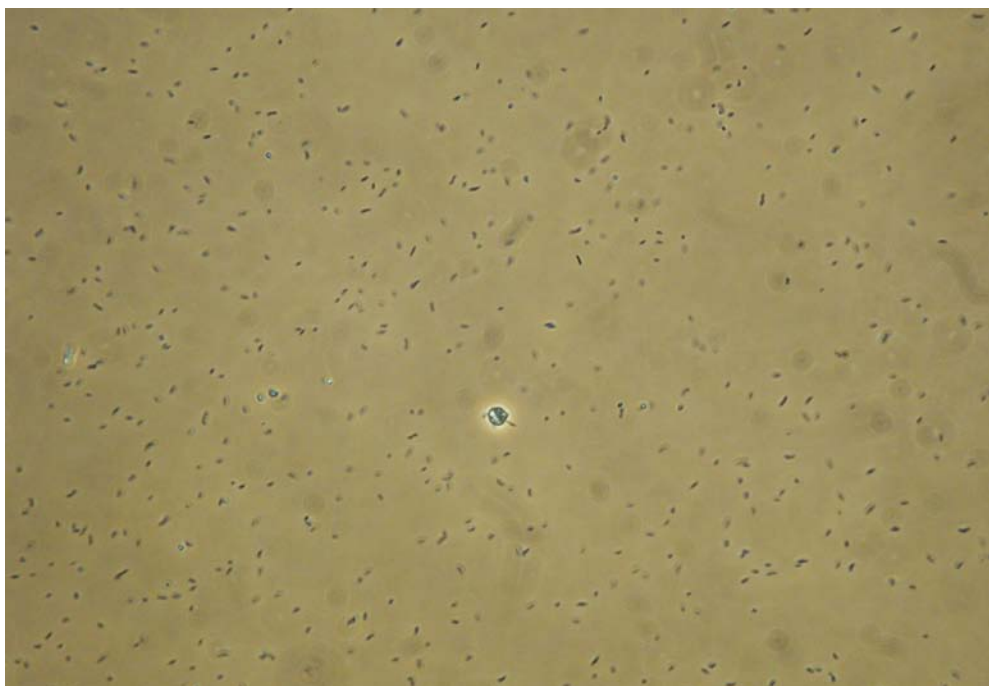


Realtidsmätning av vattenkvalitet och automatisk provtagning vid befarad mikrobiell förorening

*Kenneth M Persson
Sudhir Chowdhury
Anders Rönnholm
Jing Li*



Svenskt Vatten Utveckling

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

Dricksvatten
Ledningsnät
Avloppsvatten
Management

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

Agneta Granberg, ordförande	Göteborgs Stad
Daniel Hellström, sekreterare	Svenskt Vatten
Stefan Johansson	Skellefteå kommun
Charlotte Lindstedt	Göteborg Vatten
Lena Ludvigsson-Olafsen	Smedjebackens kommun
Margareta Lundin Unger	Kungsbacka kommun
Kenneth M. Persson	Sydvatten AB
Lars-Gunnar Reinius	Stockholm Vatten AB
Mats Rostö	Gästrik Vatten AB
Bo Rutberg	Sveriges Kommuner och Landsting
Lena Söderberg	Svenskt Vatten
Ulf Thysell	VA SYD
Fred Ivar Aasand, adjungerad	Norsk Vann

Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan återopas 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:	Realtidsmätning av vattenkvalitet och automatisk provtagning vid befarad mikrobiell förorening
Title of the report:	On-line monitoring of water quality and automatic sampling when risk for microbial pollution
Rapportnummer:	2011-06
Författare:	Kenneth M Persson, SWECO AB, Sudhir Chowdhury, Predect AB, Anders Rönnholm, Motala kommun och Jing Li, Lunds universitet.
Projektnummer:	29-113
Projektets namn:	Realtidsmätning av vattenkvalitet och automatisk provtagning vid befarad mikrobiell förorening
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling, SWECO AB, Predect AB, Motala kommun
Rapportens omfattning Sidantal:	32
Format:	A4
Sökord:	Partikelmätare, realtid, vattenkvalitet, Motala, Borensberg
Keywords:	Particle counter, on-line monitoring, water quality, Motala, Borensberg
Sammandrag:	Partikelvariationen i råvatten och dricksvatten har följts i realtid under 14 månader med haltmätningar varje sekund. Variationer i råvattnet och föroreningar och avvikelser i dricksvattenkvaliteten dokumenteras samt eventuell korrelation mot mikrobiell förorening beräknas.
Abstract:	Particle counts in raw water and drinking water has been monitored on-line for 14 months. The variation in raw water and pollution and deviations in drinking water is measured and possible correlation to microbial pollution calculated.
Målgrupper:	VA-tekniker, miljö- och hälsoskyddsinspektörer, drifttekniker, konsulter
Omslagsbild:	Mikrobiell analys av råvatten från Boren; Predect AB
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2011
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB

Förord

Går det att övervaka dricksvattenkvalitet i realtid? Ett antal kemiska och fysikaliska mätmetoder används, som klorhalt, konduktivitet, pH, turbiditet och temperatur. Dessa är välkända och välbeprövade. Mikrobiell smitta eller befarad mikrobiell smitta är svårare att detektera, eftersom smittämnet kan förekomma i låga halter och likväl vara hälsovådligt. Dessutom är en smitta orsakad av tillfälliga fel i beredningen, som bortfall av desinfektion, fel i filterspolning, läckor eller dylikt svår att identifiera och än svårare att styrka.

Svenskt vatten utveckling beviljade under våren 2009 ett projekt som initierats av dåvarande Predect AB:s Sudhir Chowdhury om att mäta dricksvattenkvalitet i realtid för att se om det går att identifiera befarad smitta eller annars störda vattenförhållanden, samt pröva en av Predect framtagna automatiserad provtagare för dricksvatten vid befarad mikrobiell förorening. Projektdeltagare var SWECO AB (Kenneth M Persson, vid den tiden anställd som konsult på SWECO i Malmö, numera Sydvatten AB, tillika projektledare), Motala kommun (Anders Rönnmark, dåvarande VA-chef, numera teknisk chef) och Predect AB (Sudhir Chowdhury, numera vid Aqua-Q). I projektet har också Anders Edholm, Anna-Karin Pålsson och Sven Larsson från Motala Vatten medverkat. MSc Jing Li vid Lunds universitet, avdelningen för teknisk vattenresurslära har detaljstuderat statistik och utvärderat samband mellan vattenkvalitet och variationer under försöksperioden. Hennes arbete har bidragit till att fördjupa förståelsen av såväl temporära dynamiska förlopp, som säsongsmässiga variationer i råvatten och dricksvatten.

Till alla medverkande vill projektledaren framföra ett varmt tack för aktivt, konstruktivt och kreativt arbete.

Innehåll

Förord.....	3
Sammanfattning.....	6
Summary.....	7
1 Bakgrund.....	8
2 Orientering	9
3 Behov	10
4 Syfte och metod.....	14
4.1 Virus	14
4.2 Om sjön Boren.....	15
4.3 Borensberg vattenverk	16
4.4 Huvudprojektet.....	16
5 Statistisk analys.....	21
6 Resultat och diskussion	22
6.1 Råvatten.....	22
6.2 Dricksvatten.....	23
6.3 Log-reduktion	25
6.4 Val av rätt tröskelvärde för larm.....	27
7 Slutsatser	29
8 Referenser.....	30
Appendix 1	
Råvattendata från Borens vatten	32

Sammanfattning

I projektet har en kontinuerlig övervakning och regelbunden dokumentation av vattenkvaliteten i råvatten och dricksvatten genomförts vid Borensbergs vattenverk i Motala kommun under perioden september 2009 till september 2010. Syftet med studien har varit att söka upptäcka försämring av dricksvattenkvaliteten innan vattnet distribueras till konsumenten. En automatisk mätutrustning från projektdeltagaren Predect med partikelmätning i mikronskala och automatisk provtagning av misstänkt påverkat vatten monterades på inkommande råvatten och utgående dricksvatten. Mätutrustningens funktion har dokumenteras och utvärderas i denna rapport. Partikelvariationen i råvatten och dricksvatten har följts i realtid under 14 månader med haltmätningar varje sekund. Variationer i råvattnet och föroreningar och avvikelser i dricksvattenkvaliteten dokumenteras. När avvikelsen överskrider ett gränsvärde (tröskelvärde) för dricksvattnet tas automatiskt ett vattenprov för analys och larm går till operatör.

Mätvärdena har analyserats med hjälp av matematisk-statistiska verktyg, varvid storleksfördelning, säsongsvariationer och korrelation mellan bakteriehalter i råvatten och partikelhalter i råvatten och dricksvatten beräknats.

I rapporten diskuteras också hur val av referensvärde för normalkvalitet samt identifiering av tröskelvärde för störd vattenkvalitet skall göras. Eftersom det går att lägga in en larmgräns för överskridande av tröskelvärde gäller det att välja rätt tröskelvärde så att den automatiska provtagningen sker tillräckligt ofta, så alla befarade störningar dokumenteras genom provtagning, men också tillräckligt sällan så att provtagningen inte görs i otid.

Summary

Particle counts in raw water and drinking water has been monitored on-line for 14 months for the waterworks Borensberg in Motala municipality. The aim of the study has been to investigate any deterioration in drinking water quality before the water is distributed. An automatic measuring equipment from Predect with on-line particle monitoring and automatic sampling of possibly affected water was mounted to follow the particle count in raw water and drinking water. The applicability of the method has been investigated and evaluated in this report. Particle count variations have been monitored every second for 14 months. Any variations in raw water and pollution and deviations in drinking water is measured. If a deviation causes the quality parameter to exceed a given threshold value, an automatic sampling of water starts and the operator is alerted. .

The data sets have been analysed with the use of mathematical-statistical tools, from which the particle size distribution, seasonal variations, and correlations between bacterial counts in raw water and particle counts in drinking water have been calculated.

In the report, the proper method of choosing reference values for normal particle counts in water is discussed and a suggestion on how to proceed to identify threshold values for disturbed water is presented. Since it is possible to choose any threshold value for exceeded particle counts, the proper choice of this is crucial for the use of particle count monitoring in drinking water. Alarms and sampling must occur sufficiently often to identify all critical occasions, yet sufficiently seldom to not disturb the operator unduly.

1 Bakgrund

Projektet syftade till att undersöka om en partikelräknare för realtidsmätning kunde användas för att bevaka dricksvattenkvalitet och råvattenkvalitet, samt hur övervakningsutrustningen kunde användas för att fördjupa förståelsen av förändringar i råvattenkvalitet i ett tidigt skede. En central fråga som SVU ställde var om partikelvariationer i dricksvattnet eller råvattnet kunde tolkas mera utförligt med hjälp av realtidsmätningen? Så gott det låter sig göras skall den frågan besvaras i denna rapport.

2 Orientering

Vattenenheten i Motala kommun ansvarar sedan 1 januari 2007 för vatten- och avloppsverk i Motala och Vadstena kommuner. I Motala finns sex vattenverk och i Vadstena två. Predect AB är ett cleantechföretag som har speciell kompetens inom tillämpad forskning, utredning och analys av dricksvattenkvalitet i realtid. Predect har utvecklat ett system med larm för on-line kvalitetskontroll av dricksvatten för att snabbt kunna upptäcka förändringar i dricksvattenkvaliteten. Predects system tar automatiskt vattenprov för analys vid förorening/förändring av dricksvattenkvaliteten. Mätutrustningen är kommersiellt tillgänglig och har använts för detektion av vattenkvalitetsvariationer i Stockholm vid KTH under hösten 2008 och våren 2009. Predect gick i konkurs under projektiden men är uppköpt och drivs vidare under namnet Predect i Stockholm AB. Sweco genom Kenneth M Persson har haft projektledaransvaret i projektet.

3 Behov

Klimatförändringarnas konsekvenser medför nya utmaningar för våra vattenverk att kunna leverera dricksvatten av hög kvalitet fritt från föroreningar. Risken för vattenrelaterade sjukdomar är ett permanent problem, som i betydande utsträckning påverkar abonnenter i svenska dricksvattnenät varje år. I tabell 3.1 redovisas hur många kokningsdagar abonnenterna i Sverige drabbats av åren 1998–2009 (källa: Dricksvattenrapporteringen 2009, Livsmedelsverkets rapport 2010-11). Som en generell kommentar till dricksvattenrapporteringen anser Livsmedelsverket att det är ett allvarligt tillbud som inträffat om kontrollmyndigheten eller dricksvattenproducenten går ut med kokningsrekommendationer. En kokningsrekommendation måste alltid ses som att ett allvarligt problem uppstått i produktionen eller distributionen. Rapporteringen för 2010 är inte klar, men eftersom det stora utbrottet med *cryptosporidium* i Östersund inträffade under 2010, kommer inte statistiken för 2010 att vara bättre än för 2009 (total gällde kokningsrekommendationen för Östersund under 86 dagar, från den 26 november 2010 till den 18 februari 2011. Med en befolkning på drygt 59000 invånare, blir antalet persondagar drygt 5 miljoner bara för Östersund, dock fördelade på två olika år. Drygt 10 000 personer har rapporterat att de blivit smittade under perioden.)

Tabell 3.1 Kokningsrekommendationer pga befarad mikrobiell smitta 1998–2009. Antalet persondagar definieras som antalet drabbade konsumenter multiplicerat med det antal dagar kokningsrekommendation varade för dem.

Antal persondagar när kokningsrekommendationer utgått, 1998–2009	
Ar	Antal persondagar*
2009	959 037
2008	681 173
2007	321 840
2006	239 553
2005	349 412
2004	1 058 779
2003	172 201
2002	663 703
2001	497 054
2000	464 045
1999	421 749
1998	785 689

Förorenat vatten orsakat av smittoämnen som bakterier och parasiter (ex. *Cryptosporidium* och *Giardia*) samt virus är en reell risk vid kommunal vattenförsörjning. Mikroorganismer är svåra att upptäcka, avlägsna och effektivt eliminera. Dessa föroreningar är så små att de inte är synliga och passerar delvis våra traditionella vattenbehandlingsmetoder. *Cryptosporidium* och *Giardia* finns i naturen (från avlopp, vilda djur och boskap) och vid häftiga regn och översvämningar sköljs dessa parasiter ut i vattentäcker.

Vattenburna sjukdomar som orsakas av parasiterna *Cryptosporidium* och *Giardia* är ett prioriterat område enligt Svenskt Vatten och Livsmedelsverket. Också WHO har identifierat vattenburen smitta som den allvarligaste hälsorisken globalt sett och pekar ut *Cryptosporidium* som det tydligaste exemplet på nytt hot. I Klimat- och sårbarhetsutredningens underlagsrapporter om hälsa, respektive vattenförsörjning lyfts särskilt fram *Cryptosporidium*, långt innan Östersundsborna drabbades. Globalt sett leder bristen på rent vatten till att 1,8 miljoner barn under fem år dör varje år, eller tre döda barn i minuten. Även vuxna drabbas. Sjukdomar med koppling till förorenat vatten är många och kan drabba alla. De vanligaste i Sverige under senare år har varit *Campylobacter*, *Giardia lamblia* och norovirus (t.ex. Lilla Edet), men även utbrott med toxinbildande *E. coli*, *Entamoeba histolytica* och *Cryptosporidium spp* (senast i Östersund och Åre och förmodligen Skellefteå). *Salmonella* och *Shigella* har förekommit i några enstaka fall vid smitta från enskilda vattentäkter/brunnar. Andra smittämnen som kan vara aktuella vid vattenburna utbrott i Sverige är: *Yersinia enterocolitica*, *Aeromonas hydrophila*, patogena *E. coli* (t.ex. enterohemorragisk *E. coli*, enteroaggregativa *E. coli*), hepatit A, rota-, coxsackie- och echovirus. Orsakerna till vattenburna utbrott har i första hand varit att avloppsvatten eller förorenat ytvatten kunnat tränga in i dricksvattensystemet. Dödsfall på grund av vattenburen smitta är ovanliga i Sverige, men globalt resulterar vattenburen smitta i att mer än två miljoner människor dör varje år. Dödstalet på grund av smittat vatten överskrider därmed antalet dödsoffer som allt våld – inklusive krig – orsakar i världen.

EU:s dricksvattendirektiv liksom Livsmedelsverkets dricksvattenföreskrifter betonar att alla medlemsstater skall vidta alla nödvändiga åtgärder för att säkerställa att regelbunden övervakning av kvaliteten på vatten som används som livsmedel tillämpas. Prover som samlats in bör vara representativa för kvaliteten på det vatten som förbrukas under året. I Livsmedelsverkets kommentarer till dricksvattenföreskrifter framhåller myndigheten behovet av kunskap om variationer i råvattnets kvalitet på kort och lång sikt. Livsmedelsverket ser denna kunskap som en förutsättning för att kunna utforma dricksvattenberedning korrekt, men också för att styra beredningsprocesserna. Som särskilt väsentligt framhålls att de sämsta förhållandena i råvattnet kartläggs så att beredningen klarar dessa med marginaler. Generellt sett bör beredningen utformas så att det är möjligt att leverera ett fullgott dricksvatten under förhållanden med sämsta råvattenkvalitet och maximal förbrukning. Notalbelt här är att den nationella regleringen av råvatten till vattenverk, som fanns i Sverige fram till 2001 i form av krav på råvatten i dricksvattenkungörelsen, sedan implementeringen av EU:s dricksvattendirektiv numera är borttagen.

Huvuddelen av de vattenburna sjukdomsfallen anses bero på att sjukdomsframkallande mikroorganismer passerat från råvatten genom beredningen till dricksvattnet. Direkt smittspridning i vattenverket förekommer mera sällan men någon gång inträffar så kallade korskopplingar på ledningsnätet, då avloppsvatten eller förorenat ytvatten av misstag eller på grund av sabotage kopplas in på dricksvattennätet och pumpas ut i delar av detta (se utförligare diskussion i Westrell, 2004; SLV 2005; Lindhe, 2010). I de flesta

fallen härstammar den mikrobiella föroreningen från avlopp eller naturgödsel (fekal förorening). Smittspridningsrisken i dricksvatten mäts i stor omfattning som närvaron eller frånvaro av fekala indikatororganismer (koliforma bakterier, *E. coli* eller enterokocker). De krav på realtidsmätningar som ställs på vattenverk redovisas i dricksvattenföreskrifternas §4, där det konstateras att dricksvattenberedningen måste vara försedd med larm med larmgränser satta så att de varnar vid förhållanden som kan medföra dålig effektivitet, till exempel låg dos av klor, UV och ozon eller hög turbiditet på råvattnet.

I kommentarerna till dricksvattenföreskrifterna redovisar Livsmedelsverket också några förslag till hur kunskapen om variationer i dricksvattenkvalitet kan förbättras, vilka refereras nedan. Vid ytvattenverk med desinfektion är det lämpligt att kontinuerligt följa råvattnets turbiditet. Om filter används skall turbiditeten i beredningsprocessen mätas för att kontrollera filtrets funktion. Erfarenhetsmässigt gäller för utgående dricksvatten att låga och stabila turbiditetsvärden är ett viktigt sätt att kontrollera att de mikrobiologiska barriärerna fungerar nöjaktigt. En relativt kortvarig ökning i turbiditeten i dricksvattnet kan indikera en ökad risk för vattenburen smitta. Orsaken till onormala förändringar i turbiditet måste alltid undersökas. Turbiditet under 0,1 FNU sägs som regel innebära en påtagligt lägre risk för smittspridning än turbiditet mellan 0,1 och 0,2 FNU. Det finns också indikationer på att riskerna fortsätter att minska vid ytterligare turbiditetsreduktioner och att även små turbiditetsökningar kan indikera en påtaglig riskökning. Normalt går det att bereda vatten som har en stabil turbiditet under 0,1 FNU och det går ofta att hålla turbiditeten under 0,05 FNU. Turbiditetsmätningarna bör därför genomföras så att det verkligen är möjligt att följa förändringar i turbiditet på 0,1 FNU eller mindre. De behöver göras kontinuerligt och mätas på den plats i beredningen där de lägsta partikelhalterna kan förväntas, det vill säga före eventuella doseringar för till exempel alkalinitetshöjning.

Livsmedelsverket anmärker att partiklar från doseringarna inte bara orsakar höjda turbiditetsnivåerna och en spridning i mätvärden, utan också kan göra att mikrobiologiska risker maskeras av incidenter med tillexempel "kalkturbiditet". I vissa fall kan det vara lämpligt att mäta turbiditeten på fler ställen i beredningen. Genom att mäta i realtid över varje filter separat går det att upptäcka störningar i det. Mätningar i blandfiltrat från olika filter bör undvikas, eftersom det finns risk att information om brister i ett filter försvinner (späds bort) i blandfiltratet.

Noterbart är dock att turbiditetsmätningen inte säger något om vilket slags partiklar som passerar beredningen. Eftersom somliga organismer har mycket låg infektionsdos, det vill säga kan ge smitta också i låga halter, garanterar inte en låg turbiditet ett smittfritt vatten. Det kan finnas tillräckligt med sjukdomsframkallande mikroorganismer i dricksvattnet för att orsaka sjukdomsutbrott också om turbiditeten är låg. För att öka upplösningen i driftövervakningen informerar därför Livsmedelsverket om de möjligheter som finns med att mäta mikroskopiska partiklar. Mikroorganismer är partiklar, varför partikelräkning ses som potentiellt värdefullt för att övervaka dricksvattenberedning. I dricksvatten är halten av små partiklar

(mindre än 1 µm) ofta så hög jämfört med halten av stora partiklar att de små får en större total betydelse för turbiditeten. Samtidigt är många sjukdomsframkallande mikroorganismer större än 1 µm. De dominerande avskiljningsmekanismerna i vattenverket är också olika för partiklar mindre än 1 µm jämfört med för större partiklar. Den relativa reduktionen av partiklar kan ge upplysning om säkerhetsbarriärernas effektivitet i varje enskilt fall. Det viktigaste storleksintervallet att räkna är från 1–2 upp till 15–20 µm, vilket är storleken för många sjukdomsframkallande mikroorganismer (utom virus). Av dessa anledningar bör partikelmätning således kunna ge värdefull information om beredningens förmåga att avskilja potentiellt skadliga partiklar.

Idén bakom Predect AB:s lösning tar fasta på Livsmedelsverkets kommentarer till hur kunskap om dricksvattenkvalitet behöver utvecklas. Partikelhalten i dricksvatten mäts i realtid. Om partikelhalten överskrider ett visst gränsvärde kan ett vattenprov tas ut automatiskt för vidare analys. För närvarande saknas snabba vattenkvalitetsanalyser med avseende på mikrobiella föroreningar i kommunala vattenverk. Partiklar är inte detsamma som mikroorganismer, men partikelhalten kan eventuellt indikera en icke-önskvärd kvalitetsförändring, som kan ha sitt ursprung i smittspridning. Genom provtagning i kombination med en realtidsmätning av partikelhalter kan förändringarna följas, dokumenteras och eventuell oönskad smittspridning verifieras tidigt. Det finns behov för snabba effektiva metoder med larm att i realtid upptäcka förändringar i dricksvattenkvaliteten, verifiera, dokumentera, larma och helst också kunna åtgärda fel. Spårbarhet är en viktig komponent i ett kvalitetssäkringssystem.

Den mikrobiella vattenanalys som utförs i dagsläget ger inget svar i realtid på när vattnet blev förorenat och värdefulla timmar och dagar går förlorade, speciellt vad gäller att kunna provta vatten exakt då smittspridning sker – kopplingen mellan befarat smittillfälle och spridning av vattenburen smitta kan som regel dokumenteras först i efterhand och då är dricksvattnet ofta redan omsatt. I september 2008 drabbades ungefär en femtedel av Lilla Edets invånare av magsjuka, vilket tros bero på personkontakter med smittad person, vattenburen smitta eller livsmedelsburen smitta. Av 48 analyserade humanprover i november 2008 var 18 prover positiva för calicivirus, några enstaka för andra mag/tarminfektionsvirus och 2 prover positiva för *Campylobacter*. Av vattenproverna visade under några dagar samtliga prover på förekomst av kolifager i dricksvattenprover, vilket enligt SMI indikerade förekomst av andra virus (Ekvall 2010). Kokningsrekommendationen varade i 17 dagar (dvs bara den incidenten gav 221 000 persondagar till tabell 1 för år 2008). En annan intressant aspekt är att ge vattenverk möjlighet till att använda klor vid desinfektion mera dynamiskt, alternativt använda desinfektionsmedel när det verkligen behövs. Är det möjligt att övervaka vattenkvaliteten med sådan precision att desinfektion endast behöver göras då faktiskt mikrobiell påverkan föreligger i infektionsdos?

4 Syfte och metod

Med ovanstående som bakgrund har detta projekt haft som mål att testa Predects tidiga varningssystem med dokumentation, larm och automatisk provtagning vid upptäckt av förändringar i råvattenkvalitet och dricksvattenkvalitet. I viss omfattning har också förekomsten av relevanta mikroskopiska föroreningar korrelerats till mätningar av totalantalet bakterier och parasiter.

Vårt syfte med projektet har främst varit att kontinuerligt övervaka och dokumentera vattenkvaliteten i råvatten och dricksvatten för att upptäcka försämring av dricksvattenkvaliteten innan vattnet distribueras till konsumenten. Vi har fokuserat på att undersöka föroreningar i mikronstorlek.

Följande punkter har dokumenteras och diskuteras mera utförligt nedan i rapporten.

1. Automatisk mätutrustning enligt Predects modell har monteras på inkommande råvatten och utgående dricksvatten i vattenverket. Mätutrustningens funktion dokumenteras och eventuella problem i signalbehandling, övervakning eller dylikt, registreras och åtgärdas. Mätutrustningens brister och potential dokumenteras och redovisas.
2. Partikelvariationen i råvatten och dricksvatten dokumenteras i realtid under 14 månader med haltmätningar varannan sekund
3. Variationer i råvattnet och föroreningar och avvikelser i dricksvattenkvaliteten dokumenteras. När avvikelserna överskrider ett gränsvärde för dricksvattnet tas automatiskt ett vattenprov för analys och larm går till operatör. Prover på råvattnet tas med som samlingsprov under kampanjer.
4. Alla händelser (normala/onormala) skall dokumenteras under en längre tid, minimum 14 månader.
5. Åtgärder som utförs för att lindra effekten av förändringar i vattenkvaliteten skall kartläggas.
6. Kartläggning/undersökning skall göras om klordesinfektion eventuellt helt kan tas bort och användas enbart vid behov/reduceras med hjälp av Predects system.

Denna praktiska metod skall ge snabb information till operatören när någon form av förorenat vatten går ut från vattenverket. Informationen innehåller exakt tid och datum registreras. Dessutom tas ett vattenprov automatiskt när förorening inträffar och sparas för analys. Genom att snabbt kunna indikera misstänkt förorening i vatten och samtidigt få tillgång till rätt vattenprov vilka ger mera representativa analysresultat, kan eventuellt beslutsfattande åtgärder underlättas.

4.1 Virus

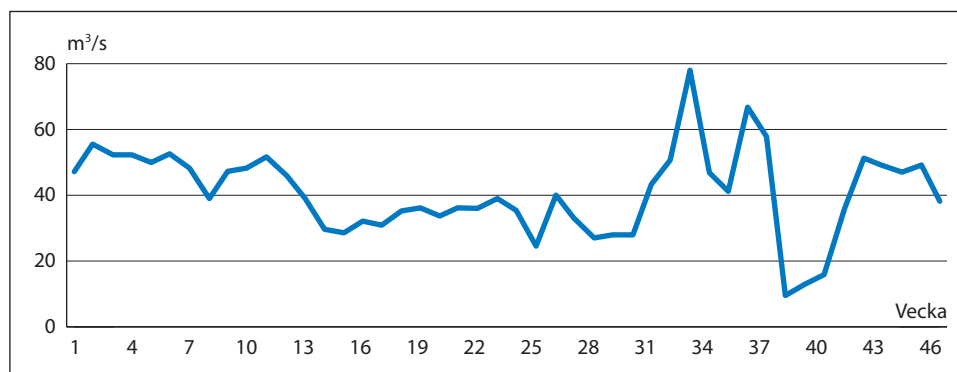
Predect AB har också haft ambitionen att försöka följa förekomst av nanopartiklar i samma storlek som virus, som dock är mycket små och svåra att detektera on-line. Typiskt är virus 20–50 nm stora i diameter, vilket är långt

under detektionsgränsen för den partikelhaltsmätare som använts i studien. Men då virus oftast behöver någon värdpartikel/förorening för att flytta sig från punkt A till B samt för att få näring och kunna växa, kan man säga att virushalterna delvis mäts indirekt om mikropartikelhalten mäts. Detta eftersom nanopartiklar (virus) som regel sätter sig på sådana mikropartiklar som mäts i realtid under projektet. Det är viktigt att hålla mikroskopiska föroreningar/partiklar i så låga halter som möjligt i dricksvatten och att följa partikelhalter och deras variationer konstant.

4.2 Om sjön Boren

Boren ligger inom Motala ströms avrinningsområde. Detta är stort och omfattar 15 500 km². Det täcks till 51 % av skog, 29 % av öppna ytor (åkermark och tätorter) och 20 % av vatten. Vätterns enda utlopp sker genom Motala ström och därifrån kommer halva den vattenmängd som slutligen når ut till Bråviken och Östersjön. Sjön Boren ligger 73 m ö.h. och har en area om 28 km². Största djupet är 14 m. På grund av Motala ströms höga flöde genom sjön är uppehållstiden måttlig, knappt 2 månader. Vattenkemiskt är syremättnaden hög, färgtalet lågt och närsaltsinnehållet lågt. Göta kanal leds genom Boren till Motala så Boren påverkas av Göta kanal och dess omfattande turisttrafik. I Motala sker flera industriella utsläpp till Motala ström samt utsläpp av behandlat avloppsvatten från Motala kommuns största reningsverk. I Boren finns det främst gott om stor gädda och abborre. Senare år har även regnbågslax och laxöring planterats ut, men dessa arter förefaller inte reproducera sig i sjön. Sjön beräknas producera 15–20 kg fisk/ha och år, vilket innebär totalt 40–50 ton fisk/år. Motala ström vindlar genom Östergötland ut från Vättern till Östersjön. På sin väg till Bråviken ökar vattenflödet genom tillflöden från Svartån och Stångån ut i Roxen och Finspångsån och Ysundaån till Glan. Vid mynningen i Norrköping är medelvattenföringen 92 m³/s. I appendix 1 redovisas uppgifter om vattensammansättningen i sjön Boren från år 2009.

Boren ingår i Motala ström som är ett reglerat vattensystem, vilket främst används för att producera vattenkraft. Flödesregleringen gör att flödet genom sjön varierar under året. I figur 4.1 redovisas hur den veckovisa tappningen från Vätterns utlopp varierade under år 2010 till november månad.



Figur 4.1 Tappning av Vättern veckovis 2010. Källa: Vätterns vattenvårdsförbund.

4.3 Borensberg vattenverk

Borensbergs vattenverk redovisas i tabell 4.2 nedan.

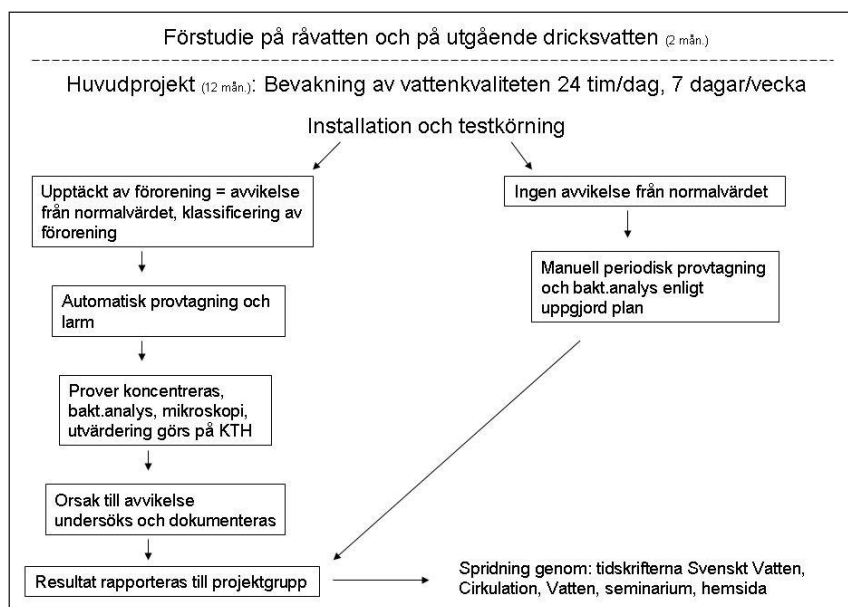
Tabell 4.2 Data om Borensbergs vattenverk.

Råvattentäkt	Boren
Distributionsområde	Borensberg, Brånshult
Antalet anslutna	ca 2 740
Dygnsvattenförbrukning	770 m ³ /dygn (medeltal år 2010)
Hårdhet °dH	2,9–3,1
pH	Ca 8,4

Råvattnet pumpas in genom en ledning från Boren och passerar en intagssil. Vattnet pumpas sedan till två snabbfilter. Efter det sker en alkalisering av vattnet innan det görs en fördelning av vattnet över fem öppna långsamfilter. Vattnet desinficeras med UV-ljus efter långsamfiltren för att sedan ledas in i lågreservoar för vidare distribution ut på nätet.

4.4 Huvudprojektet

I september månad 2009 placerades två partikelhaltsmätare av Predect AB:s tillverkning ut i Borensberg. Partikelhaltsmätarna betecknas P-100 respektive P-300. P-300 är utrustad med automatisk provtagning vilken styrs av det tröskelvärde som angetts för PLC:n som styr utrustningen, medan P-100 endast har automatisk partikelhaltsmätning. Styrstrategi för P-300 framgår av figur 4.2 och figur 4.3.

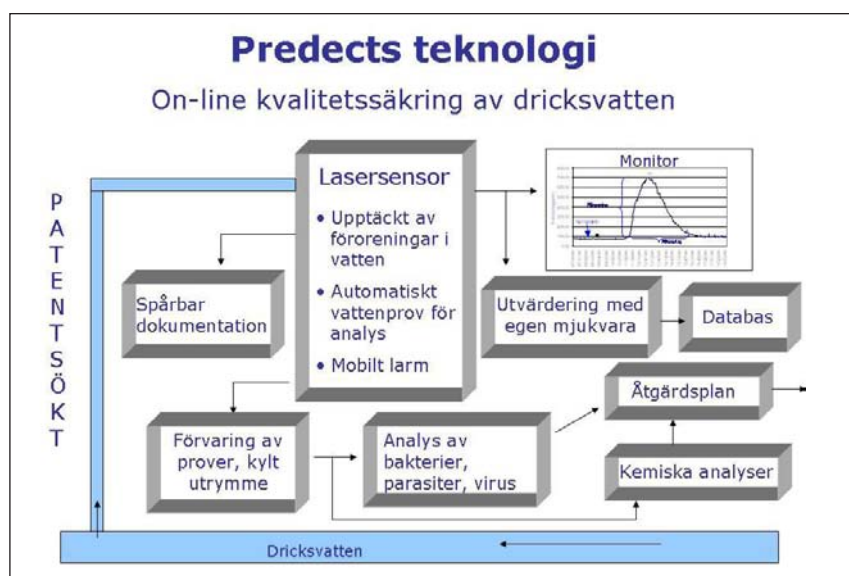


Figur 4.2 Strategi för studien

Automatisk provtagning görs om smittspridning befaras eller när partikelhalten i dricksvatten överskrider normalvärden. Variationer i råvattnet och föroreningar och avvikelser i dricksvattenkvaliteten dokumenteras.

När avvikelsen överskrider ett gränsvärde (tröskelvärde) för dricksvattnet tas automatiskt ett vattenprov för analys och larm går till operatör. Också råvattenprover tas och analyseras.

Ett delflöde från råvattnet och distributionsledningen leds till Predect AB:s övervakningssystem. Eventuella föroreningar upptäcks av lasersensorn och samtidigt tas ett vattenprov av dricksvattnet för analys, enligt figur 2. Om möjligt tas separata prov också av råvattnet. Proverna förvaras i ett rent och kylt utrymme och ett larm går till operatör. Predects system fungerar som ett tidigt varningssystem för föroreningar i dricksvatten, 24 timmar/dygn 7 dagar/vecka varje sekund. Det är av vital betydelse att ta vattenprov vid exakt den tidpunkt som föroreningen upptäcks för att kunna göra rätt bedömning och analys.



Figur 4.3 Blockschema över hur realtidsmätningen med provtagning genomförs

Som mått på partikelhalt används det registrerade värdet för antalet partiklar (normaliserat värde = halter av partiklar/ml) för de olika partikelfraktionerna.

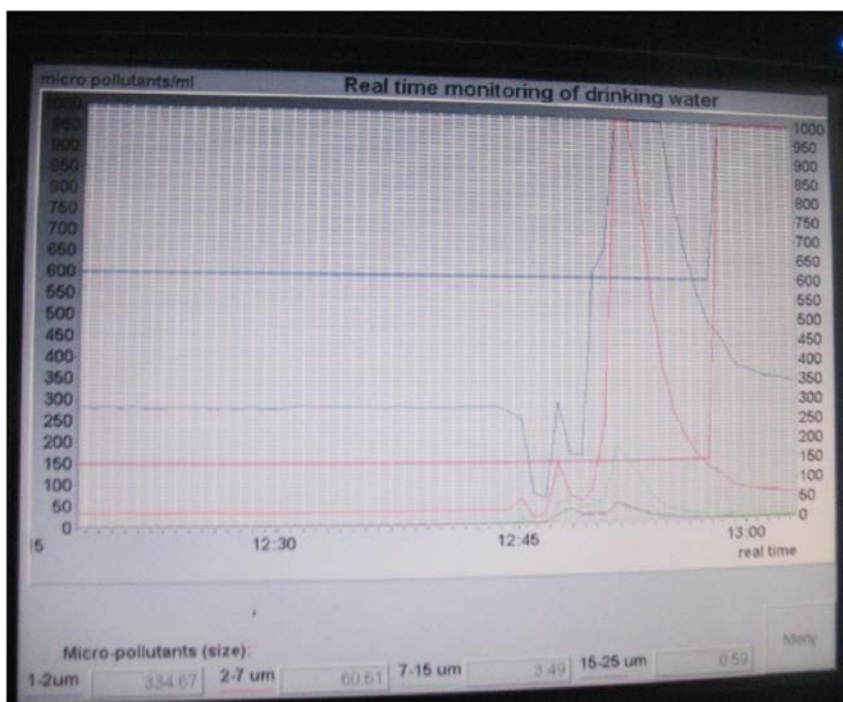
Mätinstrumenten har olika upplösning. P-100 redovisar storleksfraktionerna 1–2 μm och 2–25 μm , medan P-300 ger fyra olika fraktioner inom 1–25 micron intervallet (1–2 μm , 2–7 μm , 7–15 μm och 15–25 μm). Mätdata för de olika fraktioner behandlas i PLC:n och minutmedelvärdet beräknas. De olika mätdata loggas sedan i mätdatafiler för varje minut och lagras i PLC:n, se exempel i tabell 4.3. Filerna kan hämtas ut för vidare databehandling i exempelvis MS Excel. På en dataskärm visas också värdena direkt vid mätaren, se figur 4.4.

Flödet genom sensorn är 45–50 ml/min och sensorn känner av partiklar / föroreningar i detta prov. Om inställt gränsvärde (tröskelvärde) överskrids, tas ett automatiskt vattenprov som kan analyseras vidare i laboratorium och larm till operatören sänds ut via GSM-nätet.

Då Borensbergs vattenverk endast är bemannat vissa delar av arbetsveckan sattes tröskelvärde medvetet så högt att inga larm sändes ut. Det

Tabell 4.3 Exempel på datafil från partikelmätning

	1-2 μm	2-25 μm
2010-04-11 00:00	23,26	4,97
2010-04-11 00:01	22,25	4,51
2010-04-11 00:02	20,58	4,27
2010-04-11 00:03	20,95	3,98
2010-04-11 00:04	20,15	4,04
2010-04-11 00:05	20,49	3,97
2010-04-11 00:06	20,39	4,08
2010-04-11 00:07	21,41	4,23
2010-04-11 00:08	21,44	4,13
2010-04-11 00:09	21,08	3,69
2010-04-11 00:10	21,26	3,73

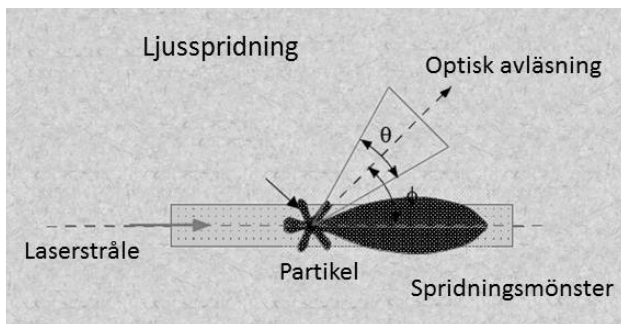


Figur 4.4 Dataskärm med redovisning av partikelhalter i realtid.

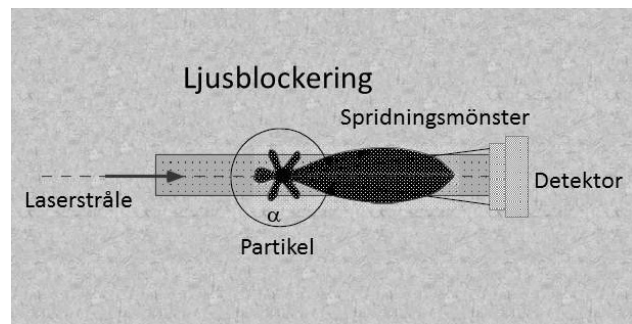
fanns inga skäl att väcka operatören nattetid eller avleda honom från det vanliga arbetet för att åka ut och hämta vattenprover i otid. Vidare var inte projektets syfte primärt att larma och samla vattenprover vid befarad smittspridning, utan att lära av mätningarna och testa provtagning under kontrollerade former.

Vissa delar av mätperioden var den sil som sitter på råvattnet före P-100 så igensatt att inget vatten rann genom mätaren. Under denna period samlades inga mätvärden in.

Partikelräknarens principer finns beskrivna på flera olika ställen. En enkel introduktion ges av Chowdhury (2003). Med hjälp av laserljus analyseras den enskilda mikroskopiska partikelns storlek i realtid. Det finns olika mätprinciper, men den vanligaste är "light extinction" (ljusblockering) som till-



Figur 4.5 Ljusspridningsprincipen för partikelmätning

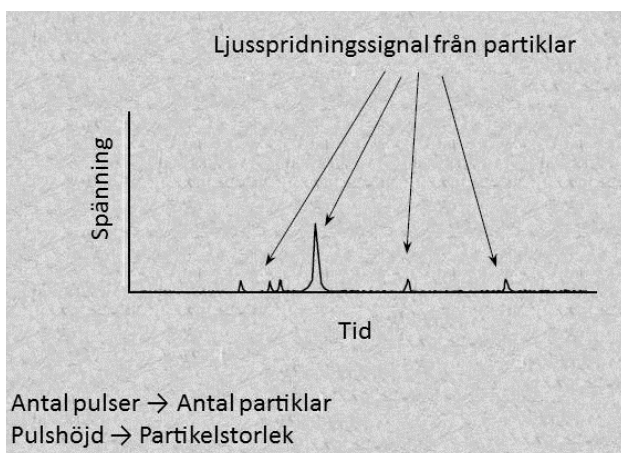


Figur 4.6 Ljusblockeringsprincipen för partikelmätning

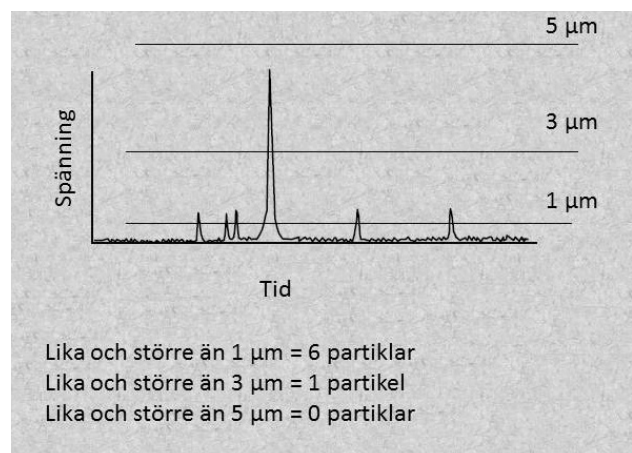
lämpas inom dricksvattensammanhang. Den består av följande baskomponenter:

- en ljuskälla (idag – laser, tidigare – vitt ljus)
- en flödescell (kvarts)
- en ljusdetektionsoptik med fotodiod
- signalbearbetningselektronik
- programvara för utvärdering och rapportering

En laserstråle skickas genom en smal öppning till en flödescell där vattnet passerar med en konstant hastighet. En fotodiod är placerad som mottagare av laserljuset. När en partikel passerar genom flödescellen bryts laserljusets stråle och blockeringen genererar en spänningspuls som ger information om partikelstorlek. Systemet med laserbaserade partikelräknare illustreras i figur 4.5 och figur 4.6. Fotodetektorn används för att identifiera fotonen som sprids eller bryts då den träffar på en mikroskopisk partikel. Fotodetektorn omvandlar fotonen till en elektrisk puls, vilken förstärks och omräknas till en potential proportionell mot partikelstorleken. De olika potentialerna sorteras efter förvalda partikelfraktioner varvid antalet partiklar i varje fraktion kan registreras. Fig. 4.7 visar exempel på ett ljusspridningstillfälle i ett prov medan Fig. 4.8 redovisar förhållandet mellan antal pulser och potentialen som indikerar partikelstorlek.



Figur 4.7 Ljusspridningsindikering vid ett mättillfälle



Figur 4.8 Beräkning av antalet partiklar i olika storleksfraktioner som följd av uppmätt potential i fotomultiplikatorn.

Normalt skall partikelräknare kalibreras varje år eller oftare, om miljön på grund av starka temperaturvariationer, kraftiga vibrationer från omgivande trafik eller jordbävningar eller dylikt kan bedömas påverka mätaren. Laserintensitet har en gaussisk fördelningen, varför vissa partikelräknare tillämpar särskilda optiska masker för att visualisera endast den centrala delen. Mätnoggrannheten varierar beroende på partikelstorleken. Generellt är noggrannheten hög och högre, ju större partiklar som mäts. Så anger exempelvis HACH LANGE för sin partikelräknare WPS 21 vid kalibrering med PSL (polystyrenlatexfärer) att noggrannheten är 20 till 80% vid mätningar av 1µm partikelstorlek men 70 till 130% med 2µm partikelstorlek. Om kalibreringsprovet innehåller 25 000 partiklar/ml kan upp till 10% lägre partikelhalt indikeras med mätaren. En vanlig kalibreringsstandard för partikelräknare är den japanska standarden JIS B 9925.

5 Statistisk analys

Det absoluta antalet uppmätta antalet partiklar som partikelhalten per mililiter vatten användes för att indikera partikelhalten i såväl råvatten som dricksvatten under hela projektet. För att sortera och utvärdera datavariationer har färdiga statistiska beräkningsverktyg i Microsoft Excel, Microsoft Access och Matlab använts. Främst har Pearsons korrelationsmatris och regressionsanalyser tillämpats för analys av variablerna i alla partikelstorleksfraktioner både i råvatten och dricksvatten. Dessutom har likheter och skillnader mellan råvatten och dricksvatten med avseende på halter av partiklar beräknats och analyserats. Ett praktiskt mått på partikelhaltsförändring är den 10-logaritmiska reduktionen (log-reduktionen) över beredningen. Den är ett tydligt och enkelt mått på beredningseffektiviteten i vattenverket. Log-reduktion definieras som:

Log reduktion = $-\log (\text{partikelhalt i dricksvatten} / \text{partikelhalt i råvatten})$

Vidare har halten mikroorganismer i råvatten korrelerats mot partikelhalten i råvatten och dricksvatten för att se om någon tydlig koppling finns mellan mikroorganismer och partiklar.

6 Resultat och diskussion

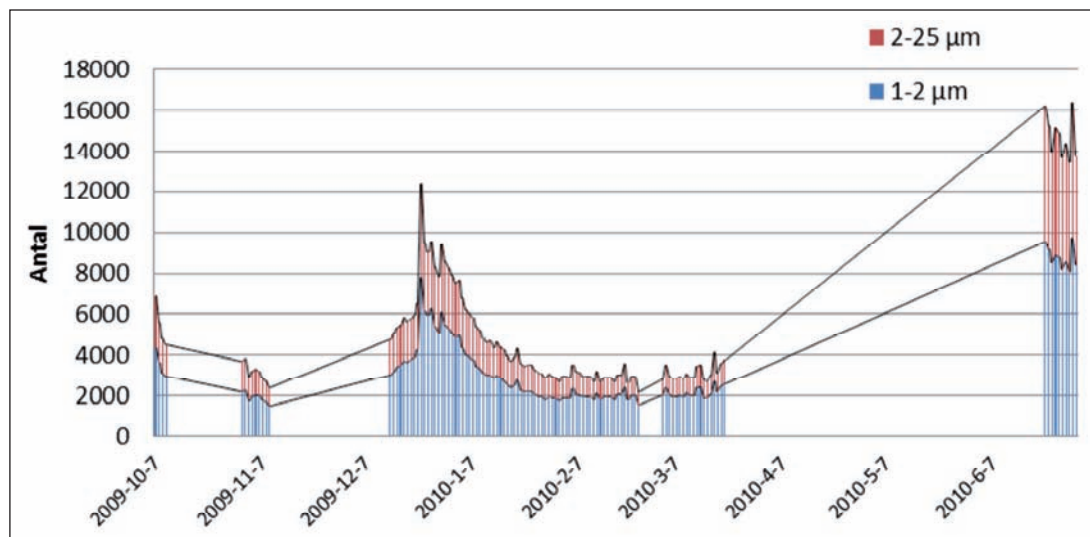
6.1 Råvatten

I Fig 6.1 och Fig. 6.2 redovisas det genomsnittliga månadsvärdet av partikelhalter i råvatten från Boren under perioden oktober 2009 till augusti 2010. På grund av ovannämnda problem med igensättningar i förfiltret före partikelmätaren P-100 finns några luckor i mätserien. Partikelhalten redovisas för de två partikelfraktionerna 1–2 µm respektive 2–25 µm. Med undantag för juli och augusti månader 2010 svarar partikelfraktion 1–2 µm i allmänhet för 63 % av den totala mängden partiklar (Fig 6.1). Under juli och augusti är denna partikelfraktion betydligt vanligare och svarar för 99 % av alla partiklar (Fig 6.1). Korreleras de två fraktionerna mot varandra som dygnsmedelvärden föreligger en mycket hög linjär korrelation under tiden september till juni, med en regressionskoefficient $R^2 = 0,99$. Under juli och augusti månader sjunker den linjära korrelationen till $R^2 = 0,88$. Om istället minutvärdena korreleras under juli och augusti minskar korrelationen ytterligare, ned till $R^2 = 0,56$. I minutvärdena ingår alla tillfälliga variationer som medför avvikelser. Vid dygns- och månadsmedelvärden jämnas dessa tillfälliga avvikelser ut. I tabell 6.1 redovisas totalantalet mikroorganismer efter 3 dygns inkubation och antalet koliforma bakterier för en mätkampanj

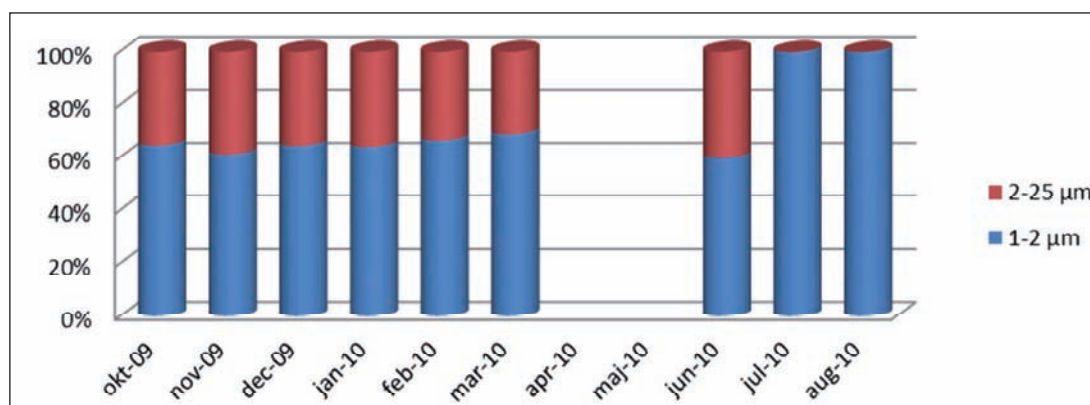
Tabell 6.1 Totalantalet mikroorganismer efter 3 dygn i intagsledningen till Borensbergs vattenverk

Datum, 2010	Uppmätt totalantal mikroorganismer, CFU/ml	Uppmätta koliforma bakterier, cfu/100 ml
01-jun	50	<1
04-jun	230	3
09-jun	660	<1
16-jun	240	1
17-jun	60	1
22-jun	200	<1
30-jun	690	<1
02-jul	>3 000	1
06-jul	180	1
22-jul	1 000	<1
29-jul	2 400	<1
04-aug	850	<1
06-aug	800	<1
10-aug	940	1
11-aug	390	<1
18-aug	10	<1
19-aug	340	<1
25-aug	400	<1
26-aug	250	<1
01-sep	60	<1
02-sep	760	<1
07-sep	480	<1
08-sep	100	<1
Maxvärde	>3 000	3
Minvärde	10	<1
Medelvärde	613	<1

under sommaren 2010. Samtliga analyser utfördes enligt svensk standard på ackrediterat laboratorium (AlControl, Linköping). Vid samtliga tillfällen analyserades också *E.coli*, vilka dock inte deklarerades vid något tillfälle.



Figur 6.1 Förekomst av partiklar i råvatten från Boren som dygnsmedelvärden under mätperioden oktober 2009 till augusti 2010.

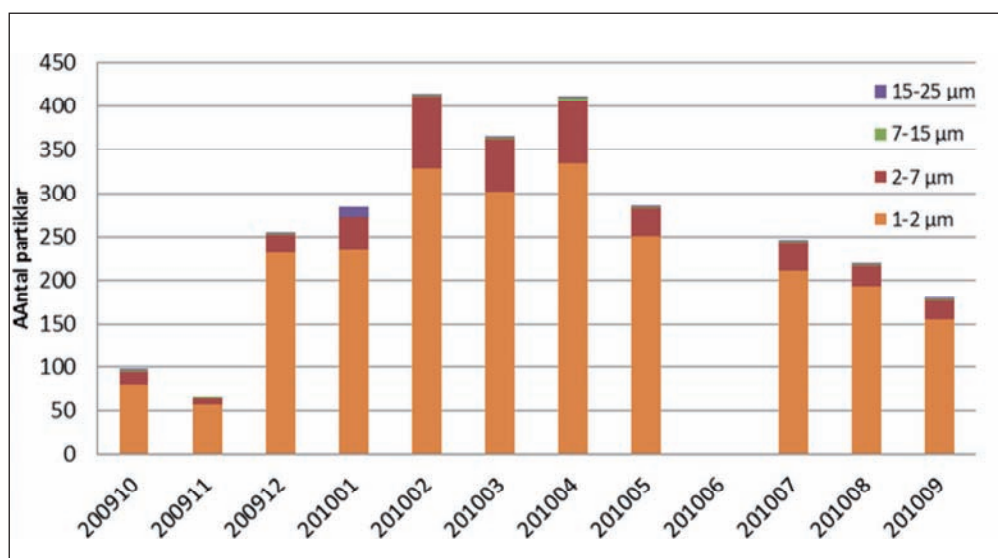


Figur 6.2 Procentuell fördelningen av månadsmedelvärden för partiklar i råvatten under mätperioden.

Det finns ingen tydlig korrelation mellan bakteriehalt och partikelhalt i råvattnet under mätperioden.

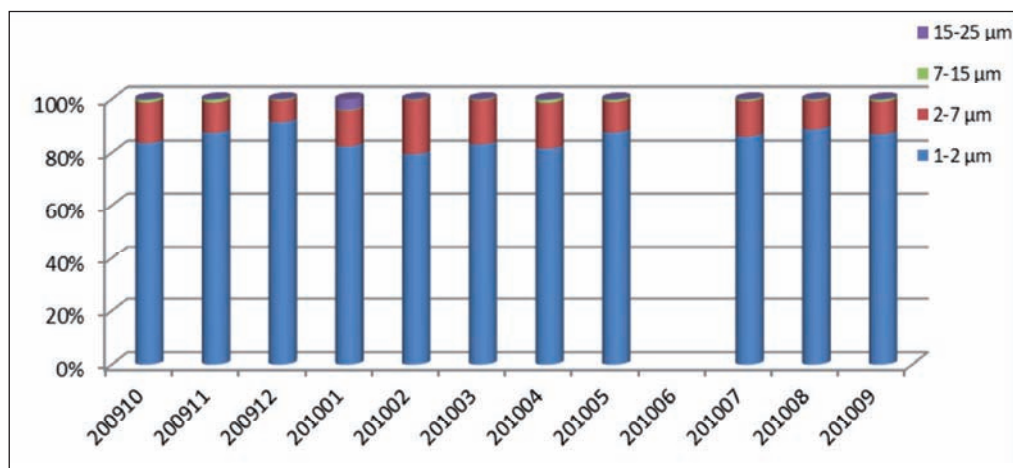
6.2 Dricksvatten

Partikelhalterna i dricksvattnet är oberoende av råvattnets partikelhalter. I figur 6.3 redovisas partikelhaltsmätningar för dricksvattnet under perioden oktober 2009 till september 2010. Mätningar saknas från juni månad 2010 på grund av service av P-300. Fig 6.3 visar månadsmedelvärden för fraktionerna 1–2 µm, 2–7 µm, 7–15 µm och 15–25 µm. Partikelhalter i dricksvatten varierar tydligt med säsongen. Under hösten 2009 är halterna låga för att stiga vintertid med högsta månadsmedelvärde under februari månad 2010. Under våren faller halterna ned för att minska ytterligare under sommaren. Dock når inte värdena 2010 ned till de lägsta värdena för 2009.



Figur 6.3 Totalantal partiklar som månadsmedelvärde för den studerade perioden.

I Fig 6.4 redovisas hur den procentuella fraktionen av partiklar varierar i dricksvattnet redovisat som månadsvisa medelvärden. Av Fig 6.4 framgår att vissa variationer förekommer under året men att den minsta fraktionen 1-2 µm dominerar och svarar för drygt 85% av samtliga partiklar hela perioden. Den för råvattnet uppmätta förändringen under sommarmånaderna juli och augusti 2010 återfinns inte alls i dricksvattnet, vilket kan tolkas som att beredningsprocesserna klarar av högre partikelhalter, åtminstone sommartid.



Figur 6.4 Procentuell fraktion av partiklar för de studerade månaderna, redovisat som månadsmedelvärden.

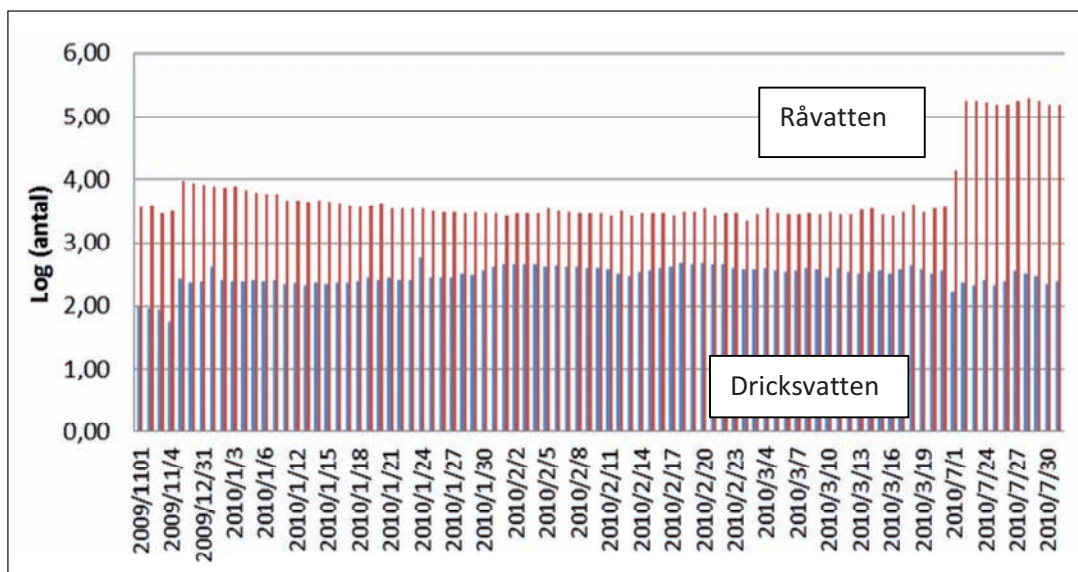
När dygnsvisa medelvärden av de olika partikelfraktionerna korreleras mot varandra (se Tabell 6.2) framgår att regressionskoefficienterna varierar för de olika storleksfraktionerna. En viss korrelation föreligger mellan partikelfractionen 1-2 µm och 2-7 µm, medan de större fraktionerna, vilka föreligger i låga halter, inte samvarierar alls med den minsta fraktionen.

Tabell 6.2 Korrelationsmatris för partikelfraktioner i dricksvatten för hela perioden (baserat på dygnsmedelvärden)

Korrelations-koefficient	1–2 µm	2–7 µm	7–15 µm	15–25 µm
1–2 µm	1			
2–7 µm	0,79	1		
7–15 µm	0,29	0,27	1	
15–25 µm	0,01	-0,01	-0,04	1

6.3 Log-reduktion

I processen kan i några fall partiklar tillkomma på grund av läckage eller mobilisering av mikroskopiska partiklar. Ovan har redovisats hur Livsmedelsverket uppmärksammar producenterna på risken för att t.ex. småpartiklar av kalk kan orsaka förhöjda partikelhalter i dricksvatten vid turbiditets- och partikelhaltsmätning. I vissa fall kan sådana partiklar dölja smittämnestransport. Även mobilisering av biohud från långsamfilter eller infiltrationsbädd kan i vissa fall orsaka förhöjda partikelvärden i dricksvatten. Dåligt fällt vatten eller vatten som inte fått sedimentera tillräckligt kan också leda till förhöjda halter partiklar. Vidare kan första filtrat från snabbfilter innehålla höga partikelhalter. Hänsyn till partikelpåverkan från processteg måste tas då statusen för en beredningsprocess bedöms. Men generellet kan partikelhaltsmätningar för råvatten och dricksvatten jämföras för att bestämma log-reduktionen över vattenverket. I Fig 6.5 redovisas den dygnsvisa logaritmiska summahalten av partiklar i råvatten och dricksvatten för mätperioden. Av Fig 6.5 framgår att log-reduktionen är minskar under vintermånaderna och ökar under den varma perioden. Den är som högst under sommarmånaderna juli och augusti. Av Fig 6.5 framgår också att renings-



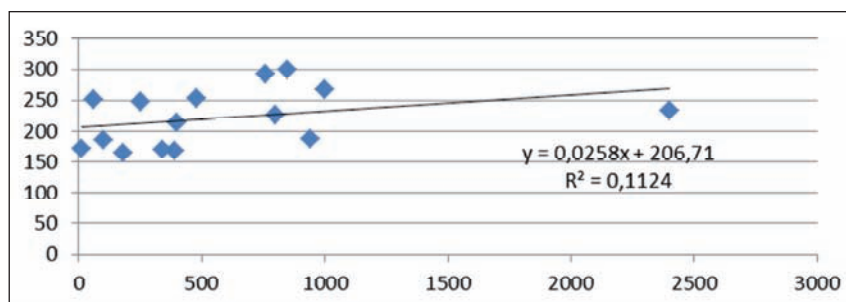
Figur 6.5 Logaritmiskt antal av dygnsmedelhalten partiklar i råvatten och dricksvatten i Borensbergs vattenverk för några av dagarna under den studerade perioden.

effekten över Borensbergs vattenverk var måttlig, det vill säga att snabbfilter och långsamfilter inte förmådde att avskilja mer än som högst knappt 3 log-reduktion, en period som inträffade då höga halter små partiklar förekom i råvattnet sommartid. Generellt var partikelavskiljningen måttlig i filtren, även långsamfiltren. Vid Borensbergs vattenverk sker ingen förfällning eller annan kemisk koagulering.

Partikelhalter varierar från vattenverk till vattenverk. Chowdhury (2003) redovisade vattenkvalitetsmätningar med avseende på partikelkoncentration och storleksfördelning inom intervallet 1–20 µm. I studien undersöktes för vattenverk från Karlskrona i söder till Luleå i norr. Ytvatten utan någon behandling i kombination med ett filter gav den lägsta avskiljningen av mikroskopiska partiklar inom intervall 1–20 µm. Ytvatten behandlat med kemisk fällning i kombination med två filter gav högre avskiljning av mikroskopiska partiklar inom intervall 1–20 µm än motsvarande process med ett filter. Av de partiklar som fanns i utgående dricksvatten var över 80 % i storleken 1–2 µm, med en partikelhalt varierande mellan 33–3 059 partiklar/ml.

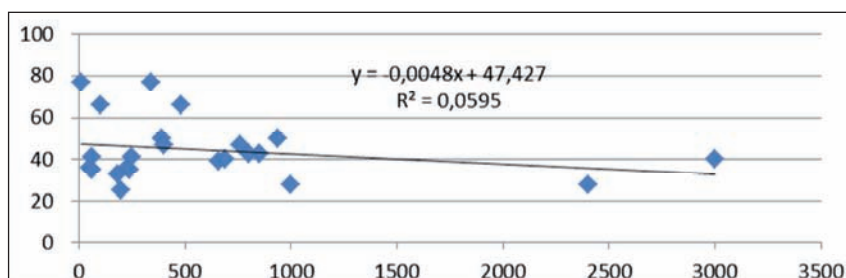
Som jämförelse kan också nämnas att dygnsmedelhalten partiklar i dricksvatten från vattenverket i Arboga var enligt Predect P-300:s mätare 50 st/ml under en mätperiod från 1 april till 1 september 2010. I Arboga vattenverk bereds råvatten från Hjälmarén till dricksvatten bland annat genom kemisk fällning i Dynasandfilter och långsamfiltrering. Under samma period var dygnsmedelhalten partiklar i dricksvatten från Borensbergs vattenverk 262 st/ml.

En viktig fråga för studien har varit om det är möjligt att följa eller helst förutsäga halten mikroorganismer genom att mäta partiklar. Svaret på denna fråga är nej. I figur 6.6 redovisas en korrelation mellan uppmätta totalantal mikroorganismer i råvatten och dygnsmedelvärdet för summahalten partiklar i dricksvatten för perioden juni-september 2010. I figur 6.7 redovisas hur bakterierhalten varierar med veckoflödet från Vättern. Eftersom korrelationerna inte är statistiskt säkerställda kan inga säkra slutsatser dras för proverna.



Figur 6.6

Förekomst av partiklar i dricksvatten som dygnsmedelvärde, som funktion av antalet mikroorganismer i råvatten för mätillfällena juni-september 2010. $R^2 = 0,1$. Korrelationer lägre än 0,6 är inte statistiskt säkerställda.



Figur 6.7

Tappningen från Vättern (i veckomedelflöde, m³/s) som funktion av antalet mikroorganismer i råvatten för mätillfällena juni – september 2010. $R^2 = 0,06$. Korrelationer lägre än 0,6 är inte statistiskt säkerställda.

Råvattnets pH har varit stabilt under hela perioden och ligger inom intervallet 7,8 till 8,0. Temperaturen har varierat från nära 0 till 21° C. Det finns ingen koppling mellan partikelhalt och temperatur, utöver att log-reduktionen i vattenverket är högst sommartid.

Vid test av den automatiska provtagningen på plats sänktes tröskelvärde till 200 partiklar/ml för utgående dricksvatten. Omedelbart larmade P-300 för överskridande av larmgräns och ett prov uttogas i provflaskan. Provtagningen fungerade och larmet sändes till operatörens GSM-telefon.

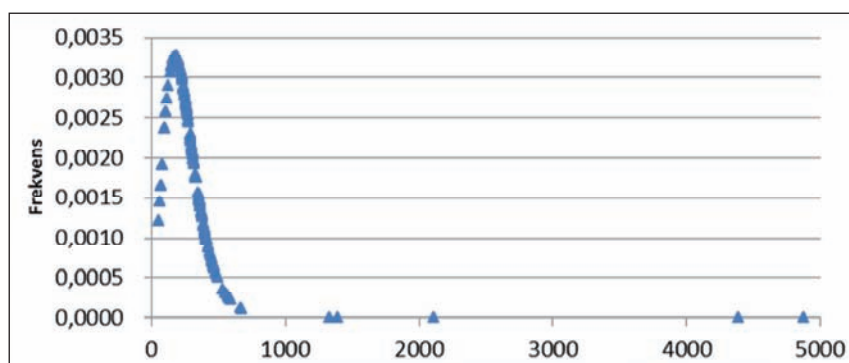
6.4 Val av rätt tröskelvärde för larm

Grundidén med Predects teknik är att vattenprover skall tas ut automatiskt vid befarad smittspridning. Tröskelvärde för befarad smittspridning, när vattnet är onormalt partikelhaltigt, behöver därför definieras. Baserat på den stora mängd data som samlats in i denna studie går det att generalisera något om vad som kan tänkas vara onormala värden, värden då den automatiska provtagningen borde aktiveras. En förhöjd partikelhalt måste inte nödvändigtvis innebära förhöjd smittorisk. Dock ökar den grundläggande risken för smittspridning med ökande partikelhalt i samma vatten. Det är däremot inte möjligt att jämföra olika vattens partikelhalter (se exempelvis jämförelsen ovan mellan Arboga och Borensberg). Hur väljs då rätt tröskelvärde för larm?

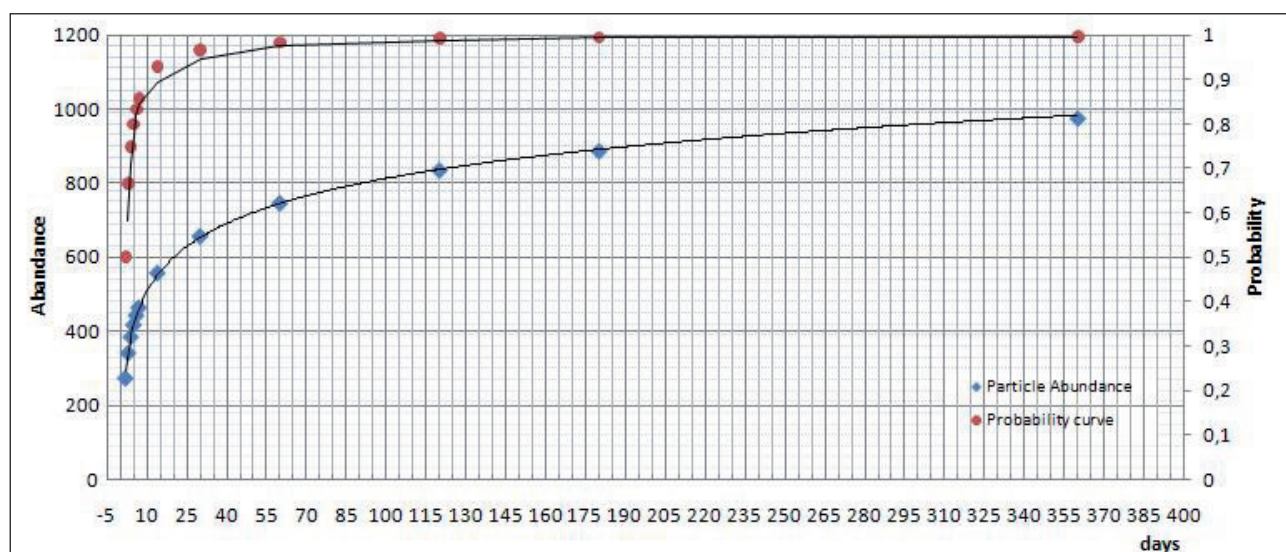
Vårt förslag till förhållningssätt är att använda metodik från generaliserade extremvärdesanalys (GEV). Vi antar att Gumbelfördelningen kan tillämpas. Den försöker modellera sannolikheten att ett extremvärde inträffar utifrån mätdata om maximivärden för ett fysikaliskt förhållande. Härvid har vi antagit att ursprungsmätdata för antal partiklar sannolikt är normalfördelat eller exponentiellt fördelat. För mera detaljerad härledning och analys hänvisas till Gumbel (1954). Maximivärdet av antalet partiklar i storleksfraktionen 1–2 µm sammanställs för utgående dricksvatten under samtliga dygn som registrerats under försöksperioden. Därefter summeras frekvensen av dessa dygnsvisa maximivärden och en frekvenskurva tas fram, vilken redovisas i Figur 6.8. Med hjälp av Gumpelteori kan då sannolikheten beräknas för att ett visst partikelantalsvärde påträffas i dricksvattnet. Resultatet av denna beräkning redovisas i Figur 6.9, med återkomsttiden och motsvarande partikelantal redovisat. Ur Figur 6.9 framgår så att för Borensbergs vattenverk, enligt Gumpel, är sannolikheten 100% av det någon gång under året kommer att förekomma ett dygn med 980 partiklar i dricksvattnet i fraktionen 1–2 µm.

För att ta fram Figur 6.7 och 6.8 har följande analys gjorts. Först tas varje dygns maxvärde fram för partikelfraktionen 1–2 µm. Därefter anpassas denna kurva numeriskt till en Gumbelfördelning varvid formparameter (ζ), skalparameter (σ) och platsparameter (μ) beräknats. Parametrarna för form, storlek och placering är respektive 0,29, 112 och 178.

Chansen/risken att maximivärdet för antalet partiklar 1–2 µm per dygn överstiger 700 är 0,02 vilket statistiskt har en återkomsttid på 60 dygn. Enkelt uttryckt kommer ett val av tröskelvärde på 700 partiklar i dricksvattnet i fraktionen 1–2 µm att innebära att det tas automatiskt prov på vattnet



Figur 6.8 Frekvens av maximistorleken per dygn för partiklar i fraktionen 1–2 µm i utgående dricksvatten från Borensbergs vattenverk under försöksperioden.



Figur 6.9 Sannolikhetsfördelning och återkomsttid enligt Gumbelfördelning för antal partiklar i fraktionen 1–2 µm i utgående dricksvatten från Borensbergs vattenverk under försöksperioden.

varannan månad (vart 60:e dygn). Men det finns också en säsongsmässig variation i hur ofta maxiantalet partiklar återkommer. Under våren är halterna i dricksvattnet generellt högre, och under algbloomingen på sommaren likaså. Kanske behöver därför tröskelvärden ändras med säsongen för att följa med ändrad riskbild för dricksvattnet. Underhållsåtgärder som exempelvis skumning av ett långsamfilter kan också öka risken för förhöjda partikelhalter. Väljs ett lågt partikelhaltsvärde kommer fler automatprover att tas, statistiskt sett. Ju högre partikelkoncentrationen, desto större risk för mikrobiologisk förorening.

7 Slutsatser

1. Det är fullt möjligt att följa partikelvariationer i realtid för alla fraktioner från 1 till 25 μm .
2. Larm och provtagning kan skötas automatiskt med P-300 anläggningen.
3. Provtagning kan ske i nära steril miljö (men inte helt) för provvolymen upp till 500 ml.
4. Det finns inget samband mellan partikelhalt i råvatten och dricksvatten.
5. Det finns en antydning till koppling mellan antalet partiklar i dricksvatten och CFU/ml i råvatten, som inte är statistiskt säkerställt.
6. Ökande partikelhalter indikerar ökad risk för mikrobiell kontaminering, men partiklar är inte lika med mikroorganismer.
7. Korrekt val av tröskelvärde/larmgräns när automatprov skall tas vid förhöjd partikelhalt kan göras efter en inkörningsperiod för aktuellt vattenverk, men detta värde kan behöva ändras beroende på årtid.
8. Erfarenheterna från Arboga visar att det går att minska partikelhalterna i dricksvatten genom optimering av driften.
9. Den genomsnittliga log-reduktion av antalet partiklar i Borenbergs vattenverk är 1,05. Reduktionen är högst när antalet partiklar är högst i råvattnet. Det finns en förbättringspotential för vattenverket. Partikelhaltsmätarna är känsliga för igensättning av grövre material. Någon form av effektiv förfiltrering behöver göra om driften av mätarna skall kunna genomföras säkert.

8 Referenser

- J. H. Ahn & S. B. Grant: *Size Distribution, Sources, and Seasonality of Suspended Particles in Southern California Marine Bathing Waters*, Environ. Sci. Technol. 2007, 41, 695–702.
- Jean-Luc T. Bernier, Andree F. Maheux, Maurice Boissinot, Francois J. Picard, Luc Bissonnette, Daniel Martin, Eric Dewailly och Michel G. Bergeron: *Onsite Microbiological Quality Monitoring of Raw Source Water in Cree Community of Mistissini*, Water Qual. Res. J. Can. 2009, 44, 345–354
- J. D. Brookes, M. R. Hipsey, M.D. Burch, R.H. Regel, L.G. Linden, C.M. Ferguson och J.P. Antenucci: *Relative value of surrogate indicators for detecting pathogens in lakes and reservoirs*, Environ. Sci. Technol. 2005, 39, 8614–8621
- A. Chavez, B. Jimenez och C. Maya: *Particle size distribution as a useful tool for microbial Detection*, Engineering Institute. Group: Treatment and Reuse, UNAM. Ciudad Universitaria, Water Science and Technology, 2004, 50, 179–186, IWA Publishing 2004
- M.W. LeChevallier och W.D. Norton: *Examining relationships between particle counts and Giardia, Cryptosporidium and turbidity*, 1992, JAWWA. 84 (12). 54–62.
- Sudhir Chowdhury: *Partikelmätning– ett nytt sätt att kontrollera vattenkvalitet*, VA - FORSKRAPPORT Nr 2003-48, 2003
- Annika Ekvall: *Utbrott av calicivirus i Lilla Edet – händelseförlopp och lärdomar*. Svenskt vatten utveckling, Rapport Nr 2010–13.
http://vav.griffel.net/filer/Rapport_2010-13.pdf (tillgänglig 2011-06-06)
- E.J. Gumbel: *Statistical theory of extreme values and some practical applications*. Applied mathematics series 33. U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1954
- S. Hatukai. Y. Ben-Tzur och M. Rebhun: *Particle Counts and Size Distribution in System Design for Removal of Turbidity by Granular Deep Bed Filtration*, Water Science and Technology 1997, 36, 225–230
- JIS B 9925:1997 (E). okt. 1998: *Light Scattering Automatic Counting for Liquid*, Japanese Industrial Standard. Japanese Standards Association, first English edition.
- Torbjörn Lindberg och Roland Lindqvist: Riskprofil. *Dricksvatten och mikrobiologiska risker*, Livsmedelsverkets rapporter, 28-2005.
http://www.slv.se/upload/dokument/rapporter/dricksvatten/dricksvatten-rapp_05/2005_28_Livsmedelsverket_Dricksvatten_och_mikrobiologiska_risker.pdf (tillgänglig 2011-06-06).
- Andreas Lindhe: *Risk Assessment and Decision Support for Managing Drinking Water Systems*. Göteborg: Chalmers University of Technology. Diss. (Doktorsavhandlingar vid Chalmers tekniska högskola. Ny serie; 3119)

Michiel Pronk, Nico Goldscheider och Jakob Zopfi: *Particle-Size Distribution As Indicator for Fecal Bacteria Contamination of Drinking Water from Karst Springs*, Environ. Sci. Technol. 2007, 41, 8400–8405

Therese Westrell: *Microbial risk assessment and its implications for risk management in urban water systems*. Avhandling 304, Linköpings universitet 2004

Vägledning till Livsmedelsverkets föreskrifter (SLVFS 2001:30) om dricksvatten

Appendix 1

Råvattendata från Borens vatten

Datum	Temp, °C	Syrehalt (mg/l)	Syremätt- nad, %	pH	Kond, mS/m	Alk, mekv/l	NH ₄ -N, ug/l	NO _{2,3} -N, ug/l	Total-N, ug/l	Tot-P, ug/l	Abs, 420 nm, filt	Turb, FNU	TOC, mg/l
2009-01-21	0,8	13,2	94	7,8	16	0,62	52	610	810	<5	0,009	0,5	2,9
2009-02-20	1,4	12,1	86	7,8	14	0,6	75	770	700	<5	0,01	0,24	2,9
2009-03-17	2,3	13,9	101	7,9	16	0,53	24	530	800	<5	0,01	0,61	3
2009-04-16	5,8	12,8	102	7,8	15	0,6	22	520	650	<5	0,016	0,49	3
2009-05-19	13	9,6	91	7,9	15	0,64	25	340	550	13	0,012	0,73	3,5
2009-06-12	14,3	9,6	94	8	15	0,61	24	270	470	6	0,008	1	3,7
2009-07-10	20,5	9,9	110	8	15	0,61	16	160	490	8	0,016	0,6	3,9
2009-08-19	14,6	8,7	86	7,9	16	0,67	36	110	250	26	0,02	1,3	4,4
2009-09-21	15,5	9,7	97	8	15	0,66	10	170	380	5	0,11	0,55	3,8
2009-10-21	5,4	11,7	93	7,9	16	0,63	14	290	530	7	0,014	0,93	3
2009-11-19	5,5	11,5	91	7,9	14	0,63	28	460	470	11	0,027	0,53	3,9
2009-12-14	1,1	12	85	7,9	15	0,69	63	620	840	8	0,011	0,79	2,8
Min 2009	0,8	8,7	85	7,8	14	0,53	10	110	250	<5	0,008	0,24	2,8
Medel 2009	8,5	11,2	94		15,2	0,62	32,4	404	578	7,8	0,013	0,69	3,4
Median 2009	5,7	11,6	94	7,9	15	0,63	24,5	400	540	6,5	0,012	0,61	3,3
Max 2009	20,5	13,9	110	8	16	0,69	75	770	840	26	0,027	1,3	4,4
Medel 2008	9,3	10,4	100		15	0,65	11	504	692	7,5	0,013	1,48	3,3
Medel 2007	9,2				15	0,64	13	528	754	5,3	0,022	1,16	3,1
Medel 2006	10				16	0,65	24	524	724	6,9	0,015	2	2,9



Box 47607, 117 94 Stockholm

Tel 08 506 002 00

Fax 08 506 002 10

E-post svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se