvarning om än de idag inte arbetar med dem. Tidiga förvarningssystem ses som ett komplement och en utveckling av det säkerhetstänkande

de redan idag har angående dricksvattenförsörjning. Dock måste en satsning på ett tidigt förvarningssystem ställas mot andra investeringar, vilket kan vara en anledning till varför systemen inte ännu är så vanligt förekommande. Andra kommuner med mindre resurser har däremot kanske inte ens funderat i banor om system med tidig förvarning utan nöjer sig med de rutiner som myndigheter efterfrågar.

I referensgruppen framkom att system som kan ge en tidig förvarning om oljeföroreningar är det som ansågs vara mest intressant. Anledningen till detta är att konsekvenserna blir mycket omfattande om dricksvattentäkten, vattenverket eller till och med ledningsnätet förorenas av petroleumprodukter och är ett relevant riskscenario för många vattenverk. Vidare framkom i referensgruppen att system som varnar för oljeföroreningar hade gruppen mycket lite kunskap om och därför framfördes önskemål om att information om sådana system skulle tas fram inom ramen för detta projekt.

I referensgruppen framkom också att tidiga förvarningssystem måste vara utformade så att de inte ger för många falska larm. Detta för att skapa en tilltro till systemet och för att responsen från systemet ska kunna införlivas i de normala drifrutinerna på förtroendeingivande sätt. En annan viktig aspekt är att systemen måste utformas så att de klarar av svenska förhållanden, med bl.a. isbelagda råvattentäkter och minusgrader. Detta ställer höga krav på den tekniska utrustningen som används.

8 System som används idag i Sverige

8.1 Kontinuerlig övervakning av kemisk-fysikaliska parametrar i Göta älv

8.1.1 Utformning

I Göta älv, som förser mer än en halv miljon människor med dricksvatten, sker en kontinuerlig övervakning av vattenkvaliteten. Vid sju mätstationer längs med älven mäts de kemisk-fysikaliska parametrarna pH, konduktivitet, temperatur, redoxpotential och turbiditet kontinuerligt.

Göta älvs vattenvårdsförbund (GÄVVF) ansvarar för fem av mätstationerna som är placerade i älven med ca en mils mellanrum, från Vänersborg ner till Nol. Mätstationerna är likartat uppbyggda. Inkommande provvatten leds in i en ledning över en ränna. På ledningen finns flera överfallsledningar monterade för delströmmar i vilken mätsonder för pH, redoxpotential, konduktivitet och temperatur är neddoppade. Ett separat delflöde går till en turbiditetsmätare. Hur detta är monterat kan ses i Figur 8-1. Mätsignalerna går från de olika sönerna och turbiditetsmätaren till en logger/dator med ett specialdesignat program i LabView som har kommunikation via modem. En larmfunktion finns för uppringning och dygnsvis hämtning av mätvärden sker via tele-nätet.

Vid sidan av den kontinuerliga mätningen av kemisk-fysikaliska parametrar sker även en kontinuerlig vattenprovtagning med en skedprovtagare, några ml per minut. Från denna leds vattnet till fem stycken femlitersflaskor som är uppställda på golvet i mätstationen. När den första är fylld efter drygt 1,5 dygn rinner vattnet vidare till nästa, osv. Skedprovtagaren syns till höger i den högra bilden i Figur 8-1 och glasflaskorna i Figur 8-2.



Figur 8-2
Övervakningsstation med glasflaskor för automatisk vattenprovtagning i förgrunden (Foto: A. Hedström)



Figur 8-1 Uppställning för övervakningen av pH, konduktivitet, redoxpotential, temperatur och turbiditet (Foto A. Hedström)

Den översta mätstationen i Göta älv är placerad i pumphuset för inkommande råvatten till Vänersborgs vattenverk (Skräcklan). Råvattnet tas någon kilometer ut i Vänern. De övriga mätstationerna (Gäddebäck, Älvabo, Garn och Södra Nol) är konstruerade med dränkbara pumpar monterade på dykdalbar eller brygga som uppfordrar provvatten in till mätstationer som inryms i ombyggda manskapsbodar, se Figur 8-3.

I Figur 8-4 framgår var de olika mätstationerna är utplacerade i älven. Avståndet från intagspunkten i Vänern till Lärjeholm är cirka 75 km och den normala rinntiden för den sträckan är 40–50 timmar.

I Surte och i Lärjeholm (vid råvattenintaget till Alelyckans vattenverk) har Göteborg Vatten två övervakningsstationer. Vad gäller mätningen av kemisk-fysikaliska parametrar och automatisk vattenprovtagning sker detta på samma sätt som vid de övriga stationerna. Provuttag sker med slang från älven med hjälp av torruppställda pumpar i stationerna vilket ej har varit problemfritt då det lätt blir stopp i sugslangen.



Figur 8-3
Mätstationen i Garn (Foto L. Brihs)

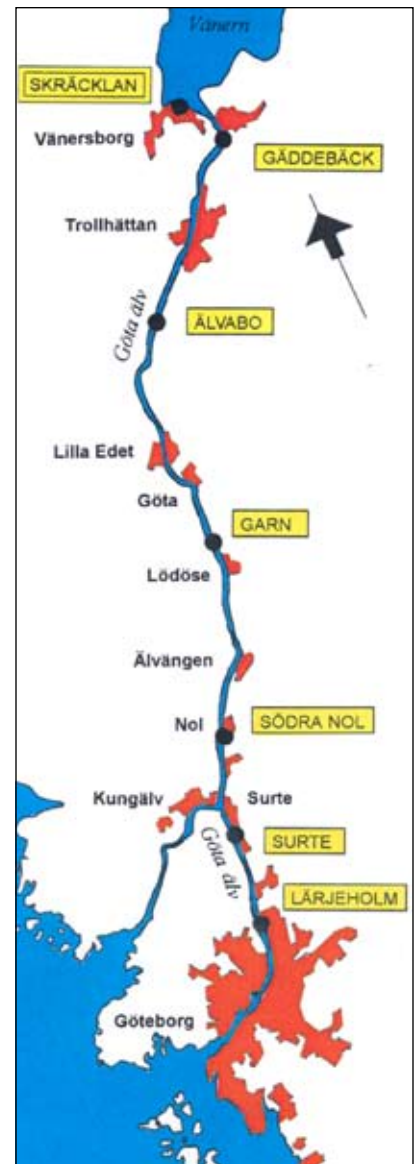
8.1.2 Vad kan detekteras?

Genom att mäta kemisk-fysikaliska parametrar som pH, redoxpotential, konduktivitet, temperatur och turbiditet kan en generell bild av älvens vattenkvalitet erhållas och man kan även få indikationer på om/när det inträffar någonting i älven eller avrinningsområdet som påverkar vattenkvaliteten.

För Göteborg Vatten är konduktivitetmätningarna ett sätt att kontrollera om älvvattnet påverkas av uppträngning av salthaltigt havsvatten på grund av högt vattenstånd. Detta är inte alls önskvärt eftersom salthalten då ökar i råvattnet. En uppmätt konduktivitet på 40 mS/m motsvaras av en kloridhalt på ungefär 100 mg/l. Denna nivå uppnås cirka 10 gånger per år och medför stängning av vattenintaget vid Lärjeholm.

Långvarig turbiditetshöjning orsakas oftast av avrinning från jordbruks- och skogsmarker längs med älven vid häftiga regn eller snösmältning. Det kan också vara utsläpp från pumpstationer när avloppsvatten bräddas, från massaindustrier eller avloppsreningsverk. Dessa turbiditetshöjningar sammanfaller oftast med höga halter bakterier vilket innebär att turbiditetmätningen även kan ge ett indirekt mått på bakterienivån i vattnet. Fartyg som passerar mätstationerna drar också upp turbiditeten rejält på mycket kort tid i och med att botten slam virvlar upp, men dessa toppar avklingar snabbt och betraktas vara normala driftförhållanden och påverkar inte driften av vattenproduktionen och val av råvatten.

pH och redoxpotential i älvvattnet kan ändras på grund av industri-föroreningar, och tillsammans är dessa mätningar ett bra verktyg för att identifiera industriutsläpp. Dock ger dessa parametrar många falska larm i och med att de naturliga variationerna är stora, särskilt på sommaren beroende på biologisk aktivitet och stora temperaturvariationer under dygnet.



Figur 8-4
Placering av mätstationerna i Göta älv

8.1.3 När går larmet?

Datainhämtningen från mätstationerna bearbetas automatiskt och kan generera larm som går till kontrollcentralen på Alelyckans vattenverk (KCA). Beroende på vilken parameter som avses, går larmet om ett av värdena under- eller överstiger ett min- eller maxvärde under en viss tid, se Tabell 8-1. För konduktivitet, turbiditet och temperatur är minimivärdena för larmnivå satta för att ge en indikation om mätutrustningen havererar. För pH och redoxpotential genereras också larm om värdet för parametern förändras signifikant under en viss tid, så kallade derivatalarm och dessa säger mer om påverkan på vattnet än larm som enbart beror på överskridande av min- eller maxvärde.

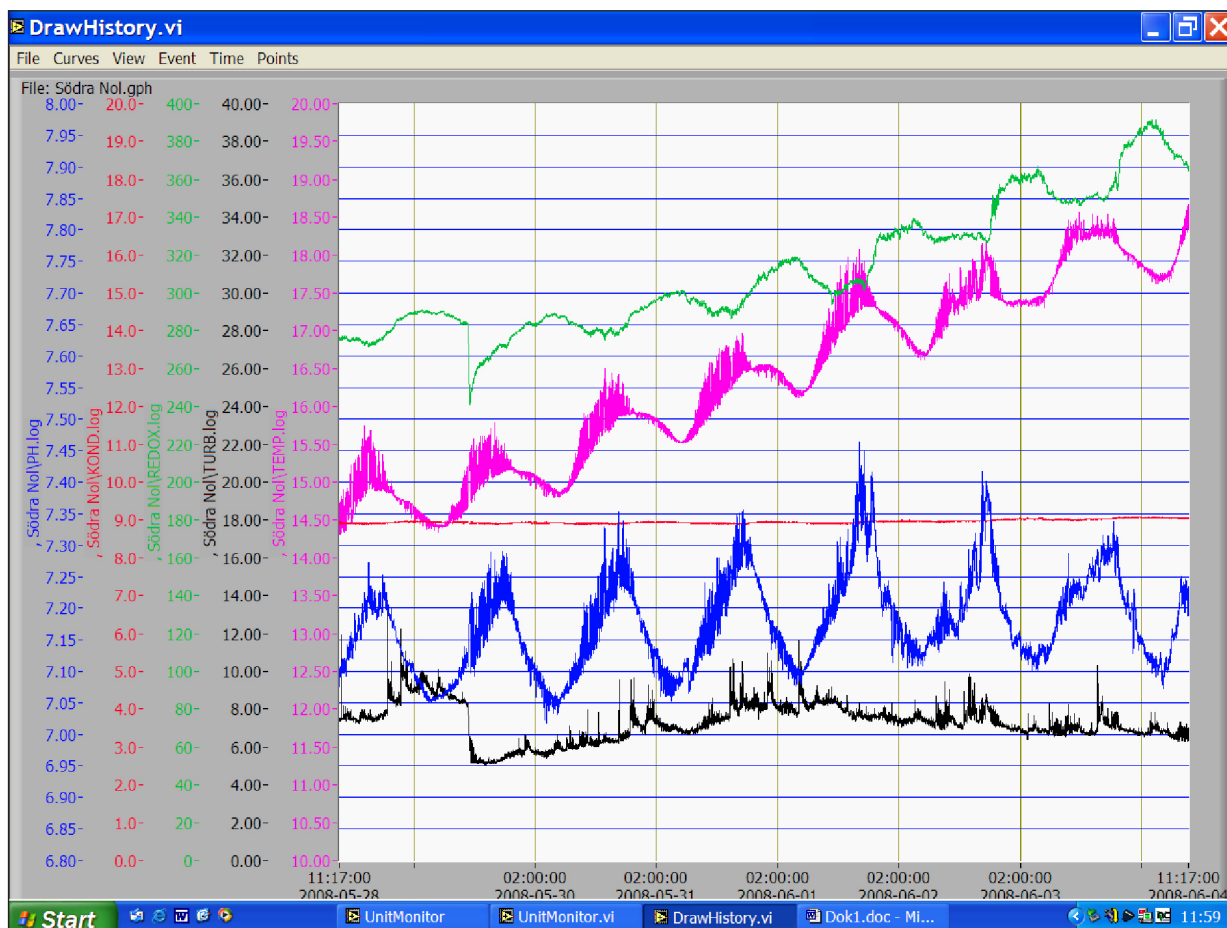
För intagsstationen vid Lärjeholm är andra larmnivåer satta (Tabell 8-1) än övriga stationer och om dessa överskrids medför detta direkt stängning av vattenintaget från Göta älv. Anledningen till att nivån för konduktivitet är högre vid Lärjeholm än övriga kontrollstationer är att vid intagsstationen är saltvatteninträngning det mest intressanta men för övriga stationer är det industriutsläpp. För dessa är toleransen lägre. För turbiditet gäller det motsatta, nivån är lägre vid intagsstationen, och orsaken till det är att de med denna parameter indirekt kontrollerar bakterieförekomsten. Om turbiditeten överstiger 12 FNU görs också en utökad bakterieanalys. När larm kommer från övriga stationer kanske dessa inte omedelbart genererar en stängning av vattenintaget eftersom flyttiden från den övervakningsstation där larmet genererats till intaget kan vara flera timmar eller dygn. Däremot blir operatörerna observanta på att någonting är på gång och vad som kan ha hänt kan undersökas.

8.1.4 Hur ser de registrerade kurvorna ut?

Uppmätta värden i Göra älv varierar kraftigt trots att normala driftförhållanden råder. I Figur 8-5 kan registrerade värden under en vecka för övervakningsstationen i södra Nol ses. pH och temperatur varierar på dygnsbasis och det går även att utläsa att temperaturen steg under denna specifika vecka. Turbiditeten varierar oregelbundet under dygnet och de toppar som syns i diagrammet är effekten av fartyg som passerar mätstationen och river upp bottensediment som genererar en tillfälligt ökad turbiditet. I figuren går även att se att konduktiviteten var stabil medan redoxpotential ökar under veckan. Denna ökning är normal och är relaterad till att det blir beläggningar på elektroden. När elektroden tvättas vid veckotillsynen sjunker redoxpotential igen.

Tabell 8-1 Min- och maxvärden för larm samt förändringens längd

Parameter	Min-Max värden för larm	Larmnivå för direkt stängning vid Lärjeholm	Varaktighet för överskridande	Varaktighet av förändring för derivatalarm
Konduktivitet	6–16 mS/m	40 mS/m	1 min	
Turbiditet	1–20 FNU	12 FNU	15 min	
Temperatur	0–50° C			
pH	6,8–7,7		1 min	10 min
Redoxpotential	70		1 min	10 min



Figur 8-5 Registrerade kurvor från övervakningsstationen i Södra Nol

8.1.5 Tillsyn

Tillsyn av mätstationerna sker veckovis av personal från Göteborg Vatten eller från något av de lokala vattenverken som ligger närmare stationerna. Elektroden rengörs varje vecka och likaså ses den automatiska vattenprovtagningen över. Provtagningsflaskor töms och rengörs. I fall det inträffat något extraordinärt i älven som detekterats via on-linemätningarna kan vattnet i flaskorna skickas för analys för att i detalj undersöka vad som skett. Detta har dock inte hänt på många år. Kalibrering av instrument görs varannan vecka.

8.1.6 Utvärdering av registrerade data

Vid sidan av hantering av larm som sker vid kontrollcentralen (KCA) och som i sig kan resultera i stängning av vattenintaget och ändrat råvattenutnyttjande görs även dagligen utvärderingar av insamlad data från mätstationerna av laboratoriepersonal. De registrerade kurvorna för de olika kemisk-fysikaliska parametrarna studeras och likaså resultatet från den automatiska kontrollen av *E. coli* i råvattnet se kapitel 8.2. Detta görs för att få en förståelse om och i så fall vad som kan ha hänt i älven. Om normala förhållanden råder och ingenting särskilt inträffar tar denna utvärdering uppskattningsvis 30 minuter per dag. Vid ovanliga händelser kan analysen däremot ta flera timmar i anspråk.

8.1.7 Inrapportering från verksamheter

Som komplement till on-linemätningarna i övervakningsstationerna har även Göteborg Vatten numera goda relationer till industrier och övrig verksamhet längs älven. Om exempelvis en industri får problem med sin process, som kan påverka älvvattnet, rapporteras detta in till kontrollcentralen.

8.1.8 Stängningar

De varningssystem som Göteborg Vatten använder sig av vattenintaget. Under 2007, som är ett förhållandevis representativt år, stängdes vattenintaget vid 77 tillfällen varav hög bakteriehalt och turbiditet stod för merparten av stängningarna, se Tabell 8-2.

Tabell 8-2 Antal och orsak till stängning vattenintaget från Göta Älv 2007

Orsak till stängning	Antal tillfällen	Andel av total tid som intaget var stängt
Bakterier och turbiditet	52	27 %
Saltvatten	13	5 %
Övrigt (kemikalier, olja mm)	6	1 %
Totalt	77	31 %

8.2 On-linemätningar av kemisk-fysikaliska parametrar i Linköping och Norrköping

Norrköping vatten har kontinuerlig mätning av pH och konduktivitet i Glan som är en del av ett sjösystem som både försörjer Norrköping och Linköping med vatten. Ett avfallsupplag är lokaliserat uppströms vattentäkten och en motorväg passerar i närheten. Vid saltning av vägen kan ses en uppgång i konduktivitet i sjön, men värdena har aldrig blivit så höga att ett larm har gått. Intaget har aldrig stängts på grund av dessa mätningar.

Tekniska verken i Linköping mäter kontinuerligt turbiditet och temperatur vid två platser i vattentäkten. Larm genereras sällan och återgärder på grund av dessa mätningar har aldrig gjorts.

8.3 Automatisk kontroll av *E. coli* i älvvattnet

Göteborg vatten använder sig av en automatisk kontroll av *E. coli* i älvvattnet, vilket de som dricksvattenproducenter troligen är ensamma om i Sverige. I de två mätstationer som Göteborg vatten har i Surte och Lärjeholm analyseras förutom de kemisk-fysikaliska parametrarna även bakterien *E. coli*. I båda stationerna finns instrumentet Colifast at Line Monitor, CALM, som analyserar *E. coli* med MPN-teknik (Most Probable Number). Instrumentet suger upp ett prov var tolfte timme. 0,45 ml prov sätts till vardera 5 vialer med okoncentrerat substrat och odling sker under 12 timmar. Uppställningen för provtagning och analys kan ses i Figur 8-6.



Figur 8-6

Uppställning för provtagning och analys av *E. coli* i kontrollstationen i Lärjeholm (foto A. Hedström)

En positiv vial (innehållande minst en *E. coli*) gör substratet fluorescerande vilket mäts i spektrometer. Med en sannolikhetskalkyl uppskattas halten *E. coli* /100 ml enligt värdena i Tabell 8-3.

Tabell 8-3 MPN värden för *E. coli* st/100 ml

Positiva vialer	0	1	2	3	4	5
Sannolik halt <i>E. coli</i>	<50	50	100	200	400	>400

Resultatet går via telenätet direkt till kontrollstationen på Alelyckan. Vid halter på 400 st *E. coli* /100 ml eller över stängs intaget från Göta älv och alternativ råvattentäkt används. Efter två konsekutiva resultat under 400 öppnas intaget igen. Under 2007 skedde 52 stängningar av vattenintaget pga av höga halter av *E. coli*.

Tillsyn av utrustningen sker ungefär varannan dag och ett set av vialer räcker för 3,5 dagar. Dessa är engångsvialer och levereras förfyllda av Colifast A/S.

8.4 Kamerabevakning

Kamerabevakning vid vattenintaget kan vara ett sätt att kontrollera om synliga föroreningar finns i vattnet, vilket exempelvis skulle kunna vara oljeföroreningar som ligger på vattenytan eller grövre föroreningar, som till exempel döda djurkroppar.

Göteborg Vatten har monterat en kamera vid råvattenintaget vid Lärjeholm som fortlöpande levererar en bild till kontrollcentralen över hur vattenytan vid intaget ser ut. Belysning finns monterad i anslutning till kameran så att en bild även ska kunna levereras när det är mörkt.

Trots att bilden från intaget levereras kontinuerligt till kontrollcentralen har det visat sig att det är svårt att exempelvis identifiera oljeföroreningar utifrån bilden beroende på bl a reflexbildning.

8.5 Doftbänkar och doftkolonner

Doftbänkar och doftkolonner är förvarningssystem som finns eller planeras att installeras på flera vattenverk i Sverige. Syftet med dessa är att kunna identifiera petroleumföreningar i vattnet inne på vattenverket så att förorenat vatten inte skickas ut på nätet. Regelbundet går personal runt och luktar på vattnet. Den mänskliga näsan har förmåga att identifiera petroleumföreningar långt innan vattnet blir otjänligt ur hälsosynpunkt. Utformning och rutiner skiljer sig lite åt mellan de olika vattenverken.

8.5.1 Ringsjöverket

I Ringsjöverket som försörjer stora delar av Skåne med dricksvatten finns en doftbänk installerad. Vid denna kan vattenkvaliteten från fyra olika platser inne i ytvattenverket kontrolleras – vid råvattenintaget, efter snabbfiltret, på utgående dricksvatten samt kranvatten som representerar ledningsnätet kort efter att vattnet lämnat behandlingsstegen. I Figur 8-7 kan ses hur doftbänken är utformad. Kontinuerligt finfördelas vattenflödet i en dysa inne i en glasbehållare. Vattnet håller en temperatur på 40–50° C. När ronden görs lyfts glaslocket och personalen luktar ned i behållaren. Tolv gånger per dygn går personal runt och luktar på vattnet.



Figur 8-7 Doftbänk på Ringsjöverket (Foto K. Lundquist)

8.5.2 Göteborg Vatten

Göteborg vatten har doftbänkar monterade både på Alelyckans och Lackarebäcks vattenverk och hur de är utformade på Lackarebäcks vattenverk kan ses i Figur 8-8. Råvatten, förbehandlat vatten, färdigbehandlat dricksvatten samt kranvatten går att lukta på i denna bänk. Här sprutar tre vattenstrålar upp i en glasbehållare och vattnet håller en temperatur på runt 50° C. För att undvika tillväxt av legionellabakterier har en UV-lampa monterats på inkommande vatten. Baksidan av detta är dock att UV-lampan slår sönder molekyler i mindre delar, som i sig kan generera lukt som inte fanns ursprungligen i vattnet.



Figur 8-8 Doftbänk på Lackarebäcks vattenverk (Foto A. Hedström)

På Lackarebäck finns en rutin där personal tre gånger per vecka går och luktar i doftbänkarna. På Alelyckan sker luktandet mer sporadiskt.

8.5.3 Stockholm vatten

Stockholm vatten har doftkolonner installerade. På Norsborgs vattenverk används de inte längre på grund av att det näringsrika råvattnet gör att ledningar och dysor i doftkolonnen växer igen. För att komma till rätta med detta monterades en UV-lampa utan att problemet löstes. Underhållet av doftkolonnerna blev för stort och man har istället valt att göra ronder inne på verket bland de öppna bassängerna.

8.5.4 Norrvatten

Norrvatten planerar att installera två doftbänkar på Görvälnverket så att kontroll kan göras på inkommande råvatten och utgående dricksvatten. I den vattenbehandlingsprocess som används där finns en möjlighet att petroleumföroreningar upptäcks först efter klorering. Detta för att mycket låga halter av föroreningen inte kan uppfattas i inkommande vatten, men när petroleumföroreningar reagerar med klor i kloreringssteget kan en mycket markant doft uppkomma som är förhållandevis lätt att detektera i en doftbänk, trots att halterna av petroleumföroreningen är mycket låg.

På Norrvatten har man för avsikt att utforma sina doftbänkar så att vatten automatiskt roterar runt i en behållare som liknar en e-kolv. De har tidigare undersökt utformningen och kommit fram till att doften är lättare att känna i en sådan jämfört med att ha ett system med dysor eftersom luktorganet kan bedövas av de små vattendropparna.

8.6 Prognosmodeller

Prognosmodeller kan användas för att uppskatta om ett utsläpp som sker i en vattentäkt kan komma att spridas till råvattenintaget för ett vattenverk. Seatrack är ett sådant system och finns idag uppsatt för östra Mälaren och används av Norrvatten och Stockholm Vatten. Systemet finns också uppsatt för Vättern och används av Vätterns vattenförbund.

Seatrack är ett system som bygger på tre olika komponenter:

- strömfält beräknade med en hydrodynamisk modell som innefattar strömmar, blandning, temperatur och salthalt
- en spridningsmodell som beräknar hur ett utsläpp sprids, förändras, avdunstar (gäller åtminstone för olja) m.m.
- ett användargränssnitt för inmatning och presentation

Denna modell är lättanvänd och bygger på att någon måste rapportera om en olycka som skett kan påverka vattenkvaliteten. Om en olycka sker som genererar ett utsläpp eller misstanke om utsläpp av förorening rapporterar räddningstjänsten till de vattenverk som kan bli berörda av olyckan där personal aktiverar Seatrack.

De indata som matas in i modellen är uppgifter om utsläppet (platsen och tidpunkten för olyckan, vilken typ av förorening det gäller, hur långvarigt utsläppet var samt storlek på utsläppet) och väderförhållanden (vindriktning och hastighet), årstid (om det finns en skiktning i vattnet) och om det finns is på vattnet. Modellen räknar därefter ut om det finns risk att föroreningen kan spridas till intagspunkten för vattenverket.

Seatrack har idag sin begränsning i och med att den inte innehåller någon aktiv prognosmodell för hydrodynamiken. Istället har ett antal strömfält för olika väderscenarier beräknats i förväg och finns lagrade i systemet. Utifrån de förhållanden som användaren matar in med avseende på exempelvis vindförhållanden och årstid sätts en serie av lämpliga strömfält ihop som förhoppningsvis kan ge en hyfsad beskrivning av de strömningsförhållanden som råder i sjön det specifika tillfället.

Seatrack är ett system som tillhandahålls och säljs av SMHI och det är möjligt att sätta upp denna modell för andra sjöar och vattendrag. Om detta skulle göras skulle systemet göras något annorlunda idag i jämförelse med hur det gjordes då det sattes upp för östra Mälaren. Systemen skulle göras webbaserat och innefatta realtidsprognoser för strömningsförhållanden. Kontaktperson för detta system är Cecilia Ambjörn, SMHI. En utveckling av Seatrack är möjlig liksom utveckling av liknande system. Detta finns beskrivet i kapitel 9.4.

8.6.1 Stockholm Vattens användning av Seatrack

Om det sker ett utsläpp eller en olycka i Mälaren som rapporteras in till Räddningstjänsten går ett larm till Stockholm Vatten. Likaså kan industrier höra av sig till Stockholm Vatten direkt angående utsläpp. Den ansvarige skiftingenjören får då mata in uppgifter om händelsen i prognosmodellen Seatrack (koordinater för utsläppet, utsläppets volym etc) som med hjälp av rådande väder-, vind- och strömningsförhållanden beräknar om det finns en risk att föroreningen kan spridas till intagen för vattenverken.

I stort sett alla på skiften och produktionscheferna kan använda Seatrack och varje vecka testkörs systemet av varje skift, vilket innebär att varje person använder det ca en gång per månad. Under 2007 användes Seatrack uppskattningsvis fyra gånger i skarpt läge efter larm från räddningstjänsten eller direkt från industrier. Händelser som genererat larm är exempelvis oljeutsläpp på Mälaren eller kemikalieutsläpp från

industrier. Än så länge har inte "Seatrack" signalerat att vattenintaget till något av vattenverken måste stängas på grund av en olycka eller utsläpp.

8.7 Trendanalyser

Trendanalyser på vattenkvalitet är ett sätt att upptäcka diffusa föroreningar som riskerar att förorena en vattentäkt. Genom att genomföra regelbundna vattenanalyser vid valda platser i vattentäktens tillrinningsområde och därefter sammanställa analysresultaten på ett sådant sätt att trender åskådliggörs (trendanalys) kan smygande förändringar i vattenkvalitet upptäckas. Det möjliggör att motåtgärder kan sättas in innan vattentäkten har förorenats. Metoden används inom ett antal kommuner i Sverige, dock med väldigt varierande omfattning. Många analyslaboratorier har möjlighet att sammanställa tidsserier av analysresultat och leverera till kund, men tjänsten köps/används sällan av kommuner.

8.7.1 Örnsköldsvik

Örnsköldsviks huvudvattentäkt i Gerdal är baserad på konstgjord infiltration. Det ytvatten som infiltreras för att bilda grundvatten pumpas från råvattenintaget i Lövsjösjön. Lövsjösjön är en relativt liten sjö, belägen i ett jordbruksområde. Vid vattentäkten i Gerdal uppkommer risker för vattentäkten dels genom påverkan på råvattnet i sjön, dels genom potentiella föroreningskällor för grundvattenmagasinet, bland annat i form av en väg belägen i nära anslutning till vattentäkten.

I Örnsköldsvik använder man sig av trendanalyser på vattenkvalitet för att förutsäga dels hur driften av vattentäkten måste anpassas i framtiden, dels för att bedöma om skyddsåtgärder krävs för att reducera/eliminera någon föroreningskälla. Provtagning genomförs både på råvatten i Lövsjösjön och i grundvattenmagasinet. Analysresultat sammanställs i diagram och trender diskuteras regelbundet i en vattengrupp med representanter både från vattentäktens huvudman (VA) samt tillsynsmyndighet (miljökontoret). Genom trendanalys har bl.a. en långsiktig ökning av närsaltalter i Lövsjösjön konstaterats, vilket medför att trenden måste vändas genom skyddsåtgärder i sjöns tillrinningsområde eller att en förbehandling kommer att krävas på vattnet innan det infiltreras till grundvattenmagasinet.

9 Möjliga system under utveckling

9.1 Biomonitorer

Biomonitorer är system som bygger på levande organismer eller celler. I arbetet med detta projekt har vi inte kommit i kontakt med någon kommun i Sverige som använder sig av sådana i avseendet tidiga förvarningssystem. Däremot används sådana system i andra länder, exempelvis Nederländerna, Tyskland och USA. Flera system finns kommersiellt tillgängliga och de baseras i stor utsträckning på organismer som brukar användas i traditionella toxicitetstester. De system som redovisas nedan är sådana som är utvecklade så att de används on-line och ger varningar på automatisk väg.

9.1.1 Online-system med levande organismer

Det är möjligt att använda sig av levande organismer så som fiskar, musslor och *Daphnia* i tidiga förvarningssystem. De kan användas för att detektera föroreningar i vatten som exempelvis kemikalier som används i jordbruket, industriutsläpp och farmaceutiska ämnen (Carpentier, 2008, personlig kommentar).

”BBE*Daphnia* Toximeter” är ett biomonitoringsystem som är kommersiellt tillgängligt och saluförs av det tyska företaget BBE-moldaenke, se Figur 8-1 (Carstens, 2008, personlig kommentar). Systemet kan både användas för kontroll av råvatten och ute på dricksvattennätet.

Detta system användes bland annat under de olympiska spelen i Salt Lake 2002. Detta system installerades för att bevaka vattenkvaliteten i de sex viktigaste vattenverken i Salt Lake Valley. I detta fall var främsta intresset att ha ett system som kunde identifiera föroreningar kopplade till sabotage som exempelvis pesticider, nervgaser som sarin och tabun samt andra kemiska stridsmedel. Systemet finns beskrivet av Green et al. (2003).

I detta förvarningssystem används organismen *Daphnia magna* som är en slags hinnkräfta. Systemet är ett on-linesystem som består av en glasbehållare i vilken organismerna lever. Genom denna behållare strömmar kontinuerligt en delström av det vatten som övervakas. En anordning finns för att hålla kvar organismerna i behållaren. En kamera är monterad så att organismernas rörelsemönster kontinuerligt kan övervakas. Detta system är kopplat till en dator och monitor som tolkar organismernas rörelsemönster med digital bildanalys och kan generera larm om rörelsemönstren blir onormala. De parametrar som registreras och tolkas är bland annat simhastighet (cm/s), simhöjd (cm), avstånd mellan organismerna (cm) och antal aktiva organismer.

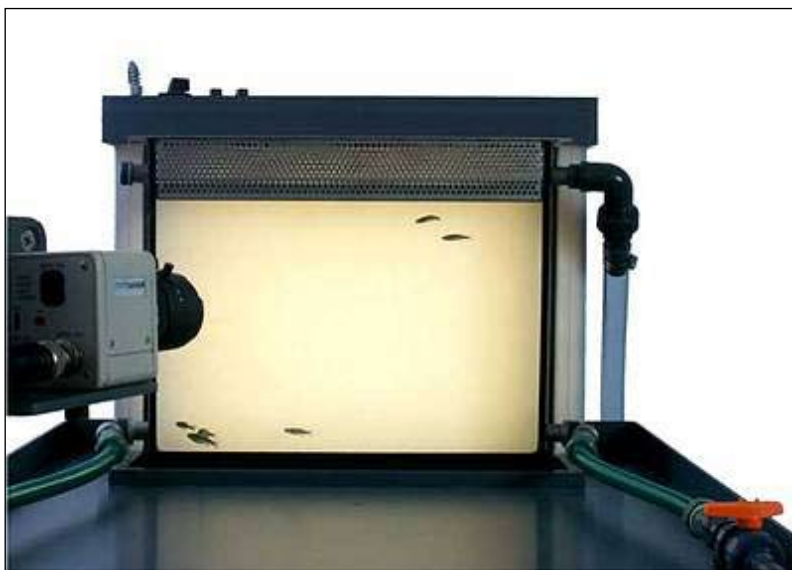
Företaget Kerren kunststoff technik har ett annat on-linesystem som baseras på *Daphnia* (Aqua-Tox-Control *Daphnia*) men med något enklare utförande (Kerren Kunststoff Technik, 2008a). Detta system bygger på tekniken att när vattnet är rent och organismerna mår bra är de i simmande i vattenvolymen men om en förgiftning sker sjunker de till botten. Om organismerna kommer i kontakt med bottenplattan går ett larm.



Figur 9-1
Daphnia Toximeter (BBE-moldaenke)

Kerren kunststoff teknik har även ett annat on-line-system för tidig förvarning som istället för Daphnia baseras på fiskar. Detta system kallas för Aqua-Tox-Control och fungerar som ett genomströmmande akvarium i vilket fiskar hålls (Kerren Kunststoff Technik, 2008b). Systemet baseras på att fiskarna orkar simma mot strömmen när de mår bra men om de påverkas negativt av toxiska ämnen tryter kraften hos fiskarna och dessa glider bakåt mot akvariets bakkant. Om fiskarna slår i den bakre kanten av akvariet går ett automatiskt larm.

Ett fiskbaserat system tillhandahålls även av BBE-moldaenke, bbe Fish Toximeter, se Figur 9-2. För vidare information, se BBE-moldaenke (2008). Detta består av ett akvarium genom vilket vatten strömmar. Kontinuerligt och automatiskt analyseras videobilder som bedömer fiskarnas hälsa. Tolkningen av fiskarnas hälsostatus görs utifrån bl.a. simhastighet, simhöjd, hur fiskarna simmar i cirklar eller om de inte rör sig alls.



Figur 9-2
bbe Fish Toximeter
(BBE-moldaenke)

Förutom system som baseras på Daphnia och fiskar finns de som baseras på alger och musslor. Om en vattenproducent med ett system med biomonitorer vill täcka in ett brett spektrum av toxiner, är kanske de algbaserade systemen de som ger den bredaste responsen. Dock är alger mindre känsliga för toxiner och fiskar och Daphnia reagerar mer likt människan och därför är sådana system kanske mer lämpliga för vissa typer av föroreningar som kan finnas vid låga koncentrationer (Detlev, 2008, personlig kommentar). Hon säger även att en avancerad biomonitoringstation kan bestå av mätningar av bakterier, en algtoximeter samt en fisk eller Daphnia toximeter. Hon medger dock att de flesta vattenproducenter i Tyskland som använder sig av biomonitorer antingen har en Daphnia- eller fisktoximeter.

Detektionsnivåer för pesticider som de biomonitorer som saluförs av BBE- moldaenke, ligger på mikrogramnivåer (Detlev, 2008, personlig kommentar).

I En uppskattning som har gjorts av Carstens (2008, personlig kommentar) finns cirka 40–50 vattenverk runt om i Tyskland och Neder-

länderna som använder sig av biomonitorer i on-linesystem som baseras på *Daphnia*, fiskar eller alger.

9.1.2 Cellsensorer

Biologiska sensorer för tidig förvarning som består av levande celler håller för närvarande på att utvecklas av bland annat Siemens (Siemens, 2008). Detta system kallas för cellsensorer och består av cellkulturer som fästs på kiselchips. Om miljön för cellerna förändras kommer detta att medföra att cellernas metabolism ändras vilket kan registreras och konverteras till signaler av chipet. Denna information skickas därefter vidare till ett kontrollsystem vilket kan ge larm om att återgårdar måste vidtas.

De celler som är särskilt intressanta för dessa cellsensorer är leverceller och avsikten är att kunna hålla cellerna levande på chipet under åtminstone ett par månaders tid. Chipen måste därför ständigt vara omgivna av en näringslösning. Detta kan lösas genom att näring tillförs den vattenström som avses att kontrolleras.

9.2 Aktiva optiska mätinstrument

Optisk instrumentering används i olika typer av sammanhang för driftstyrning och uppföljning. Norrvatten har funderat på att öka användandet av optiska mätinstrument, både för driftövervakning och i användning som tidiga förvarningssystem. På uppdrag av Norrvatten har Niklas Strömbeck, Strömbeck Consulting, med bakgrund som forskare inom limnologi vid Uppsala universitet, gjort en sammanställning om optiska mätinstrument i en rapport (Strömbeck, 2008). Denna rapport ligger till grund för avsnitt (9.2) samt bilaga 1 och har även kompletterats med muntliga uppgifter från Strömbeck.

Optiska mätinstrument har under lång tid använts i processindustrin. Sådana instrument är väl anpassade för processmiljön med avseende på t.ex. kapsling och installation. De har oftast många olika sätt att kommunicera, har kontrollboxar som ofta innefattar displayer och enkla användargränssnitt för kalibrering etc. De har dessutom ofta automatisk rengörning av sensorerna. Däremot är de ofta inte speciellt komplicerade i optiskt hänseende utan pragmatiskt konstruerade för att ge rimliga och stabila mätningar av enbart en eller ett fåtal parametrar även vid t.ex. mycket höga halter i vattnet. Instrumenten levereras ofta färdigkalibrerade för att direkt kunna leverera mätvärden.

Optiska mätinstrument används även inom oceanografi och limnografi och dessa instrument skiljer sig generellt från processinstrument i flera olika avseenden, speciellt om de främst riktar sig mot forskningsvärlden. Oftast har de en mer rigorös och dokumenterad optisk utformning vilket gör mätningarna mycket noggranna. De kan ofta kalibreras för att mäta fysiska storheter vilket det inte alltid finns ett behov av inom processindustrin. Instrumenten är också nästan alltid anpassade för mycket klart havsvatten, ett faktum som måste tas i beaktande om man vill använda dem. Instrumenten har en mycket robust design med trycksäkra optiska enheter. De är ofta även mycket

kompakta i formatet och integrerad kontroll och display saknas många gånger, utan man hänvisas ofta till en extern kontrollbox. Vidare saknas nästan alltid möjligheter för automatisk rengöring. Gemensamt för nästan all optisk instrumentering för vetenskapliga applikationer är att de levererar ”råa” mätvärden som sedan behöver mer eller mindre avancerade korrektioner och kalibreringar för att kunna ge direkt användbara mätvärden.

För detaljerad beskrivning hur aktiva optiska instrument fungerar, se Bilaga 1.

9.2.1 Vilka parametrar går att mäta optiskt?

Det har länge funnits allmän kunskap om att många vattenkvalitetsparametrar går att mäta med optisk instrumentering, utan tillsats av reagens eller dylikt. De vanligaste parametrarna är antagligen de som går att relatera till vattnets grumlighet med hjälp av spektrofotometri inom det synliga området och närainfraröda området, men även parametrar relaterade till olika typer av pigment och lösta ämnen går att mäta. Om mätområdet utvidgas till det ultraviolettera kan även salter och många typer av kolväten mätas spektrofotometriskt. Flera av de parametrar som kan mätas spektrofotometriskt kan även mätas fluorometriskt. En sammanställning av parametrar som kan mätas finns att se i Tabell 9-1.

Fluorometriska mätningar har normalt mycket hög känslighet, men de måste så gott som alltid temperaturkorrigeras. När det gäller ickelevande material som t.ex. humus, kan man därefter få mycket exakta mätvärden, men det är betydligt svårare när det gäller t.ex. pigment hos växtplankton som Fykocyanin och Fykoerytrin eftersom deras fluorescens också varierar med planktonens sammansättning och fysiologiska status.

9.2.2 Petroleumprodukter

I detta projekt har i diskussioner i referensgruppen framkommit att det vore intressant om metoder för att identifiera och varna för petroleumprodukter i råvattnet kunde redovisas. Anledningen till detta är natur-

Tabell 9-1 Parametrar som kan mätas spektrofotometriskt och fluorometriskt

Spektrofotometriskt			Ultraviolett ljus	Fluorometriskt
Synligt eller närinfrarött ljus				
Grumlighet	Pigment	Lösta ämnen		
Turbiditet, Susp. partiklar, SS Susp. icke org. partiklar Susp. org. partiklar Partikulärt organiskt kol Totalhalt fosfor	Klorofyll Fykocyanin ¹ Fykoerytrin ²	Färg Humus TOC ³	Nitrit Nitrat Andra salter DOC ⁴ Polyaromatiska kolväten	Klorofyll Fykocyanin ¹ Fykoerytrin ² Humus TOC ³ DOC ⁴ O ₂ Polyaromatiska kolväten, tex diesel

¹ Pigment hos cyanobakterier i sötvatten

² Pigment hos cyanobakterier i saltvatten

³ Totalhalt organiskt kol

⁴ Löst organiskt kol

ligtvis de negativa konsekvenser som kan uppkomma om exempelvis vattenverk eller ledningsnät förorenas med petroleumprodukter och vilka konsumentreaktioner som kommer om dricksvattnet exempelvis börjar lukta diesel.

Vid scenarioanalyser angående risker för dricksvattenproduktion är många gånger diesel särskilt intressant eftersom fartyg, båtar och lastbilar ofta drivs med detta drivmedel och vid olyckor kan detta drivmedel läcka ut. Diesel är också mindre flyktigt än andra drivmedel vilket gör att dess uppehållstid i vatten är längre än för exempelvis bensin och gör att diesel lättare kan nå intagspunkten till råvattnet.

Polyaromatiska kolväten, som exempelvis diesel, kan identifieras med optiska mätmetoder, både spektrofotometriskt och fluorometriskt. Det finns många företag som tillverkar instrument enligt olika principer för mätning av olja i vatten ner till nivån mg/l, men det är enbart ett fåtal som gör anspråk på att klara koncentrationer ner till µg/l. Detta är i sammanhanget mycket låga nivåer, men ändå mycket viktiga eftersom exempelvis 5 µg/l diesel kan anses vara den koncentration då rent vatten börjar *lukta* diesel. För detektion och mätning av högre koncentrationer (i storleksordningen mg/l) finns det välfungerande och beprövade instrument som baserar sig på spektrofotometri i de ultraviolettera eller infraröda områdena. För koncentrationer ner till µg/l är dock fluorescensbaserade instrument den idagsläget enda praktiska lösningen om den ska nyttjas i fält eller on-line.

Ett tidigt förvarningssystem för identifiering av petroleumföroreningar med optiska mätinstrument bör bestå av en kombination av en fluorometer och exempelvis en spektrofotometer (Strömbeck, 2008, personlig kommentar). Anledningen till detta är att fluorometern inte är hundra procentigt selektiv för petroleum, utan även reagerar på andra ämnen i vattnet som t.ex. naturligt förekommande humusämnen och grumlighet. Med hjälp av spektrometern kan oberoende mätningar göras av dessa för att korrigera fluorometers mätningar och därigenom komma ner i detektionsnivå. På grund av den avancerade tekniken kan det vara lämplig att placera en sådan utrustning i anslutning till vattenintaget till vattenverket.

Om man inte är intresserad av en specifik petroleumförorening kan ett alternativ vara att mäta hela absorbansspektret med en spektrofotometer. Med denna kan vattnets normala spektrum identifieras och om förändringar sker av spektret som mäts upp on-line kan detta kopplas till s.k. larmparametrar, vilka ger utslag när spektret ser "onormalt" ut. Med detta tillvägagångssätt ligger dock detektionsgränsen på nivån mg/l.

9.2.3 Humus och cyanobakterier

Humus och cyanobakterier är andra föroreningar som är intressanta att identifiera med tidiga förvarningssystem. En anledning till det är bland annat att med en ökad nederbörd och intensivare regn som förutses i Sverige på grund av klimatförändringar kommer urspolningen av markens humusämnen att bli mer omfattande (Hongve, Riise & Kristiansen, 2004). Eftersom humusämnen är svåra att avskilja i vattenverken kan det vara av intresse att kunna styra om vattenintaget om humuskoncentrationen stiger över vissa nivåer.

Cyanobakterier, som tidigare kallades blågröna alger, har blivit allt vanligare och kan ibland bilda tjocka illaluktande mattor längs insjöarnas stränder. De kan också bilda cancerogena toxiner (Fujiki, Sueoka & Suganuma, 1996). Om algblomningar sker i det ytvatten som råvattnet hämtas ifrån är det en anledning till varför det skulle kunna vara intressant att identifiera cyanobakterier med ett tidigt förvarningssystem (Izydorczyk et al. 2005).

Både humusämnen och cyanobakterier är möjliga att identifiera med optiska mätmetoder, vilket också framgår av Tabell 9-1. Fluorimetriska mätningar har normalt mycket hög känslighet. Som nämndes i kapitel 9.2.1 kan man få mycket exakta mätvärden för ickelevande ämnen som t.ex. humusämnen, men det är betydligt svårare när det gäller t.ex. pigment hos cyanobakterier (Strömbeck, 2008). Sambandet mellan fluorescensen och de koncentrationer som kan mätas på laboratorium blir ofta bra om man begränsar sig i tid och rum, d.v.s. om multipla mätningar utförs på ett och samma växtplanktonbestånd. Man kan däremot inte förvänta sig att få klara samband om man istället utför jämförelsen över t.ex. ett helt år, eftersom de olika planktonarternas fluorescerande egenskaper kan variera stort över året.

Trots att det finns svårigheter med att använda fluorimetriska metoder för identifikation av cyanobakterier visade Izydorczyk et al. (2005) att mätningar med avseende på fykocyanin med fluorometri gav en korrelation mellan fluorocens och uppmätt biomassa av cyanobakterier. De visade också att fluorocensmätningen reagerade snabbt om koncentrationen av cyanobakterier förändrades. Detta är viktigt eftersom algblomningar med cyanobakterier karaktäriseras av kraftiga dynamiska förändringar, både på säsongsbasis och i kortare tidsperspektiv (timmar) vid ändrade väderförhållanden. Izydorczyk et al. (2005) menade därför att fluorocensmätningar kan vara en snabb varningsmetod som kan användas vid styrning av vattenintag till vattenverk.

På samma sätt som för petroleumprodukter bör ett tidigt förvarningssystem med optiska mätmetoder för humus och cyanobakterier bestå av en kombination av en fluorometer och en spektrofotometer, se ovan kap 9.2.2 (Strömbeck, 2008, personlig kommentar). Däremot är det problematiskt att mäta alla dessa parametrar med samma instrument eftersom man måste mäta både i det ultravioletta och i det synliga området samtidigt, vilket innebär mätningar med olika mätlängd. Ofta kan då två eller flera instrument behövas, men det är dock en fråga om noggrannhet.

9.2.4 Tillverkare och leverantörer av optiska mätinstrument

Det finns en rad olika tillverkare och leverantörer av optiska mätinstrument (Strömbeck, 2008). S::can är ett företag som har en kommersiell spektrofotometer som är robust i design och har ett användarvänligt koncept. TriOS är ett annat företag som både har spektrofotometrar och fluorometrar. De har nyligen tagit fram en UV-fluorometer (EnviroFlu-HC) för kolväten, som är ett oceanografiskt instrument som förefaller vara mycket känsligt ned till koncentrationer motsvarande $\mu\text{g/l}$. Andra intressanta tillverkare av instrument är bl a Turner Designs och Chelsea Technologies.

9.3 Metodutveckling för automatisk kontroll av *E. coli*

Istället för att använda en metod som baseras på direkt odling av *E. coli* bakterier som Göteborg Vatten gör i sin automatiserade kontroll (som beskrivs i kapitel 8.2) finns andra sätt under utveckling som är snabbare. En metod som föreslagits vara användbar för tidig förvarning av fekal förorening i sötvatten, baseras på en kommersiell metod som saluförs av Véolia Water under märket Coliplate (Servais et al., 2005 & Lebaron et al., 2005). Metoden grundar sig på att analysera vattenprovets innehåll med avseende på ett enzym, specifikt för *E. coli*.

Enzymaktiviteten för detta enzym, β -D-glucuronidase (GLUase), kan mätas med en spektrofluorometer genom att enzymet fluorerar. Fluorescensintensiteten kan därefter och relateras till koncentrationen av *E. coli* i provet.

Med ett sådant förfarande tar analysen endast 30 minuter (Servais et al., 2005) istället för åtskilliga timmar för metoder som baseras på odling. En motsvarande metod, fast för termotoleranta koliforma bakterier (TKB) tillhandahålls av Colifast A/S (Tryland et al., 2001). Braathen (2008, personlig kommentar) menar dock att metoder som bygger på enzymaktivitet istället kan vara lämpliga vid screening och att analysen bör pågå längre än 30 minuter för att säkerställa resultatet. Om tillförlitliga halter av *E. coli* avses att bestämmas är fortfarande de metoder som baseras på odling de mest lämpliga.

De franska undersökningarna som redovisas här har inte automatiserad provtagning och analys, men eftersom analysen genomförs på kort tid (30 minuter) kan en sådan metod ändå fungera som en tidig förvarningsmetod om täta provtagningar förekommer (Servais et al., 2005) och avståndet mellan provtagningsplats och laboratorium är kort.

Göteborg Vatten har under två tidsperioder (1998-2003 och under de senaste åtta månaderna) testat och använt en snabbare metod från Colifast A/S än den de använder rutinmässigt idag (se kap 8.2). Denna metod är automatiserad och med denna kommer de ned i en analysid på ca två timmar i stället för dagens 12 h. En stor skillnad mellan denna 2-timmars metod och den metod som har använts i Frankrike är att den senare inkluderar filtrering av provet genom ett 0,2 μ m filter och på så sätt kan detektionsgränsen sänkas. Coliplate har en detektionsgräns på ungefär 20 *E. coli* /100 ml medan metoden som Göteborg Vatten testat har en motsvarande gräns på ca 200 TKB/100 ml. Däremot kan det vara svårt att automatisera ett förfarande som inkluderar filtrering, vilket talar för den metod som Göteborg Vatten testat just nu. Under förhållandevis lång tid har dessa försök gått bra, men på senare tid har metoden inte varit tillförlitlig. Orsaken till detta vet de ännu inte, men man avser att göra ett omtag med metoden.

9.4 Prognosmodeller

Prognosmodeller för föroreningsspridning liknande Seatrack som bl a används av Stockholm Vatten och Norrvatten kan både utvecklas tekniskt samt tas fram för andra sjöar och vattendrag. Sjöar som det i

dagsläget finns intresse av att utveckla prognosmodeller för är i första hand hela Mälaren (idag finns enbart prognosmodeller för östra Mälaren). Därefter är exempelvis Vänern, Vättern, Storsjön och Hjälmaren intressant. Även vid grundvattentäkter kan prognosmodeller användas för att bedöma om och när en utsläppt förorening kan påverka vattentäkten vid olika driftsituationer.

En prognosmodell kan användas i många olika avseenden, t ex för råvattenkvalitet som fokus är för denna rapport men även badvattenkvalitet, miljöstatus, vattenstånd, vågor etc. En möjlighet är därför att olika intressenter runt en sjö eller vattendrag samlas, t ex kommuner, industrier, länsstyrelser och vattenmyndigheten. Utifrån varje enskilt behov kan olika produkter och tjänster skraddarsys men som alla bygger på samma hydrodynamiska prognosmodell. Med ett sådant förfarande skulle de olika intressenterna kunna dela på kostnaden för att sätta upp den grundläggande modellen och därefter betala en löpande avgift för de tjänster och produkter som var och en önskar. Både SMHI och DHI anger en summa i storleksordningen hundratusentals kronor för att sätta upp en ny prognosmodell för en sjö. Om fler intressenter går samman kan kostnaden delas och den enskilda organisationens kostnad bli lägre.

Enklare prognosmodeller som främst hanterar spridning av föroreningar kan kombineras med olika modeller för processer i vatten. Detta kan exempelvis gälla bakterieavdödning, näringsomsättning, oljespillmodellering och sedimentspridning. Även om sjöar i första hand är intressant för utveckling av prognosmodeller är det också möjligt att utveckla detsamma för vattendrag och även för grundvattentäkter och system med konstgjord infiltration (Liungman, 2008, personlig kommentar).

9.5 Identifiering av petroleumföroreningar

Vid sidan av optiska mätningar för att identifiera petroleumföroreningar finns även andra metoder. Exempelvis redovisar Novotný, Herout, och Kalvoda (2000) en enklare metod för detektion av föroreningar som lägger sig på vattenytan, som exempelvis oljeföroreningar och fetter. Metoden bygger på elektrokemiska principer och inkluderar en givare som består av två kopparelektroder fastsatta på en flottör som mäter förändringen i elektrisk konduktivitet. Den uppmätta resistiviteten i vattnets ytskikt förändras signifikant om en oljefilm lägger sig på vattenytan och detta kan kopplas till ett larm. Vilken koncentration av oljeföroreningar som går att mäta med denna metod finns inte angivet. Däremot relaterar de detektionsgränsen till tjocklek på oljeskiktet.

Inom andra områden finns andra metoder för att identifiera utsläpp av oljeföroreningar. Detta gäller bl a oljeindustrin. Oljeläckage och oljeströmmar i vattenmassan kan identifieras med ekolod (Godoe, 2007, Personlig kommentar). Detta fungerar dock bäst om man känner till en svag punkt där ett punktsläpp kan inträffa. Denna teknik är svår att applicera som tidigt förvarningssystem för råvattenkvalitet eftersom man då måste känna till var möjliga utsläpp kan ske. Hypo-

tetiskt skulle ekolod kunna vara installerade vid exempelvis industrier och andra verksamheter som kan ha en inverkan på råvattnet, men med sådana skulle utsläpp från fartyg etc inte kunna identifieras.

En annan metod som används för att identifiera oljeutsläpp till havs är exempelvis flygspaning med enkla kamerasystem som kan användas dagtid (Godoe, 2007, Personlig kommentar). Vidare håller flygplan och satelliter utrustade med Synthetic Aperture Radar (SAR) att bli ett viktigt tillvägagångssätt för övervakning av oljeutsläpp på grund av dess räckvidd och att den kan användas även i mörker och vid dåligt väder (Brekke & Solberg, 2005).

9.6 Elektroniska tungor

Elektroniska tungor är ett begrepp som kommit på senare år och inbegriper system som kontinuerligt kan känna av föroreningar i exempelvis vatten och varna om att vattenkvaliteten försämrats. Ett fåtal forskningsgrupper i världen, bland annat i Sverige och Japan, håller i dagsläget på med forskning och utveckling av sådana system.

Tekniska verken i Linköping har tillsammans med Linköpings universitet, Linköpings kommun, Combitech AB och ett par avknopningsföretag till universitetet nyligen startat ett nytt projekt som sträcker sig fram till och med 2010 och som finansieras av Vinnova, Krisberedskapsmyndigheten och Försvarets Materielverk (FMV). Detta projekt syftar till att utveckla en elektronisk tunga som kan användas på dricksvattnenätet för att varna om eventuella föroreningar som kan uppkomma genom olyckor eller sabotage. Målsättningen är att man vid projektets slut ska kunna presentera en demonstrationsanläggning.

Den elektroniska tungan är till sin natur ickeselektiv, det vill säga den mäter inte enskilda föroreningar utan registrerar förändringar av generella parametrar såsom konduktivitet och redoxaktiva ämnen i vattnet. En viktig komponent i detta system är därför att utveckla algoritmer som kan skilja på, å ena sidan normala variationer hos vattnet, t.ex. på grund av variationer i vattnets temperatur, pH, klorhalt och turbiditet, och å andra sidan oönskade ämnen som kan vara ett hot mot vattenkvaliteten. Det som gjorts så här långt i projektet är att låta sensorn registrera variationer av normal vattenkvalitet för att erhålla data som kan användas för att ta reda på vilka sensorresponser som sensorn inte ska varna för.

Ett system med elektroniska tungor kommer inte att kunna leverera detaljerad information om vilken specifik förorening som vatten förorenats av utan bara ge larm om att vattenkvaliteten förändrats utifrån vad som betraktas som normalt och utifrån detta ge vägledning om åtgärder. För att ta reda på vilken specifik förorening det rör sig om måste vattnet analyseras med mer specifika metoder som inte kan göras on-line på nätet. Däremot finns förhoppningar om att olika typer av föroreningar kommer att ge liknande avvikelser från "det normala" och att man på så sätt kan få en vägledning om vilken typ av analys som ska göras för att i detalj identifiera föroreningen.

De föroreningar som anses vara intressanta för detta projekt är exempelvis tungmetaller, olika typer av gifter samt föroreningar av biologiskt ursprung. I detta inledande skede av projektet vet inblandade ännu inte vilka föroreningsparametrar som i slutet av projektet kommer att kunna identifieras och inte heller vilka detektionsgränser som kan vara möjliga.

I projektet ingår dessutom att automatiskt samla in informationen från ett nätverk av elektroniska tungor och att låta en nätverksalgoritm-behandlad information gå vidare till det krishanteringssystem, e-navet, som Linköpings kommun håller på att utveckla tillsammans med Com-bitech AB. e-navet är en elektronisk plattform som ger en gemensam lägesbild för många olika aktörer som kan behöva samverka såväl i vardag som i kris, såsom kommunens säkerhetsgrupp, räddningstjänsten, polisen, sjukvården etc.

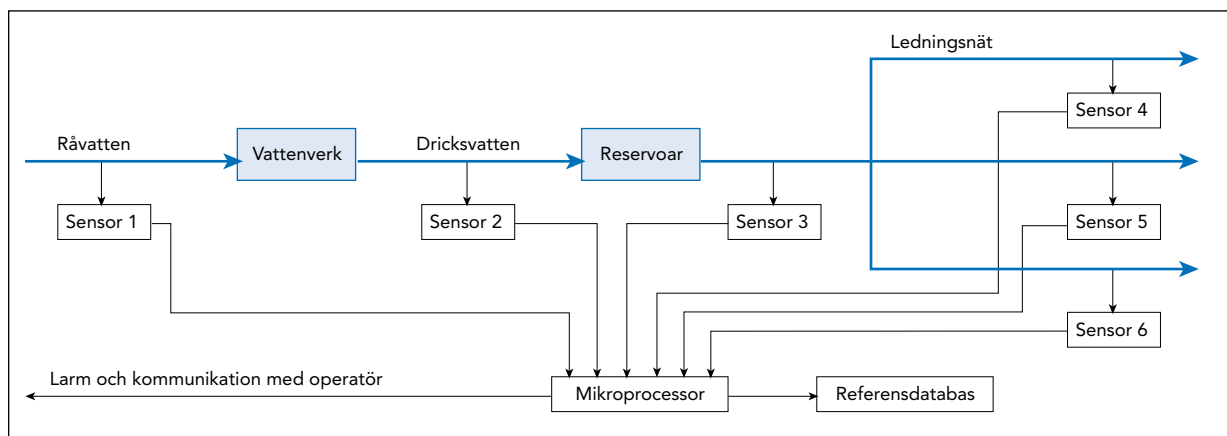
Intresse för detta projekt finns även i andra kommuner och förfrågningar finns om att utveckla kemiska sensorer som går att använda på råvattensidan men det ingår inte i ramen för det projekt som drivs just nu. Information till detta avsnitt om elektroniska tungor har givits av Mats Eriksson, Linköpings Universitet, som är huvudansvarig för projektet "Händelsedetektion i krishanteringssystem" (EVENT).

9.7 Identifiering av patogena parasiter med partikelmätning

Företaget Aqua Q AB som är lokaliserat i Farsta har under ett antal år utvecklat en metod för att identifiera partikulära föroreningar, med speciellt fokus på mikroskopiska partiklar i storleksintervallet 0,5–20 µm. I detta storleksområde finns både bakterier och parasitära protozoer som exempelvis Giardia och Cryptosporidium och vilka anses vara tydliga hot mot vår dricksvattenförsörjning idag och har pekats ut i miljödepartementets klimat- och sårbarhetsutredning (2007).

Den bakomliggande kunskapen som lett fram till detta system har bland annat erhållits genom ett projekt som genomförts med stöd från VA-forsk (numera Svenskt Vatten Utveckling) (Chowdhury, 2003). Identifieringsmetodiken som baseras på en partikelräknare har vidare kombinerats till ett system som inkluderar utvärdering genom jämförelse mot referensvärden, validering, automatisk larmfunktion och automatisk provtagning och analys om systemet larmar om avvikelse. Detta system håller för närvarande på att patentsökas av företaget Predict AB. En schematisk skiss för hur systemet skulle kunna vara utformat kan ses i Figur 9-3.

I sammanhanget "tidig förvarning" av förorenat vatten avses denna teknik främst att användas på dricksvattnenätet, på utgående dricksvatten från vattenverk, vatten från reservoarer samt andra punkter på dricksvattnenätet (Chowdhury, 2008, Personlig kommentar). Den viktigaste kontrollpunkten anses vara den som placeras efter reservoaren. Om avstånden är långa är även en kontrollpunkt mellan vattenverk och reservoaren av betydelse. Tekniken skulle även kunna användas i processtyrningen av vattenverk och i vattenverkens kvalitetsarbete med HACCP (Chowdhury, 2003).



Figur 9-3 Exempel på hur ett system för tidig förvarning av partikulära föroreningar skulle kunna vara utformat (av Chowdhury, 2008).

Tillvägagångssättet med detta system är att vattnets partikelfördelning kontinuerligt jämförs med en partikelfördelning som tidigare bestämts vara normal. I det avseendet liknar denna metod den ”elektroniska tungan” som beskrivits i kapitel 9.6 där också vattenkvaliteten jämförs med normalvärden, även om sensorer och parametrar som mäts är helt olika. Om vattenverkens normala renhetsprofil ändras p.g.a. läckage, inträngning av ytvatten, biofilmslossning eller något annat rapporteras detta omedelbart och prov tas automatiskt för analys och en tidig förvarning kan erhållas (Chowdhury, 2008, Personlig kommentar).

Vatten vid varje enskilt vattenverk har sin egen renhetsprofil och partikelfördelning eftersom innehåll av mikroskopiska partiklar och föroreningar beror på råvattenkvalitet och vattenbehandlingsmetoder. För att bestämma den normala partikelfördelningen i ett vatten är det därför nödvändigt att under en längre tid utreda och mäta partikelfördelningen och detta måste utföras vid varje mätpunkt. Den normala vattenkvaliteten är jämnare efter vattenverk och reservoar än ute på distributionsnätet och det måste tas hänsyn till vid utformning av larmfunktioner.

Den utrustning som används i detta system är baserat på en partikelräknare som är ett avancerat analysinstrument med hög känslighet och enkel att använda. Med hjälp av laserljus analyserar instrumentet enskilda mikroskopiska partiklars storlek och ger information om partikelfördelning och förändring i partikelhalt (Chowdhury, 2003). Till denna utrustning har en automatisk vattenprovtagare kopplats och för närvarande pågår utveckling som avser att integrera automatiska snabbanalysmetoder för *E. coli*, *Cryptosporidium* och *Giardia* som kan utföras på plats inom tre timmar. I detta arbete har Predect samarbete med Smittskyddsinstitutet samt med samarbetspartners i Italien och Kanada (Chowdhury, 2008, Personlig kommentar).

Systemet som utvecklats har ännu inte använts kommersiellt men har testats i laboratorieskala. Under hösten och vintern 2008–2009 planeras att utrustningen ska installeras vid två olika vattenverk i Sverige. Kostnaden för ett helt system uppskattas mellan 500 000 och 900 000 kronor beroende på val av utrustning och automatik (Chowdhury, 2008, Personlig kommentar).

9.8 HPLC-fingerprints

HPLC, som står för ”High Performance Liquid Chromatography”, är en teknik som separerar, kvantifierar och identifierar organiska föreningar. En metod som kallas ”HPLC-fingerprint” har beskrivits av Noij & Bobeldijk (2003). Denna är möjlig att använda för att påvisa ännu icke identifierade ämnen i vattnet vid bevakning av vattenkvalitet, samtidigt som även utpekade ämnen analyseras. ”HPLC-fingerprint” kan signalera närvaro av organiska ämnen utan att nödvändigtvis känna till vilka ämnen det är. Baserat på de enskilda ämnenas uppehållstid och deras UV-absorbansspektrum kan ämnena analyseras. Antalet pikaer som erhålls i kromatogrammet anger antalet förekommande föroreningar och pikarnas areor indikerar koncentrationen. Noij & Bobeldijk (2003) anger att denna metod går att använda som ett tidigt varningssystem för föroreningar som kan hamna i vattnet på grund av olyckor eller sabotage.

9.9 Fjärranalys

Information om råvattenkvalitet går även i viss mån att erhållas från särskilda satellitbilder genom fjärranalys. Satellitbilder tolkas optiskt utifrån exempelvis klorofyllhalt, suspenderat material och lösta organiska ämnen i vattnet vilket, tillsammans kan ge en bra bild över vattnets kvalitet.

Metoder för att få fram grundinformationen från satellitbilder finns i stort sett tillgängliga idag, även om dagens satellitbilder fortfarande är något för grovkorniga för studier av mindre sjöar. Det som saknas är en teknisk lösning som gör att slutanvändare kan ta del av informationen på ett användarvänligt sätt.

För närvarande pågår ett projekt som drivs av Vattenfall Power Consultant i samverkan med Stockholm Vatten, Norrvatten, Strömbeck Consulting, Vätterns, Vänerens och Mälarens Vattenvårdsförbund, och Naturvårdsverket. Projektet är finansierat av Rymdstyrelsen, Regionplane- och trafikkontoret, Naturvårdsverket, Stockholm Vatten och Vätterns och Mälarens Vattenvårdsförbund. Syftet med detta projekt är att med utgångspunkt från projektets slutanvändare utveckla en teknisk plattform och skapa system för att erhålla information om vattenkvalitet som är användbara och möjliga att bearbeta, för intresserade organisationer och företag. Inom ramen för projektet kommer även en testproduktion att genomföras och också en uppskattning av noggrannheten, tillgängligheten och kostnaden för produkterna att göras.

Mer information om detta projekt går att läsa på:
http://www.rymdstyrelsen.se/fa_anv_beskrivn_188_05.shtml

10 Sammanfattande diskussion

Under arbetet med detta projekt har framkommit att det endast finns ett fåtal kommuner i Sverige som använder sig av något som kan liknas vid tidiga förvarningssystem för att bevaka råvattnets kvalitet. Göteborg Vatten är den vattenproducent som arbetat mest och längst med detta och den främsta anledningen till det är att råvattnet som hämtas från Göta älv är starkt påverkad av antropogen verksamhet. Dessutom finns ett stort engagemang och intresse hos dem som arbetar med systemen för att utveckla dem vidare.

I ett internationellt perspektiv pågår en utveckling av olika system som avses att användas som tidiga förvarningssystem. Risken för sabotage på dricksvattensystemet är det som främst driver utvecklingen, men andra frågeställningar är också av intresse. Vissa system som vi funnit information om och som används idag liknar de on-line mätningar som Göteborg vatten använder sig av på råvattnet. Många system som är under utveckling verkar däremot vara inriktade på on-linemätningar på ledningsnätet. Kommersiellt tillgängliga system på den internationella marknaden, som vi inte har funnit att de används i Sverige idag är olika typer av biomonitorer. Dessa är möjliga att applicera omgående om intresse och resurser finns.

Orsaker till varför inte kommuner och vattenbolag i Sverige använder sig av tidiga förvarningssystem är flera. En anledning är att på många håll betraktas råvattens kvalitet vara hög, vilket gör att fokus i verksamheten läggs på andra frågor. I sådana fall är riktlinjerna från myndigheter också sådana att provtagning av råvattnet sällan behöver göras. Detta kan komma att förändras om krav på Water Safety Plans införs i svenska föreskrifter. Vidare blir de vattenproducerande organisationerna allt mer slimmade vad gäller personal och även medel vilket gör att mindre utrymme ges till utvecklande och övervakande verksamhet. Fokus läggs på produktionen och på att leverera ett vatten av hög kvalitet i normalsituationen. En annan orsak till varför tidiga varningssystem inte används i någon större utsträckning är att många av de tekniska applikationerna ännu inte är så kända och tillgängliga, även om lämplig teknik finns. Vidare pågår fortfarande, som tidigare nämnts, ett betydande forsknings- och utvecklingsarbete för vissa av de tekniska applikationerna innan de kan användas.

Tidiga förvarningssystem för bevakning av råvattenkvaliteten kan grupperas efter olika syften. Det kan exempelvis göras med avseende på bevakning av naturliga variationer, olyckors eventuella påverkan på råvattnet eller identifiering av föroreningar på grund av sabotage. Vad gäller de två första är de något lättare att hantera för i sådana fall kan de parametrar som är av intresse att mätas i stor utsträckning identifieras. Parametrar som är intressanta vid bevakning av naturliga variationer beror av typ av råvattentäkt (grund- eller ytvatten), och i vilken typ av omgivning, natur, berggrund etc som vattentäkten ligger i. Med scenarioanalys kan föroreningar som kan uppkomma vid olyckor i stor utsträckning urskiljas. Sabotage däremot, skiljer sig ifrån de tidigare,

eftersom det i det fallet är svårare att identifiera vad som kan inträffa med scenarioanalyser och än svårare att peka ut vilka effekter det kan ha och vilka föroreningar som kan vara aktuella. Det finns också anledning att tro att de som avser att sabotera försöker göra det där säkerheten kring vattenförsörjningssystemet är svagare, dvs systemet kan angripas i punkter som vattenproducenten inte har identifierat alternativt valt att inte göra säkrare. Detta innebär att tidiga förvarningssystem måste utformas utifrån de frågeställningar man är intresserad av och kommer därför att se olika ut beroende på vad som sätts i fokus.

10.1 On-linemätningar av kemisk-fysikaliska parametrar

Online-mätningar av kemisk-fysikaliska parametrar, likt de som Göteborg vatten har, fungerar väl och personalen har med tiden lärt sig att tolka den mätdata de erhåller. Den utrustning de har är förhållandevis enkel och data vidarebefordras med modem. Mätstationerna med utrustning är inte särskilt dyra i sammanhanget, med tanke på den information de får. Själva utrustningen kostar i storleksordningen ett par hundra tusen. Om modernare teknik sätts in och kostnad för överbyggnad inkluderas stiger dock priset. Att Göteborg Vatten har så stort utbyte av sitt system beror på att många timmar årligen läggs ner på underhåll av stationerna och analys av mätdata, och därför är personalen den största kostnaden för systemet och inte investeringskostnaden för utrustningen.

Vidare bör poängteras att Göteborg Vatten har kunnat utforma det förvarningssystem de har med larmnivåer med mera utifrån den nästan unika förutsättningen att de har två stora vattenverk och det ena vattenverket inte direkt är kopplat till älvvattnet. Om älvvattnets kvalitet sjunker kan vattenintaget vid Lärjeholm stängas direkt och råvatten tas endast från Delsjöarna. En sådan möjlighet har inte de flesta dricksvattenproducenter utan de har endast möjlighet att hämta råvattnet från en punkt, som endast kan stängas i ett nödläge.

10.2 Snabbanalyser av mikroorganismer

Analyser med avseende på bakterier sker vanligtvis med odling vilket kan ta många timmar. För att bakterieanalyser ska kunna användas som tidiga förvarningssystem bör analys tiden vara så kort som möjligt. I annat fall kan inte en varning komma förrän vattnet kan ha nått konsumenten. Den analysmetod som för närvarande används av Göteborg Vatten analyserar *E. coli* på 12 timmar. Detta är i längsta laget, men i jämförelse med det ordinarie provtagningsprogrammet erhålls resultat förhållandevis snabbt. Trots att de tar ordinarie prover ofta kan det i samband med helger ta flera dagar innan resultaten erhålls.

Det är därför intressant att finna snabbare metoder för bakterieanalys. Den metod för *E. coli*-analys som för närvarande testas av Göteborg vatten tar två timmar. Den franska metoden som bygger på

enzymaktivitet som beskrivits tidigare i rapporten tar endast en halvtimme. Det finns säkert ytterligare analyser som bygger på liknande principer som tillhandahålls av andra företag. Dock har framkommit att analysosäkerheten verkar vara större för de snabbare metoderna. I ett varningssystem är inte analysäkerheten det viktigaste om osäkerheten rör sig inom rimliga gränser och därför är dessa snabba metoder intressanta. Det som däremot är av betydelse är att analysmetoden helst ska kunna automatiseras. I annat fall måste manuell provtagning ske vilket innebär en fördröjning på grund av att personal måste åka ut och ta prov, provet måste eventuellt transporteras och ett laboratorium måste eventuellt vara tillgängligt dygnet runt, veckans alla dagar. Med manuell provtagning blir en snabbanalys långsammare och personalintensivare och därmed också dyrare, vilket alltså talar för en automatiserad provtagning.

De tre analysmetoder för bakterier som beskrivits i denna rapport fokuserar alla på *E. coli*. Denna bakterie indikerar fekal förorening vilket i sig är mycket intressant. Dock har *E. coli* en förhållandevis kort överlevnad, vilket inte gör den optimal som indikatorbakterie. Andra indikatororganismer föredras i vissa sammanhang. Indikatororganismer för övervakning av dricksvatten har diskuterats av Wahl (2006) som konstaterar att *E.coli* fortfarande kan anses vara den centrala fekala indikatororganismen trots sina begränsningar. Vidare gäller för tidiga förvarningssystem att analysiden ska vara så kort som möjlig samt att provtagning och analys helst ska gå att automatisera. Om dessa faktorer vägs samman är *E.coli* den lämpligaste bakterien att analysera i ett tidigt förvarningssystem (Braathen, 2008, personlig kommentar).

I det system som baseras på partikelmätning som Predect håller på att utveckla (se kap 9.7) avses att koppla automatiska snabbanalyser av *E. coli* men även *Cryptosporidium* och *Giardia* till den automatiska provtagningen. Erfarenheter från detta projekt kommer att vara intressant att ta del av.

10.3 Doftbänkar

På Ringsjöverket (Sydvatten) har en doftbänk, som de är nöjda med, använts sedan 1996. De har inte heller haft några driftproblem med denna. För att doftbänkar ska kunna fungera som ett tidigt förvarningssystem bör personal lukta flera gånger per dag och gärna så ofta som görs på Ringsjöverket. Det förfarande som råder vid Lackarebäcks vattenverk med att lukta tre gånger per vecka är endast ett stöd för den normala driften.

Det är viktigt att doftbänkarna utformas så att biologisk tillväxt undviks i största möjliga mån. Möjligheten till detta varierar från vattenverk till vattenverk beroende på hur näringsrikt råvattnet är. Vidare bör UV-lampa som förbehandling av inkommande vatten till doftbänken endast nyttjas i undantagsfall eftersom lukten på vattnet kan förändras av denna.

Med hjälp av doftbänkar kan petroleumföroreningar upptäckas på ett enkelt sätt. De bör också placeras nära kontrollrummet så att ron-

den kan göras med korta intervall. Det finns farhågor att Legionella kan växa till i doftbänkarna vilket kan oroa driftpersonalen och i det avseendet är det viktigt att se över utformningen och risken för smittspridning av Legionella bör också utredas i relation till utformning och exponering. Rutiner bör också finnas för regelbunden provtagning och analys så länge det inte till fullo visats att personal inte kan smittas av detta, vilket exempelvis görs regelbundet på Lackarebäcks vattenverk.

10.4 Optiska mätinstrument

Optiska mätinstrument likt fotometrar och fluorometrar har en potential att mäta exempelvis humus, cyanobakterier och petroleumprodukter i tidiga förvarningssystem. De kan även användas för att mäta vanliga driftparametrar som stöd för driften. Denna typ av utrustning är dyrare än den som används för mätning av kemisk-fysikaliska parametrar, men å andra sidan kan information om andra typer av föroreningar erhållas, och det vid en mycket låg detektionsgräns. Däremot är denna typ av teknik ny i det sammanhanget och det är av intresse att man börjar använda den så att en utveckling av applikationen kan ske. Vidare är tekniken förhållandevis komplicerad och de vattenproducenter som är intresserade av denna kommer att behöva stöd för val av system och installation.

10.5 Kontroll av petroleumprodukter

Petroleumprodukter i råvatten kan identifieras på olika sätt och om man vill identifiera riktigt låga halter ($\mu\text{g/l}$) bör en kombination av fluorometer och spektrofotometer användas. En enklare metod, och troligtvis billigare, är att mäta resistiviteten i vattenytan, men i det fallet kan bara oljeföroreningar som ligger på ytan detekteras och inte de som delvis lösts i vatten eller emulgerats. Prognosmodeller är också möjliga men de kan endast fungera som tidigt förvarningssystem om utsläpp rapporteras in.

10.6 Flyg- och satellitspaning

En regelbunden (nästan kontinuerlig) användning av metoder som används för att identifiera oljeutsläpp till havs, flygspaning och satelliter utrustade med SAR, för tidig förvarning är mycket tveksamma på grund av kostnader och organisatoriska aspekter (särskilt SAR). Det är också tveksamt om sådana system skulle kunna identifiera de låga föroreningshalter som är av intresse vid dricksvattenproduktion. Däremot skulle det vara möjligt att använda flygspaning som tillägg till andra varningssystem under perioder då det finns en misstanke om att råvatten skulle kunna förorenas. Detta skulle exempelvis kunna gälla under delar av sommaren då algbloomningar kan förekomma eller om det pågår underhållsarbeten i ett vattenkraftverk uppströms ett vattenverk.

10.7 Trendanalyser

Trendanalyser av resultat från vattenanalyser är ett bra sätt att få en tidig varning om en förändring i vattenkvaliteten i vattentäktens tillrinningsområde skett. Metoden bygger oftast på manuell provtagning, vilket medför att huvudsakligen diffusa föroreningar som uppkommer p.g.a. kontinuerliga verksamheter, exempelvis gödsling eller vägsaltning, kan upptäckas. Trendanalys kan även vara ett verktyg vid grundvattentäkter där potentiella föroreningskällor i form av industrier eller petroleumhantering finns. Vid sådana vattentäkter kan grundvattenrör anläggas mellan den potentiella föroreningskällan och vattentäkten, varifrån provtagning sedan sker, och eventuella vattenkvalitetsförändringar observeras. På så sätt kan även utsläpp genom exempelvis olyckor upptäckas, innan föroreningen nått vattentäkten. Möjlighet ges till sanering eller andra motåtgärder.

I många svenska kommuner sker provtagning av råvatten, men så länge analysrapporterna inte visar på några alarmerande halter sätts analysprotokollet oftast bara in i en pärm. Det jämförs sällan med tidigare mätningar och smygande förändringar upptäcks därför inte. Att införa väl fungerande rutiner för att följa upp vattenanalyser, tillsammans med att komplettera provtagningsplanen utifrån förhållanden vid vattentäkten m.a.p. hydrologi och potentiella föroreningskällor, skulle på många platser runt om i landet kunna resultera i ett bra förvarningssystem.

10.8 Prognosmodeller

Prognosmodeller kan utvecklas för större sjöar och vattendrag och även för grundvattenmagasin. Enklare modeller för föroreningsspridning kan kombineras med modeller för exempelvis bakterieavdödning, omsättning av näringsämnen och omsättning av petroleumprodukter. Kostnaden för att sätta upp en modell för en sjö ligger i storleksordningen ett antal hundra tusen, vilket kan delas om det finns olika intressenter runt sjön.

Applikationer med prognosmodeller kan göras mycket användarvänliga och används redan idag som tidiga förvarningssystem av Stockholm vatten och Norrvatten. Däremot bygger dessa system på att olyckor och händelser som kan påverka vattenkvaliteten måste rapporteras in. Detta innebär att de som avser att använda sig av prognosmodeller måste ha, alternativt bygga tydliga kommunikationsvägar med räddningstjänst, industrier, sjöfart och annan verksamhet så att driftpersonal för vattenverk får information om eventuellt utsläpp vid driftproblem eller haveri och då kan aktivera prognosmodellen.

Prognosmodeller fyller emellertid ingen funktion om eventuellt utsläpp inte rapporteras in, antingen pga att olyckan inte är känd för någon, alternativt att kommunikationsvägarna inte fungerar. Vidare är inte heller prognosmodeller till hjälp vid sabotage eller om utsläppet inte upptäcks. Prognosmodeller kan även användas i kombination med fjärranalys.

10.9 Identifiering av farliga ämnen vid sabotage

Vad gäller sabotage håller tidiga förvarningssystem på att utvecklas. Flera system som baseras på biologiska sensorer finns redan kommersiellt tillgängliga. Ett sådant system är *Daphnia* Toximeter som bland annat har installerats vid sex vattenverk i Salt Lake valley 2002 i samband med de olympiska spelen. Systemet tillhandahålls av företaget BBE-moldaenke och kostnaden för systemet ligger i storleksordningen 38 500–49 500 €. Exempel på andra system som finns på marknaden är Aqua-Tox-Control *Daphnia* och Aqua-Tox-Control.

Andra system är under utveckling och exempel på sådana är elektroniska tungor och "HPCL-finger prints". Optiska mätinstrument bör åtminstone i viss utsträckning kunna användas i detta sammanhang. Det som särskiljer sådana system från andra är att de måste kunna varna för att vattnet inte håller normalkvalitet och sådana system måste ha ett annat angreppssätt än de som ska identifiera en särskild förorening. I viss utsträckning kan mätningar av kemisk-fysikaliska parametrar också varna för okända ämnen i vattnet som tillsatts vid sabotage, men det beror på vilken typ av ämnen och i vilka koncentrationer de förekommer.

Elektroniska tungor och "HPCL-finger prints" är vanligtvis lättare att applicera på exempelvis dricksvattennätet än på råvattensidan eftersom den normala vattenkvaliteten för färdigbehandlat dricksvatten håller en jämnare kvalitet än råvatten och därmed är det också lättare att identifiera det som inte är normalt. Detta innebär att varningen kommer senare, men fortfarande är det möjligt att erhålla en varning innan vattnet når konsumenten.

10.10 Identifiering av partikulära föroreningar

Det system som beskrivs i kapitel 9.7 som avser identifiering av patogena parasiter med hjälp av partikelmätare är lovande och det kommer att vara intressant att följa resultaten av fullskaleförsöken i de två kommuner i Sverige som påbörjas hösten 2008.

Eftersom detta system använder sig av det normala vattnets egenskaper som referens, är detta system, precis som för elektroniska tungor, mer lämpat att använda som varningssystem på ledningsnäten. För råvattnet är den naturliga variationen av vattenkvalitet vanligtvis mycket större vilket gör att det kan vara svårt för systemet att avgöra vad som inte är normalt; det vill säga, det kan vara svårt att identifiera de så kallade statistiska uteliggarna.

Det främsta syftet med det system som beskrivs i kapitel 9.7 är att kunna identifiera partikulära föroreningar i form av patogena parasiter så som *Cryptosporidium* och *Giardia*. Även om instrumentet regleras så att partiklar i det storleksintervall som dessa parasiter tillhör registreras, finns risk för falsklarm ifall andra typer av partiklar av samma storlek passerar instrumentet. Omfattningen av falsklarm kommer att studeras i fullskaleförsöken.

Oavsett om systemet ger korrekta varningar för patogena parasiter eller inte, kan det ge en varning om att partikelhalten plötsligt ändras

vilket också är en indikation på att någonting har hänt vilket kan vara av intresse att beakta och vidta åtgärder mot. Systemet medför även att en mer representativ provtagning kan genomföras eftersom den automatiska provtagaren aktiveras om partikelhalten ökar. I samband med detta planeras automatiska mikrobiologiska vattenanalyser och den totala funktionen av detta system blir intressant att följa.

Om ett system som detta tas i bruk är det viktigt att ha i minne att det i huvudsak är partikulära föroreningar som registreras. Om lösliga föroreningar passerar instrumentet kommer inte något utslag att ske. Därför är det viktigt att först har analyserat vilka föroreningsparametrar som är av främsta intresse att få varning om, ifall man står i begrepp att installera ett tidigt förvarningssystem.

10.11 Fjärranalys

Fjärranalys som verktyg i ett tidigt förvarningssystem är i flera avseenden intressant. En vision är att operatörerna på vattenverken kan ha uppdaterade kartbilder som de regelbundet kan avläsa och utifrån dessa bilder ta beslut om hur drift och vattenintag kan styras.

Denna vision är kanske inte omöjlig att uppnå i en framtid med fortsatt forskning runt tekniken, men fortfarande krävs mycket utvecklingsarbete för att nå dit. Satellitbilderna har fortfarande för dålig upplösning för att de ska vara riktigt applicerbara i detta sammanhang och ett användargränssnitt som är lämplig för detta ändamål behöver utvecklas.

11 Hur ser framtiden ut?

Under projektets gång har framkommit att det finns ett intresse för tidiga förvarningssystem även om de flesta kommunerna i Sverige inte använder sig av sådana idag. Med de slutsatser som exempelvis Riksrevisionen gjorde nyligen (Riksrevisionen, 2008) finns också anledning att tro att det kommer att bli en skärpning vad gäller bevakning av råvattenkvaliteten. Om krav på Water Safety Plans införs i Sverige kan tidiga varningssystem vara en viktig del i arbetet med att bygga upp planerna. Vidare kan råvattnets kvalitet med tiden förändras, exempelvis på grund av klimatförändringar, vilket i sin tur gör att behovet av att styra vattenintaget kan öka. Detta tillsammans kommer troligen att öka intresset och användningen av tidiga förvarningssystem, vilket vore bra ur ett vattenkvalitetsperspektiv. Med sådana system kommer man alltså att veta vilket vatten som man har eller kommer att få och inte, som oftast idag, endast få veta vilket vatten som man haft.

Den här studien visar att det inom flera områden och för vissa föroreningsparametrar redan finns teknik som går att applicera. Flera goda exempel finns på detta i Sverige. Detta gäller exempelvis mätning av kemisk-fysikaliska parametrar, doftbänkar och system för bestämning av *E. coli* och prognosmodeller. Vidare finns system som exempelvis biomonitörer som är tillgängliga på den internationella marknaden men inte används i Sverige. Andra system ”knackar på dörren” och är redan idag användbara, men används inte idag i system som kan liknas vid tidiga förvarningssystem. Detta rör exempelvis trendanalyser och optiska mätmetoder. Dessa system har så att säga inte nått ut. Slutligen finns system som är intressanta, men fortsatt utveckling krävs, och det gäller exempelvis elektroniska tungor, partikelmätning och fjärranalys.

Att implementera tidiga förvarningssystem i vattenförsörjningssystem kommer emellertid inte att vara lätt. Kommuner och vattenbolag kommer att behöva stöd i utformningen av sådana system eftersom utförandet beror på lokala förutsättningar. Framför allt har typ av vattentäkt betydelse och även vilka typer av verksamheter som finns i avrinningsområdet och vilken hotbild som bedöms finnas för en vattentäkt. Därutöver måste en investering i ett tidigt förvarningssystem, som innebär ett val av kritiska punkter och tekniska metoder, sättas i relation till andra investeringsbehov och vilken personal som kan vara ansvarig för ett sådant system. För många av systemen som berörts i denna rapport krävs nämligen kompetent och engagerad arbetsstyrka. Arbetsuppgifter som måste utföras spänner från exempelvis tillsyn och daglig skötsel av utrustning till systemutveckling och tolkning av data för att man ska erhålla så mycket information som möjligt från varningssystemet.

Som vägledning till hur tidiga förvarningssystem kan involveras i säkerhetstänkandet kring dricksvattenförsörjning har en sammanställning gjorts Figur 11-1.

En risk- och sårbarhetsanalys över dricksvattenförsörjningssystemet är en miniminivå av insats som dricksvattenproducenter bör göra för att

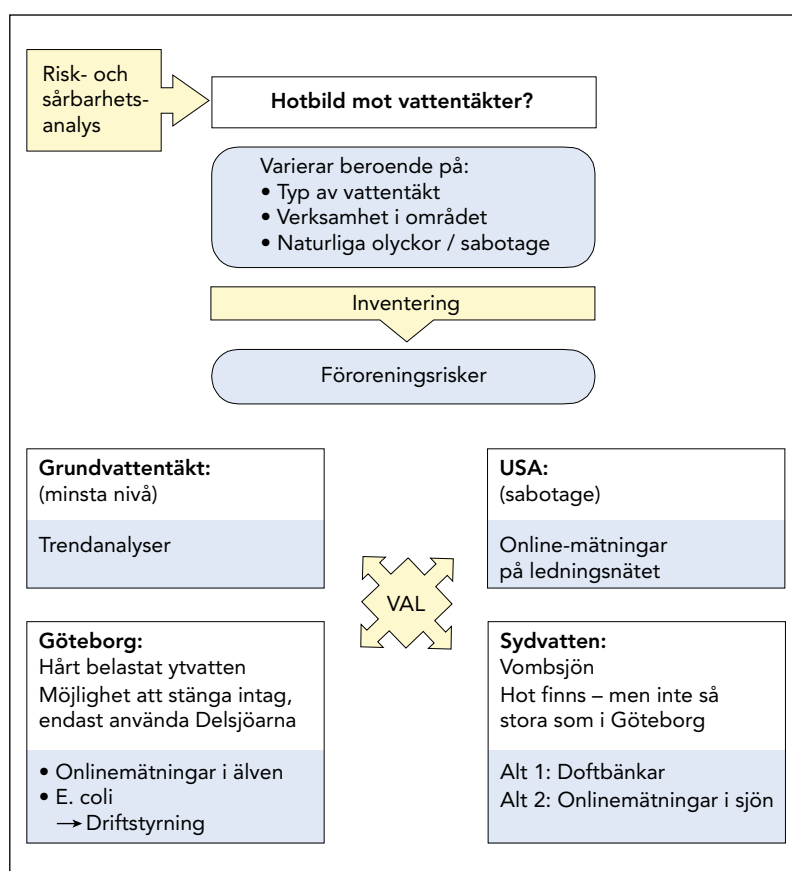
få en översikt över den hotbild som kan finnas runt vattenförsörjningen. Hotbilden varierar från tåkt till tåkt exempelvis beroende på typ av vattentåkt, vilka verksamheter som finns i området och om hotbilden byggs upp utifrån naturliga föroreningar, olyckor eller sabotage. Vid en inventering av föroreningsrisker erhålls en bild över hur situationen ser ut och riskerna kan rangordnas. Utifrån detta kan sedan dricksvattensystemet kompletteras med en stegvis ökning av förvarningssystem beroende på hur riskbilden ser ut.

För en grundvattentåkt med låg föroreningsrisk kan en minsta nivå på förvarningssystem vara att utföra trendanalyser på vattenprover som tagits i grundvattenrör inom och utom själva tåkten.

Göteborg Vatten som har ett kraftigt påverkat ytvatten men också en unik möjlighet att styra vattenintaget har kunnat välja ett system med on-linemätningar i älven som ger larm och som i sin tur kan leda till stängning av vattenintaget.

Sydvatten som hämtar sitt vatten från ytvattentåkt har valt att använda sig av doftbänkar inne på ett av vattenverken. En möjlighet för dem vore att använda sig av on-linemätningar ute i vattentåkten vilket skulle öka säkerhetsnivån ett steg. Som det nu är kan förorenat vatten först identifieras inne vattenverket, men med on-linemätningar i sjön finns möjlighet att observera föroreningar innan råvattnet tas in.

I USA ligger hotbildens fokus på risken för sabotage. I sådana fall läggs större insatser på varningssystem som är kopplade till lednings-systemet och inte som övriga tre fall på råvattnet.



Figur 11-1 Vägledning för hur tidiga förvarningssystem kan involveras i dricksvattenförsörjningssystemet

12 Referenser

- BBE-moldaenke (2008). *BBE Fish Toximeter*. [On-line]. <http://www.bbe-moldaenke.de/fishtoximeter.html>. Verifierad 9 sept 2008.
- Brekke, C. & Solberg, A.H.S. (2005). Oil spill detection by satellite remote sensing, *Remote Sensing of Environment*, 95, 1–13.
- Chan, R., Le, T., Manlucu, A. & Tsan, L-A. (2007). Environmental Monitoring and Early Warning. System Design. *Proceedings of the ENGG 3100: Design III projects*. University of Guelph.
- Chowdhury, S. (2003). *Partikelmätning – ett nytt sätt att kontrollera vattenkvalitet*. VA-forskrappport Nr 2003-48.
- CGS (California Green Solutions) (2008). *San Francisco develops early-warning water contaminant systems*. [On-line] <http://www.californiagreensolutions.com/cgi-bin/gt/tpl.h,content=2065>. Verifierad 18 aug 2008.
- Green, U., Kremer, J.H., Zillmer, M. & Moldaenke, C. (2003). Detection of chemical threat agents in drinking water by an early warning real-time biomonitor. *Environmental Toxicology* 18 (6) 368–374.
- EPA (United States Environmental Protection Agency) (2005). *Technologies and Techniques for Early Warning Systems to Monitor and Evaluate Drinking Water Quality: A State-of-the-Art Review*. Research report.
- Fujiki, H., Sueoka, E. & Suganuma, M. (1996). Carcinogenesis of microcystins. I: *Toxic microcystis*. Watanabe, M.F., Harada K., Carmichael, W.W. & Fujiki, H., ed. CRS Press. 203–233.
- Hongve, D., Riise, G. & Kristiansen, J.F. (2004). Increased colour and organic acid concentrations in Norwegian forest lakes and drinking water – a result of increased precipitation? *Aquatic Sciences* 66, 231–238.
- Izydorczyk, K., Tarczynska, M., Jurczak, T., Mrowczynski, J. & Zalewski, M. (2005). Measurement of phycocyanin fluorescence as an online early warning system for cyanobacteria in reservoir intake water. *Environmental Toxicology*, 20(4), 425–430.
- Kerren Kunststoff Technik (2008a). Aqua-Tox-Control Daphnia die perfekte Abwasserkontrolle. [On-line] <http://www.kerren-gmbh.de/kunststofftechnik/frame.html>. Verifierad den 28 Aug 2008.
- Kerren Kunststoff Technik (2008b). Aqua-Tox-Control die perfekte Abwasserkontrolle. [On-line] <http://www.kerren-gmbh.de/kunststofftechnik/frame.html>. Verifierad den 28 Aug 2008.
- Lebaron, P., Henry, A., Lepeuple, A.S., Pena, G. & Servais, P. (2005). An operational method for the real-time monitoring of E. coli numbers in bathing waters. *Marine Pollution Bulletin* 50, 652–659.

- Livsmedelsverket (2001). *Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten*, SLVFS 2001:30.
- Livsmedelsverket (2008). *Livsmedelsverkets föreskrifter om åtgärder mot sabotage och annan skadegörelse riktad mot dricksvattenanläggningar*, LIVSFS 2008:13.
- Nexsens Technology (2008). *PA Drinking Water Monitoring - Early Warning System. Newsens Technology*. [On-line] http://www.nexsens.com/case_studies/pa_drinking_water_monitoring.htm. Verifierad 18 aug 2008.
- Noij, T. H. M. & Bobeldijk, I. (2003). Novel monitoring concepts to acquire new water quality knowledge. *Water Science and Technology*, 47(2), 181–188.
- Novotný, L., Herout, M. & Kalvoda, R. (2000). Device for oil spill detection on water surfaces. *Electroanalysis* 12(15), 1237–1239.
- Riksrevisionen (2008). *Dricksvattenförsörjning – beredskap för stora kriser*. RiR 2008:8.
- Miljödepartementet (2007). *Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter*. SOU 2007:60.
- Servais, P., Garcia-Armisen, T., Lepeuple, A.S. & Lebaron, P. (2005). An early warning method to detect faecal contamination of river waters. *Annals of Microbiology*, 55(2), 151–156.
- Siemens (2008). New Cell Sensors Can Register Contaminants. [On-line] http://w1.siemens.com/innovation/en/news_events/ct_pressemitteilungen/index/e_research_news/2008/index/e_22_resnews_0808_1.htm. Verifierad 25 aug 2008.
- Strömbeck, N. (2008). *Optiska mätinstrument*. Internrapport producerad för Norrvatten. Strömbeck Consulting.
- Tryland, I., Samset, I.D., Hermansen, L., Berg, J.D. & Rydberg, H. (2001). Early warning of faecal contamination of water: a dual mode, automated system for high- (<1 hour) and low-levels (6–11 hours). *Water Science and Technology* 23(12), 217–220.
- Wahl, E. (2006). Fekale indikatorbakterier for overvåkning av drikkesvann: Er dagens prinsipp godt nok eller må vi tenke nytt? *Vann*, 3, 266-277.
- ZVBWV (Zweckverband Bodensee Wasserversorgung) (2008). *BWV Bodensee Wasserversorgung*. [On-line] <http://www.zvbww.de/index.php>. Verifierad 29 aug 2008.

Personliga kommentarer

- Ambjörn, Cecilia (2008). SMHI.
- Braathen, Henrik (2008). Colifast A/S.
- Carpentier, Corina (2008). KWR Watercycle Research Institute. Nederländerna.

Carstens, Cathrin (2008). BBE-moldaenke.
Chowdhury, Sudhir (2008). Predect AB.
Detlev, Louise (2008). BBE-moldaenke.
Eriksson, Mats (2008). Linköpings Universitet
Eriksson, Birgitta (2008). Örnköldsviks kommun.
Godoe, Olav Rune (2007). Havsforskningsinstituttet, Norge.
Liungman, Olof (2008). DHI Sverige.
Medema, Gertjan (2008). forskningskoordinator vid KWR
Watercycle Research Institute, Nederländerna.
Schick, R. (2008). ZVBWV.
Strömbeck, Niklas (2008). Strömbeck Consulting,
Loude consulting oy.
Trappens (2008). Eurawasser Rostock.

Bilaga 1

Hur fungerar optiska mätinstrument?

Optiska mätningar kan inledningsvis enkelt delas in i *passiva och aktiva*. De passiva mätningarna görs utan ljuskälla och är således beroende av naturligt ljus. Aktiva optiska mätningar görs med hjälp av en egen ljuskälla i form av t.ex. en lampa eller lysdiod. Här ligger fokus på instrumentering som är aktiv eftersom de är mest aktuella för system som kan användas vid tidig förvarning om försämrad råvattenkvalitet.

För att ett ämne skall kunna mätas optiskt i vatten kan man förenklat säga att ämnet på något sätt skall påverka vattnets *färg*. Mer vetenskapligt uttryckt skall ämnet vara *optiskt aktivt* ungefär inom intervallet 200–900 nm, vilket omfattar de *ultravioletterna*, *synliga* och *nära infraröda* områdena i det elektromagnetiska spektrumet. Utanför detta område är det med ett fåtal undantag svårt att göra optiska mätningar vilket delvis beror på vattnets optiska egenskaper men även på begränsningar i utvecklingen av optiska komponenter.

Nedan följer en kort genomgång på de olika sätt som ett ämne kan var optiskt aktivt. Ljusets *dämpning* i vatten beskrivs av den fysiska storheten *dämpningskoefficienten*, c , och beräknas enligt:

$$c = \ln \frac{\Phi_0}{\Phi} / r$$

där Φ_0 är intensiteten hos ett monokromt ljus som strålar kollimerat genom vattnet (jfr. med en laserstråle) och Φ är intensiteten hos samma ljus mätt på avståndet r i vattnet (i meter).

Dämpningen kan vidare delas upp i *absorption* och *spridning*. Ljus som absorberas tas upp av vattnet eller något av de ämnen som det innehåller och det *förbrukas* därmed. Ljus som sprids ”studsar” på ämnen (partikulära eller med stora molekyler) i vattnet. Det förbrukas alltså inte utan ändrar istället riktning så att det *försvinner* ut ur den kollimerade ljusstrålen. Båda processerna kan kvantifieras med ovanstående formel och de benämns då *absorptionskoefficient* a och *spridningskoefficient* b . Summeras de så bildas dämpningskoefficienten:

$$a + b = c$$

Vattnets absorption och spridning (och därmed också dämpningen) beror av vattnets innehåll av olika *ämnen* i såväl *löst form* som i *partiklar*. Till detta tillkommer absorptionen och spridningen hos det rena vattnet i sig självt. Vidare är både absorptionen och spridningen hos olika ämnen också beroende av *ljusets våglängd*. Tillsammans kan alla dessa faktorer sammanfattas i *specifika* absorptions- och spridningsspektra. Sådana spektra visar hur mycket en specifik koncentration av ett visst ämne absorberar eller sprider ljus som funktion av ljusets våglängd.

Ljus som absorberas kommer vanligtvis att omvandlas till värme och i viss mån till kemisk energi (t.ex. genom att ingå i planktons fotosyntes). En liten del kommer dock att återigen avges som ljus genom en process som kallas *fluorescens*. Hur stor denna del är beror bl.a. på vatt-

nets kemiska och partikulära innehåll samt dess temperatur och således är parametern fluorescens inte en enkel fysisk storhet utan en kombination av många olika effekter. Liksom ovan kan dock ämnens fluorescerande egenskaper sammanfattas i spektra. Ämnets *exitationsspektrum* visar vilket ljus som orsakar fluorescens, medan *emissionsspektret* visar vid vilka våglängder ämnet fluorescerar.

Med ovanstående bakgrundsinformation kan optiska mättekniker dela in i två generella typer; *fotometriska* och *fluorimetriska*. Fotometriska mätningar görs med *fotometrar* och syftar oftast till att mäta *absorptionskoefficient* a , men det finns även instrument som är konstruerade för att mäta *spredningskoefficienten* b eller summan av dessa, *dämpningskoefficienten* c . De enklaste av dessa instrument mäter vid endast en våglängd (eller rättare sagt i ett väldefinierat våglängdsintervall) medan de mer avancerade mäter vid många olika våglängder. De senare kallas *spektrofotometrar*.

Det är viktigt att hålla i minnet att optiska mätningar är mycket svåra att utföra på ett korrekt sätt. Därför är utformningen av alla olika instrument ett resultat av olika optiska generaliseringar, och alla mätningar behöver således mer eller mindre korrigeras för att man skall få exakta fysiska storheter. Istället för att mäta de optiska storheterna a , b eller c , så mäter många laboratoriespektrofotometrar istället något som kallas *absorbans* (Abs) eller *optisk densitet* (OD). Abs och OD beräknas dock på ett liknande sätt, men de baserar sig på 10-logaritmen istället för den naturliga logaritmen (se formeln ovan). Vidare är inte denna typ spektrofotometrar tillräckligt rigorösa för att mäta a i ett prov där även b är stort, utan de mäter istället ett mellanting mellan a och c . Det går därför inte utan vidare omräkna a till Abs (eller OD) eller vice versa. Om provet däremot har mycket liten b är det enklare:

$$a \approx 2,3026 Abs$$

där 2,3026 är en omräkningsfaktor mellan de olika logaritmfunktionerna. Ovanstående gör det tydligt att resultatet av optiska mätningar många gånger inte blir detsamma med två olika instrument. Det går heller inte utan vidare att applicera litteraturdata på instrument som saknar dokumentation.

Som en sista viktig sak måste den optiska mätlängden nämnas. Det är viktigt att denna optimeras för det vatten som instrumentet skall mäta i, eftersom en för kort mätlängd gör instrumentet okänsligt medan en för lång gör det överkänsligt.

Fluorimetriska mätningar görs med *fluorometrar* (eller *fluorimetrar*) och syftar till att mäta ett visst fluorescerande ämne. De enklaste typerna sänder ut ljus vid en våglängd (exiterar) och mäter sedan fluorescensen (det emitterande ljuset) vid en längre våglängd. Det finns även instrument som har flera exitationsvåglängder, och de kallas således spektrofluorometrar. Den mest avancerade typen av *spektrofluorometrar* kan även mäta fluorescensen vid olika våglängder men denna typ av instrument finns ännu inte kommersialiserade. Generellt sett så kan man säga att fluorometrar är känsligare än spektrofotometrar, samtidigt som resultaten är svårare att analysera.



Box 47607, 117 94 Stockholm
Tel 08 506 002 00
Fax 08 506 002 10
E-post svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se