

Sandfiltrering som kvalitetsförbättrare av dricksvatten i Amazonas

Sand filtration for quality improvement
of drinking water in the Amazon area

Sara Andersson

REFERAT

Sandfiltrering som kvalitetsförbättrare av dricksvatten i Amazonas

Sara Andersson

Syftet med detta examensarbete var att studera effektiviteten av sandfiltrering för rening av dricksvatten i området kring Amazonfloden i Sydamerika. Projektet utfördes vid gränsen, som utgörs av floden, mellan Colombia och Peru. Syftet var också att utvärdera den vattenreningsanläggning som 2005 uppfördes och nu används i byn Puerto Triunfo, Colombia.

Inför fältstudierna i projektet genomfördes en litteraturstudie rörande sandfiltrering. Företag som arbetar med sandfiltrering som reningsmetod i Sverige kontaktades och diskussioner med organisationen Ankarstiftelsen, som är ansvariga för projektet, hölls. Även ett studiebesök på ett vattenverk i Sverige har genomförts. På plats i Amazonas gjordes först en inventering av möjliga platser för genomförandet av projektet och ett antal byar valdes ut för uppförande av sandfilterprototyper.

De fysikaliska, kemiska och bakteriella vattenanalyserna för detta projekt utfördes i stor utsträckning av företaget Rio Gaseosa i Leticia, Colombia. Vissa analyser gjordes också med hjälp av så kallade hemmatester från företaget Grip Consulting i Sverige. De fysikalisk-kemiska parametrar som analyserades var färg, turbiditet, pH, fettsyror, klor, nitrit, nitrat, alkalinitet, kalciumkarbonat och järn. Mikrobiologiska parametrar som kontrollerades var förekomst av mesofila bakterier, koliforma bakterier samt fekala koliforma bakterier. Även undersökningar av förekomst av bakteriekolonier på en odlad agarplatta gjordes.

Puerto Alegria, Peru, samt Boyahuasu och Puerto Rico, Colombia, är alla byar som ligger längs Amazonfloden. Byarna har 150-250 invånare. Under regnperioder samlar invånarna i byarna regnvatten i stora plasttunnor i syfte att dricka och använda detta i matlagning. Under de torra sommarmånaderna tvingas dock befolkningen ibland att dricka vatten direkt från floden. Det smutsiga och kontaminerade flodvattnet är troligen en stor bidragande orsak till att stora delar av befolkningen under perioder lider av magåkommor och andra hälsoproblem.

Hösten 2005 genomfördes ett vattenreningsprojekt i byn Puerto Triunfo, Colombia. Pilotanläggningen som uppfördes i byn har tre huvudsakliga processer; flockulering, sedimentering och sandfiltrering. Anläggningen renar 1 000 liter vatten om dagen om den sköts korrekt och vattnet som ska renas tas från den biflod till Amazonfloden vid vilken Puerto Triunfo ligger. Användningen av kemikalier vid vattenreningen, samt den relativt stora arbetsinsats som dock krävs för att anläggningen i Puerto Triunfo ska fungera bra, har gjort det önskvärt att hitta en enklare metod för framställning av dricksvatten. Sandfiltrering är en pålitlig och beprövad metod som också var värd att undersöka i Amazonas.

Detta projekt resulterade i tre sandfiltreringsanläggningar i byarna Puerto Alegria, Boyahuasu och Puerto Rico. Anläggningarna renar mellan 500 och 1 000 liter vatten per körning, och vatten till de olika anläggningarna tas både från en brunn och från bifloder till Amazonfloden. Analyser som gjorts på vattnet från de olika anläggningarna visar en markant förbättring av färg, lukt och smak på vattnet. Även en viss reduktion av bakteriehalten har påvisats vid korrekt skötsel. Anläggningarna kommer även fortsättningsvis att följas upp av Ankarstiftelsen, och om vattenkvaliteten förblir förbättrad efter rening kan en diskussion om fler liknande anläggningar komma att hållas.

Nyckelord

Dricksvatten, vattenrening, ytvatten, utvecklingsländer, Amazonasområdet, sandfiltrering.

Evolutionsbiologiskt Centrum, Uppsala Universitet, Norbyvägen 18, 752 36 Uppsala
ISSN 1401-5765

ABSTRACT

Sand filtration for quality improvement of drinking water in the Amazon area

Sara Andersson

The aim of this thesis was to study the effects of sand filtration as a method for drinking water treatment in the area of the Amazon River in South America. The project was performed on the border, which constitutes of the river, between Colombia and Peru. The aim was also to evaluate the water treatment plant which 2005 was built and now is in use in the community of Puerto Triunfo, Colombia.

Before the fieldwork of this project a literature study concerning sand filtration was made. Companies working with sand filtration as treatment method in Sweden were contacted and discussions with the organisation Ankarstiftelsen, which is responsible for the project, were held. Also a study visit to a water treatment plant in Sweden has been made. On spot in Amazonas a first inventory regarding possible sites for the project was made and a number of communities were chosen to be the places for the building of sand filtration prototypes.

The physical, chemical and bacterial analyses of the water were to a great extent made by the company Rio Gaseosa in Leticia, Colombia. Some analyses were also made with home tests from the company Grip Consulting in Sweden. Physical-chemical parameters analysed were colour, turbidity, pH, fatty acids, chloride, nitrates, nitrites, alkalinity, carbonise and iron. The micro biological parameters to be checked were occurrence of mesophilic spore, coliforms total and fecal coliforms. Occurrence of bacteria colonies in cultivation was also examined.

Puerto Alegria in Peru and Boyahuasu and Puerto Rico in Colombia are all communities situated along the Amazon River. The villages have 150-200 inhabitants. During rain seasons the population collects rainwater in big plastic barrels by the houses for drinking and cooking purposes. During the dry summer months, though, the people are at times forced to drink water directly from the river. The dirty and contaminated river water most likely contributes to the stomach diseases and other health problems that the inhabitants at times suffer from.

In the fall of 2005 a water treatment project was made in the village of Puerto Triunfo, Colombia. The pilot plant that was built in the community has three main processes: flocculation, sedimentation and sand filtration. The plant treats 1 000 litres of water every day if maintained correctly and the water to be treated is taken from a tributary to the Amazon River. The use of chemicals, though, and the fact that a big effort is needed to maintain the plant in Puerto Triunfo has made it desirable to find an easier way to produce drinking water. Sand filtration is a reliable and tested method worth trying in Amazonas.

The results of this study finally became three water treatment plants with sand filtration in the communities of Puerto Alegria, Boyahuasu and Puerto Rico. The treatment plants treats between 500 and 1 000 litres of water in each run, and water to the different plants is taken both from a well and from tributaries to the Amazon River. The analyses made of the water from the different treatment plants show a notable improvement in colour, smell and taste. Also a certain reduction in the amount of bacteria has been proven when the plant is correctly maintained. The treatment plants will continuously be controlled by Ankarstiftelsen and if the water quality remains good, discussions concerning more similar plants could be held.

Key words

Drinking water, water treatment, surface water, developing countries, the Amazon area, sand filtration.

RESUMEN

Filtración de arena para mejorar la calidad del agua potable en el Amazonas

Sara Andersson

El objetivo de este proyecto fue estudiar la efectividad de filtración de arenas para el agua potable en la Región del Amazonas en América del Sur. El proyecto fue realizado en la frontera entre Colombia y Perú. El objetivo también fue evaluar la planta de tratamiento de aguas que 2005 fue construido y está en uso en la comunidad de Puerto Triunfo, Colombia.

Antes de comenzar con el trabajo, se realizó un estudio de la documentación existente en cuanto a los procesos de filtración de agua con arena. Se hizo contacto con compañías que trabajaron con la filtración de agua con arena como el método de tratamiento. Discusiones con la organización Ankarstiftelsen, que es responsable del proyecto, fueron llevadas a cabo. También se realizó una visita a una planta de tratamiento de aguas en Suecia. Puntualmente en Amazonas se realizó un estudio para establecer los sitios posibles para el proyecto y un número definido de comunidades se eligieron para ser anfitriones para el edificio prototipo de tratamiento de agua filtrada con arena.

Los análisis físicos, químicos y bacterianos del agua para este proyecto fueron hechos sobre todo por la compañía Río Gaseosa en Leticia, Colombia. Parámetros analizados fueron color, turbiedad, pH, cloruro, nitratos, nitritos, alcalinidad, carbón carbonoso y hierro. También fueron controlados parámetros microbiológicos, tales como mesófilos, coliformo total y coliformos fecales. Ocurrencia de colonias de bacterias en cultivación fue examinada.

Puerto Alegria en Peru, Boyahuasu y Puerto Rico en Colombia, son comunidades situadas a través del Río Amazonas. Las comunidades tienen entre 150 y 200 habitantes. Durante las épocas de lluvia los habitantes recogen agua de lluvia para beber y cocinar, pero durante los períodos de sequía la gente se ve obligada a tomar agua directamente del Río, lo cual causa enfermedades estomacales y otros problemas de salud.

A finales del año 2005 un proyecto de tratamiento de aguas fue realizado en la comunidad de Puerto Triunfo, Colombia. Una planta piloto fue construida en la comunidad. Esta tiene tres procesos principales: floculación, sedimentación y filtración de arenas. La planta limpia 1000 litros de agua cada día, si es mantenida correctamente. El agua es recogida de un riachuelo en la aldea. Pero el uso de químicos y la cantidad de esfuerzo que es necesario para mantener la planta en Puerto Triunfo ha hecho deseable encontrar una manera más fácil de producir agua. La filtración con arena es un método probado que valió la pena intentar en el Amazonas.

Los resultados del estudio se convirtieron en tres plantas de tratamiento de agua en los lugares de Puerto Alegria, Boyahuasu y Puerto Rico. Las plantas limpian entre 500 y 1 000 litros de agua cada vez, si es mantenida correctamente. El agua para tratamiento es recogida de un pozo y de los riachuelos al Río Amazonas. Los resultados de agua tratada se mostraron una mejora notable, especialmente en la claridad, en olor y en sabor del agua. También cierta reducción en la cantidad de bacterias se ha probado cuando la planta es mantenida correctamente. Las plantas de tratamiento de aguas serán analizadas constantemente por Ankarstiftelsen y si la calidad de agua sigue siendo buena, discusiones de más plantas similares podrían ser llevadas a cabo.

Palabras clave

Agua potable, agua limpia, agua de superficie, país en desarrollo, área de Amazonas, filtración de arena.

FÖRORD

Detta examensarbete har utförts i Amazonas, Colombia, för organisationen Ankarstiftelsen som har sitt säte i Mölltorp, Sverige. Handledare för projektet har Börje Erdtman, grundare och ordförande för Ankarstiftelsen, varit och Anna-Kristina Brunberg, forskare vid evolutionsbiologiskt centrum i Uppsala, har varit ämnesgranskare.

Jag skulle vilja rikta ett stort tack till Börje Erdtman, som har varit en fantastisk handledare. Vistelsen i Colombia, och möjligheten att faktiskt göra idé och tanke till verklighet, hade inte på något sätt varit möjligt utan Börje. Med sin stora entusiasm, sina goda råd och sin unika kunskap om Amazonas, människorna och livet där, har han varit en ovärderlig tillgång.

Ett stort tack också till Anna-Kristina Brunberg, som alltid har ställt upp och, ofta med kort varsel, läst igenom mina halvfärdiga utkast och kommit med goda råd.

Håkan Eng, Tekniska Verken i Linköping, och Jan-Åke Ledel, Mark- och Vatten i Växjö, gav mig mycket god information om hur vattenrening fungerar i Sverige, och kom även med egna idéer och tankar om vattenreningsmöjligheterna i Amazonas. Era åsikter värderas högt!

Tack också till Carlos och Leydy Gomez Lopez i Leticia för mat, husrum och tvättmöjligheter under min vistelse i Colombia, och till Alonso Castro och Manuel Garrido för gott samarbete och nära vänskap på våra strapatser vid floden!

Till slut vill jag tacka Katarina Erlandsson, min härliga vän och vattenreningskollega i Colombia, för att du alltid ställer upp! Utan dig skulle inget av detta varit verklighet.

Rotvik, maj 2008

Sara Andersson

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Rent dricksvatten är en självklarhet för de flesta människor i västvärlden och är en av de viktigaste faktorerna för hälsa och överlevnad. Många människor världen över saknar dock denna grundläggande och livsviktiga resurs. Vattenresurserna runt om i världen smutsas ständigt ner av mänsklig aktivitet och ofta innehåller vattnet även bakterier och parasiter som ger hälso-problemen. Enligt världshälsoorganisationen, WHO, beror 80 % av alla sjukdomar i världen direkt eller indirekt på bristfälligt vatten eller dålig hygien och sanitet. Varje dag dör 6 000 barn av diarré och andra sjukdomar orsakade av brist på vatten och sanitet – det motsvarar ett barn var 15:e sekund. Det vatten som används som dricksvatten idag är nästan uteslutande sötvatten. För att vattnet ska kunna drickas måste det dock i stort sett alltid först behandlas.

Det råder ingen brist på vatten i världen, men vattenresurserna är mycket ojämnt fördelade. Vissa grupper har mindre tillgång till vatten och tvingas samtidigt betala mer än andra. En genomsnittlig person i ett utvecklingsland använder ca 10 liter vatten om dagen – en genomsnittlig person i Storbritannien använder ca 135 liter vatten per dag. Rent dricksvatten är alltså bara en önskedröm för miljoner människor runt om i världen som lider av magåkommor, diarréer och andra hälsobesvär till följd av bristen på rent vatten.

Amazonfloden i Sydamerika är världens mest vattenrika flod och är med sina 7 025 kilometer en av världens två längsta floder. Närmare en femtedel av världens sötvatten beräknas finnas i avrinningsområdet. Flodens karaktär varierar kraftigt under året, bara vattennivå fluktuerar med upp till 15 meter i skillnad! Det stora tropiska djungelområdet kring floden kallas för Amazonas. Området är en stor skogsslätt med tropiskt klimat, som har stora översvämningar under delar av året. Regnskogen har två huvudsakliga perioder, regn- och torrperiod. Under regnsäsongen kommer det kraftiga regnskurar, medan den torra säsongen vanligen är solig, eventuellt med någon regnskur på eftermiddagen. De flesta områdena i Amazonas får 2 000-3 000 millimeter regn per år, och medeltemperaturen ligger kring 26°C året runt.

Trots den enorma mängd vatten som finns i Amazonas så råder det stor brist på rent dricksvatten i området. I byarna längs floden är den vanligaste vattenförsörjningen regnvatten. Regnvattnet samlas i stora tunnor som står vid husväggen. Detta vatten är någorlunda rent, men kan lätt kontamineras av smuts som rinner med ner från taken eller insekter och bakterier som når den öppna tunnan. Ofta dricker även djur från samma tunna. Under torrperioderna tas istället dricksvattnet direkt från floden. Om byn ligger en bit in i djungeln kan vattnet vara något renare att dricka då trafiken och aktiviteten på floden är mer begränsad där. Oftast tas dock vatten från smutsiga vattendrag, i brist på annat. Befolkningen i de flesta byar lider av svåra magåkommor, med kräkningar och diarréer, som orsakas av vattnet från floden. Många byar i området ligger också på platser där dricksvatten av olika anledningar inte kan tillgodoses med hjälp av borrade brunnar.

Detta examensarbete utfördes vid gränsen mellan södra Colombia och norra Peru, där Amazonfloden flyter. Syftet med projektet var att studera sandfiltrering som en alternativ reningsmetod för dricksvatten i området. Projektet har utförts i samarbete med en svensk organisation, Ankarstiftelsen, som bedriver biståndsverksamhet i Sydamerika.

Tre byar i området, Puerto Alegria i Peru samt Boyahuasu och Puerto Rico i Colombia valdes ut som platser för tre pilotanläggningar. Alla byarna har mellan 150 och 250 invånare. Sandfilteranläggningar i olika skala byggdes upp i dessa byar. Anläggningarna renar mellan 500 och 1 000 liter vatten per körning, och vatten till de olika anläggningarna tas både från en brunn och från bifloder till Amazonfloden.

Olika vattenanalyser, både fysikaliska, kemiska och bakteriella, utfördes på vattnet från pilotanläggningarna. Analyserna utfördes bland annat med hjälp av företaget Rio Gaseosa som ligger i staden Leticia i Colombia. Vissa analyser gjordes också med hjälp av så kallade hemmatester från företaget Grip Consulting i Sverige.

Testerna som gjordes på det filtrerade vattnet visar en tydlig förbättring av vattenkvaliteten, både avseende färg, lukt och smak. Även en minskning av bakteriemängden kunde konstateras vid korrekt skötsel.

Resultaten från denna studie kan förhoppningsvis leda till fortsatt tillgång på tjänligt dricksvatten i byarna Puerto Triunfo, Puerto Alegria, Boyahuasu och Puerto Rico i Colombia, och utöka förståelsen för vikten av rent vatten. Anläggningarna kommer även fortsättningsvis att följas upp av Ankarstiftelsen och om funktionen är fortsatt god kommer en diskussion om fler liknande anläggningar att hållas.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

REFERAT	I
ABSTRACT	II
RESUMEN	III
FÖRORD	IV
POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING	V
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	VII
1 INLEDNING	1
1.1 BAKGRUND	2
1.1.1 Colombia	2
1.1.2 Amazonas – floden och området	3
1.1.3 Dricksvattensituationen i Amazonas	4
1.1.4 Ankarstiftelsen	4
1.1.5 Minor Field Study, Amazonas 2005	5
1.2 PROBLEMFORMULERING	5
1.3 SYFTE	6
1.4 AVGRÄNSNINGAR	6
2 METODER	7
2.1 LITTERATURSTUDIER	7
2.2 STUDIEBESÖK	7
2.3 FÄLTSTUDIER	7
2.3.1 Puerto Alegria	8
2.3.2 Boyahuasu	8
2.3.3 Puerto Rico	8
2.3.4 Esaias	8
2.4 VATTENKVALITETSSTUDIER	8
2.5 LITTERATURSTUDIE	9
2.6 UTVÄRDERING AV PILOTANLÄGGNING FRÅN MFS-PROJEKT	9
3 DRICKSVATTEN I TEORIN	10
3.1 ÄMNEN I VATTEN	10
3.1.1 Syrgas	10
3.1.2 Fluor	10
3.1.3 Kväve	11
3.1.4 Totalhårdhet	11
3.1.5 Järn och mangan	12
3.1.6 Aggressiv kolsyra, CO ²	12
3.1.7 Arsenik	12
3.2 MIKROORGANISMER OCH SMITTOÄMNEN I VATTEN	12
3.2.1 Vattenburna sjukdomar	13
3.2.2 Vattenbaserade sjukdomar	14
3.2.3 Insektsöverförda, vattenrelaterade sjukdomar	15
3.2.4 Vattenbristsjukdomar	15
3.3 KRAV PÅ VATTEN	15
4 SANDFILTREERING I TEORIN	17
4.1 LÅNGSAMFILTER	18
4.1.1 Konstruktion	19
4.1.2 Funktion	19

4.2 SNABBFILTER	21
4.2.1 Konstruktion.....	21
4.2.2 Funktion	21
4.3 UNDERHÅLL.....	22
5 RESULTAT	25
5.1 STUDIEBESÖK.....	25
5.2 FÄLTSTUDIER	27
5.2.1 Puerto Alegria	27
5.2.2 Boyahuasu	29
5.2.3 Puerto Rico.....	30
5.2.4 Esaias	31
5.3 VATTENKVALITETSSTUDIER.....	32
5.3.1 Puerto Alegria	34
5.3.2 Puerto Rico.....	36
5.3.3 Boyahuasu	36
5.3.4 Esaias	37
5.3.5 Puerto Triunfo.....	37
6 DISKUSSION.....	41
6.1 UTVÄRDERING AV PILOTANLÄGGNING FRÅN MFS-PROJEKT	44
7 SLUTSATSER.....	46
REFERENSER.....	47
BILAGOR	49
BILAGA 1. INSTRUKTIONER PÅ ENGELSKA FÖR SANDFILTRETERINGSANLÄGGNINGEN I PUERTO ALEGRIA.	50
BILAGA 2. INSTRUKTIONER PÅ SPANSKA FÖR SANDFILTRETERINGSANLÄGGNINGEN I PUERTO ALEGRIA.....	54

1 INLEDNING

Rent dricksvatten är en självklarhet för de flesta människor i västvärlden och är en av de viktigaste faktorerna för hälsa och överlevnad. Många människor världen över saknar dock denna grundläggande och livsviktiga resurs. Både grund- och ytvattenresurser runt om i världen kontamineras och smutsas ständigt ner av mänsklig aktivitet och ofta innehåller vattnet även bakterier och parasiter som bidrar till hälsoproblemen. Enligt världshälsoorganisationen, WHO, beror 80 % av alla sjukdomar i världen direkt eller indirekt på bristfälligt vatten eller dålig hygien och sanitet (Agawal, m.fl., 1981). Detta inkluderar både effekterna av att dricka kontaminerat vatten, att utföra vardagssysslor, såsom att diska och tvätta, i smutsigt vatten samt bristen på hygien. Varje år dör 1,8 miljoner barn av diarré och andra sjukdomar orsakade av brist på vatten och sanitet (Human Development Report, 2006).

Av jordklotets yta är 71 % hav och 29 % kontinenter (Nordström, 1983). 98 % av vattnet i världen är salt och endast 2 % är sötvatten. Det allra mesta av detta finns bundet som is vid polerna och i glaciärer, och det sötvatten som återstår, och som finns i sjöar, floder och som grundvatten, är alltså en väldigt liten del av allt vatten i vår värld (HOH Vattenteknik, 2004). Det vatten som används till dricksvatten är till största delen sötvatten (HOH Vattenteknik, 2004). För att det ska kunna tjäna som livsmedel måste det behandlas på ett eller annat sätt. Under de senaste årtiondena har även miljövänliga metoder för avsaltning av den nära nog outtömliga resursen saltvatten utvecklats. Men den industriella utvecklingen och människans påverkan går snabbt framåt, och mängden tjänligt vatten som inte kräver någon större form av behandling minskar snabbt.

Det råder alltså ingen brist på vatten i världen, det finns mer än tillräckligt för både hushåll, jordbruk och industri. Vattenresurserna är dock mycket ojämnt fördelat och den globala vattenkrisen har snarare sin grund i fattigdom och skeva maktförhållanden än i faktisk avsaknad av vatten. Vissa grupper har mindre tillgång till vatten och tvingas samtidigt betala mer än andra. Idag betalar befolkningen i Jakarta och Nairobi mer för sitt vatten än invånarna i New York eller London (Human Development Report, 2006). Rent dricksvatten är alltså bara en önskedröm för miljoner människor runt om i världen som lider av magåkommor, diarréer och andra hälsobesvär till följd av bristen på rent vatten.

Det finns således stora behov att hitta enkla metoder och lösningar för dricksvattenförsörjning på många ställen i världen. Sandfiltrering är en naturlig, billig och ofarlig metod som ligger nära till hands och som har provats på många platser tidigare, bland annat i Nepal, se artikeln *Design for sustainable development – Household drinking water filter for arsenic and pathogen treatment in Nepal* (Ngai, m.fl., 2007). Där har man funnit att både patogeninnehåll och även arsenikhalt i vattnet har reducerats med över 85 % efter behandling. Även i artikeln *Reductions of E. coli, echovirus type 12 and bacteriophages in an intermittently operated household scale slow sand filter* (Elliott, m.fl., 2008) har sandfilter studerats och visats effektiva.

1.1 Bakgrund

1.1.1 Colombia

Landet Colombia ligger i Sydamerika, i det nordvästra hörnet av kontinenten, se figur 1. Landet gränsar till Panama i nordväst, Venezuela i nordöst, Ecuador i sydväst, Brasilien i sydöst samt till Peru i söder, se figur 2. Det är dock bara Venezuela och Ecuador som kan nå landsvägen från Colombia. Colombia har 47 miljoner invånare som är utspridda på en yta av 1 141 748 kvadratkilometer (Utrikespolitiska Institutet, 2006). Landet är rikt på naturresurser och har ett klimat som är perfekt för odling av framförallt kaffe, som är en av Colombias största exportvaror, tillsammans med frukt, olja och smaragder (Nationalencyklopedin, 2008). Colombias huvudstad heter Bogotá och har över 7 miljoner invånare (Utrikespolitiska Institutet, 2006). Den är, med sina 2 650 meter över havet, den tredje högst belägna huvudstaden i Sydamerika, efter La Paz i Bolivia och Quito i Ecuador (Nationalencyklopedin, 2008).



Figur 1. Karta över Sydamerika (Globalis, 2007)



Figur 2. Karta över Colombia (Globalis, 2007)

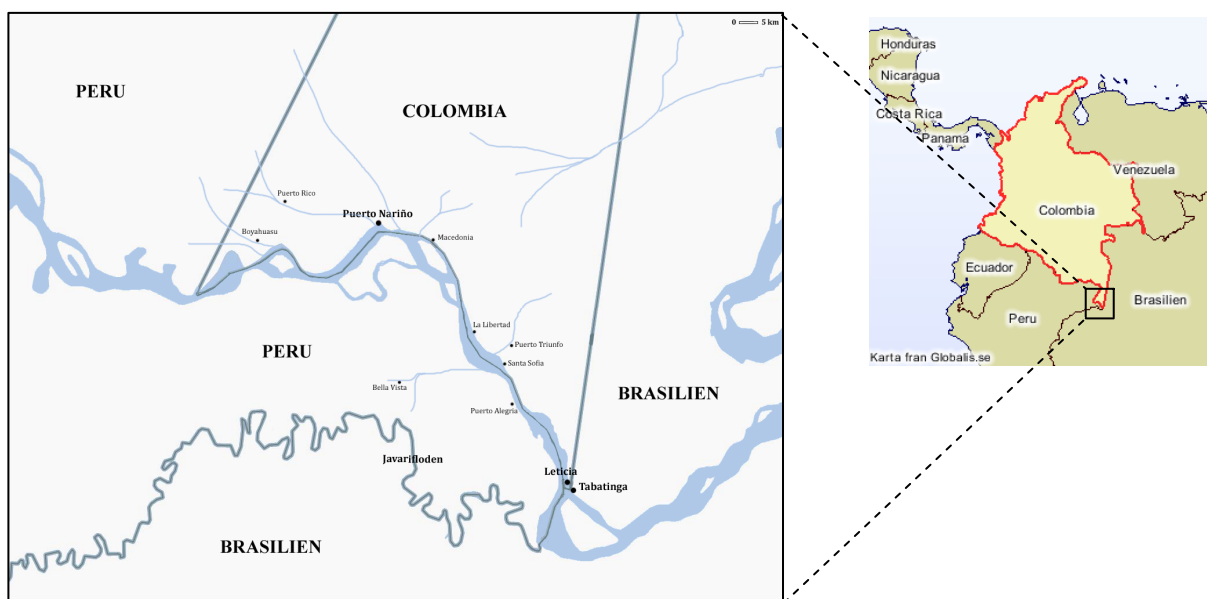
Colombia har 3 000 kilometer kust till två hav, Stilla havet och Atlanten (Karibiska havet). I Colombia formar Anderna tre olika bergskedjor, och dessa ger tillsammans landet alla typer av klimat, från snö på bergen till varma dalar och fuktig regnskog (Utrikespolitiska Institutet, 2006).

Colombia är världens största producent av kokain, med kontroll över mer än 75 % av den globala marknaden (Nationalencyklopedin, 2008). Landet har tidigare räknats som ett av världens farligaste länder, svårt prövat av stridigheter mellan regering, gerillarörelser, paramilitära styrkor och beväpnade narkotikaligor (Utrikespolitiska Institutet, 2006). Sedan president Álvaro Uribe tog över makten i augusti 2002 har dock läget förändrats till det bättre. Antalet mord har gått ner med mer än 35 % och kidnappningsfrekvensen har minskat med 75 % (Utrikespolitiska Institutet, 2006). Trots den korruption som råder i landet har Uribe också lyckats driva gerillan längre in i djungeln vilket gör att fler vägar är säkrare att färdas på än tidigare, även för turister. Däremot är många av de områden som är mindre attraktiva för turister mer osäkra nu än tidigare, speciellt de mindre städerna och hela södra och sydöstra delen av landet där lokalbefolkningen varje dag lider av den interna väpnade konflikten.

1.1.2 Amazonas – floden och området

Amazonfloden i Sydamerika är världens mest vattenrika flod och är med sina 7 025 kilometer en av världens två längsta floder (Nationalencyklopedin, 2008). Närmare en femtedel av världens sötvatten beräknas uppehållas i flodens avrinningsområde. Amazonfloden börjar i Anderna på över 3 700 meters höjd, samlar sitt vatten från 5° nordlig till 20° sydlig latitud, och når Atlanten vid ekvatorn. Mellan Anderna och mynningen rinner flera hundra bifloder samman med Amazonfloden, och floden kan under regnperioder släppa hela 300 000 m³ vatten per sekund ut i Atlanten. Flodens nivå fluktuerar i Colombia med upp till 15 meter i nivåskillnad under året (Erdtman, pers. komm., 2005).

Det stora tropiska djungelområdet vid floden i södra Colombia kallas för Amazonas, se figur 3, och utgör en tredjedel av landets totala yta. Amazonfloden utgör här gränsen mellan Colombia och Peru. I hela flodområdet finns inget större berg alls. Området är en stor skogsslätt, som långsamt sänker sig österut. Klimatet är tropiskt (Nationalencyklopedin, 2008) och Amazonas tar med hela sin yta emot de tropiska regnens vattenmassor. Området har därför ofta stora översvämningar som troligen skulle vara ännu fler och större om inte regnen i olika delar av området föll på olika tider. Regnskogen har två huvudsakliga perioder, regn- och torrperiod. Torrperioden är tre till fem månader lång och är vanligen solig, eventuellt med någon regnskur på eftermiddagen. Under regnsäsongen kommer det kraftiga regnskurar spridda över hela dagen. De flesta områdena i Amazonas får 2 000-3 000 millimeter regn per år, men lokala variationer förekommer. Medeltemperaturen i Amazonas är ungefär 26°C året runt (Nationalencyklopedin, 1996).



Figur 3. Karta över Amazonasområdet längs Amazonfloden i södra Colombia (Globalis, 2007).

Stora delar av Amazonas regnskog i Sydamerika är allvarligt hotad på grund av avskogning och enligt WWF har 17 % av den ursprungliga regnskogen gått förlorad. 50–80 % av fuktigheten i Amazonas behålls i området genom nederbörd som följd av avdunstning från växtligheten. När skogen skövlas avdunstar mindre vatten till atmosfären och förs istället ut i havet vilket minskar mängden moln och regn i Amazonas och omkringliggande områden. Detta kan hota flera trädarter, som i sin tur förlorar sin förmåga att förse atmosfären med fuktighet. En annan fara för vattencykeln är de hastigt smältande glaciärerna i Anderna, vilka står för upp till 50 % av vattnet i Amazonas.

Amazonas har en stor diversitet av växter och djur. Uppskattningsvis finns här flera tio miljoner arter av insekter, över 3 000 sötvattenfiskar, drygt 1 500 fågelarter, närmare 400 arter reptiler och 300 arter av olika däggdjur (Nationalencyklopedin, 1996). Över 40 000 olika växtarter från Amazonas har beskrivits vetenskapligt men det verkliga antalet förmodas vara betydligt större än det. Av de större djuren som lever i regnskogen och dess vattendrag bör nämnas jaguarer, myrslokar, apor och sengångare, men även krokodiler, anakondor, boaormar och sötvattendelfiner.

Amazonas har varit bosatt av människor under många tusen år. Redan innan européerna anlände på 1500-talet existerade här komplexa samhällen. Idag är Amazonas förhållandevis glesbefolkat med ett par större tätbebyggda städer inkilade i de enorma vildmarksområdena. I Amazonasområdet finns över 400 olika etniska grupper. Trots den kraftiga decimeringen lever många folkstammar kvar i området även om i stort sett alla har blivit påverkade av omvärlden. De vanligaste stammarna i Amazonasområdet i Colombia är Ticuna och Jaguas (Erdtman, pers. komm., 2005). De flesta indianerna bär idag västerländska kläder och har till viss del anammat den västerländska livsstilen. Nästan ingen indiagrupp är numera helt självförsörjande på mat, man varvar den traditionella jakten, samlandet och fisket med andra inkomstkällor. Grupper för beskyddandet av ursprungsbefolkningens rättigheter har bildats och är starkare här än i något annat regnskogsområde. Genom att skapa etniska organisationer har befolkningen ett sätt att skydda sig själva, sin kultur och sitt land.

1.1.3 Dricksvattensituationen i Amazonas

Sjukdomar som är relaterade till ohälsosamt vatten och otillbörlig sanitet är den största dödsorsaken i Colombia. Detta visar sig inte minst i Amazonasområdet. Trots den enorma mängd vatten som finns i Amazonas så råder det stor brist på rent dricksvatten i området. I byarna längs floden, som främst bebos av indianer från olika stammar, är den vanligaste vattenförsörjningen regnvatten. Regnvattnet samlas i stora kärl av plast eller aluminium som står vid husväggen. Stuprör från taken leder ner i tunnan som ofta står öppen för att kunna samla ytterligare vatten vid regn. Detta vatten är någorlunda rent, men kan lätt kontamineras av smuts som rinner ned från taken, eller insekter och bakterier som lätt når den öppna tunnan. Ofta dricker även djur från samma tunna.

Under torrperioderna, då regntillförseln är begränsad, tas vattnet direkt från floden. Är byn belägen en bit in i jungeln, med vattenförsörjning från en biflod till den stora Amazonfloden och med sparsam bebyggelse uppströms, kan vattnet vara något renare att dricka. Oftast tas dock vatten från vattendrag som är kontaminerade på ett eller annat sätt. Kontamineringen kan komma antingen från båttrafik och turism eller genom att invånarna i uppströms liggande byar sköter sin hygien, tvättar och diskar i floden eller har bristfällig sanitet som läcker ut i vattendraget. Befolkningen i de flesta byar lider av svåra magåkommor, med kräkningar och diarréer, som orsakas av vattnet från floden. Många byar i området ligger också på platser där dricksvatten av olika anledningar inte kan tillgodoses med hjälp av borrhälsbrunnar.

1.1.4 Ankarstiftelsen

Ankarstiftelsen är en ideell organisation som grundades 1996 av Börje Erdtman och Sven Bergholm (Ankarstiftelsen, 2007). Arbetet började med fadderbarnsverksamhet i Blumenau, Brasilien, men idag arbetar stiftelsen även med gatubarn, fängelsebesök, vattenprojekt samt uppbyggnad av skolor och hus i indianbyar samt för hemlösa och flyktingar i städerna. Hjälpverksamheten bedrivs framförallt i Colombia, Peru och Brasilien, men även delvis i Bolivia och Afghanistan. Organisationen har sitt säte i Mölltorp, Sverige, och man samarbetar med den panamerikanska kyrkan i Leticia, Colombia. Ankarstiftelsen arbetar också tillsam-

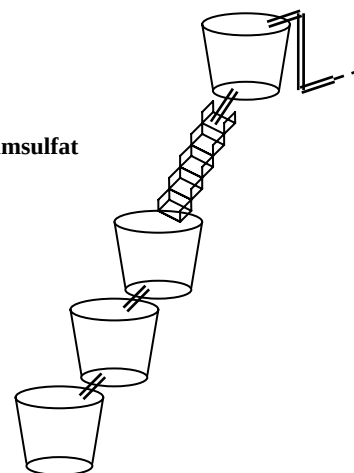
mans med en mängd svenska företag och organisationer i biståndsfrågor. Stiftelsen har gjort det möjligt för många byar kring Amazonfloden att få renare vatten genom brunnar, men då brunnsborrning inte fungerar överallt har man på senare tid fokuserat på att istället hitta metoder för att rena vattnet direkt från floden.

1.1.5 Minor Field Study, Amazonas 2005

Under hösten 2005 utfördes ett MFS-projekt i Colombia, i samarbete med Ankarstiftelsen, finansierat av Sida via KTH i Stockholm (Andersson & Erlandsson, 2006). Syftet med detta projekt var att studera dricksvattensituationen längs Amazonfloden, samt att utvärdera möjligheterna för ytvattenrening genom en enkel, hållbar, lämplig och billig metod för att förbättra kvaliteten på dricksvattnet i byarna. Projektet resulterade i en pilotanläggning med tre huvudsakliga processer; kemisk flockulering, sedimentering och sandfiltrering. Anläggningen, som finns i byn Puerto Triunfo, renar cirka 1 000 liter vatten per dag vid korrekt skötsel. Vattnet tas från en biflod till Amazonas. Analyser på vattnet från anläggningen, direkt efter uppförandet samt efter ett års tid, visar märkbart förbättrad vattenkvalitet, i synnerhet med avseende på grumlighet och lukt, men även med avseende på reducerad bakteriemängd.



1. Flodvatten
2. Snabb inblandning av aluminiumsulfat
3. Långsam omrörning med efterföljande sedimentering
4. Sandfiltrering
5. Behandlat, drickbart vatten



Figur 4. Vattenreningsanläggningen i Puerto Triunfo, även schematiskt.

1.2 Problemformulering

Trots att den anläggning som uppförts i Puerto Triunfo fungerar mycket bra och inga problem hittills har uppstått så kan reningsmetoden diskuteras. Det innebär en viss risk att föra ut kemikalier till en by med invånare som inte är vana vid hanteringen. Kemikalierna i sig är inte toxiska vid användning, men en hög dos kan skada ett barn som skulle råka få tag i grundsubstansen och förtära denna. Risken finns också att byborna inte inser vikten av att hålla sig till rätt dos utan istället overdoserar i tron att vattnet blir renare ju mer kemikalier man tillsätter. Då kan de eventuella aluminiumrester som medföljer vattnet efter behandling öka markant. En anläggning av samma slag som i Puerto Triunfo kanske inte heller skulle skötas lika bra i en annan by, och i synnerhet inte om lön inte skulle utbetalas till de ansvariga. Indirekt kan byborna också luras att tro att vattnet blir renare med tillsats av kemikalier än vad det egentligen blir. En stor del av bakterierna reduceras visserligen, men det är omöjligt att eliminera alla med hjälp av endast flockulering och filtrering.

Det finns således stora behov av att hitta alternativa metoder för dricksvattenbehandling i Amazonas. Sandfiltrering är en naturlig, billig och ofarlig metod som ligger nära till hands, och därför är det intressant att studera vilken reningseffekt endast sandfiltrering skulle ha på

vattnet. Hur rent skulle vattnet bli i förhållande till de standarder som råder? Hur många filter skulle krävas i varje anläggning? Är det överhuvudtaget möjligt att få någon filtrering utan föregående flockulering, eller skulle filtren slamma igen omedelbart? Om sandfiltrering skulle vara ett alternativ, kan man då hitta någon enklare lösning till en mindre anläggning som skulle kunna passa för ett hushåll?

1.3 Syfte

Syftet med detta examensarbete var att studera effekterna av sandfiltrering för rening av dricksvatten, med avseende på fysikaliska och kemiska egenskaper hos vattnet samt patogen-innehåll. Studier har gjorts både i Amazonasområdet i Sydamerika och i Sverige, och möjligheter till användning av sandfiltrering för framtagning av dricksvatten i byarna längs Amazonfloden har beaktats. Ett förslag för användning av sandfiltrering i vattenreningssyfte i Amazonasområdet har slutligen tagits fram.

Syftet med projektet var också att granska och utvärdera den pilotanläggning för dricksvattenrening som tidigare uppförts i byn Puerto Triunfo i Colombia

1.4 Avgränsningar

Det finns en stor mängd olika filtreringsmetoder och en uppsjö av olika vattenreningsmetoder som skulle kunna tillämpas under motsvarande förhållanden som de vilka beskrivs i denna rapport. Studien avgränsas dock i detta fall till sandfiltrering, då denna metod i de flesta fall bedöms vara den mest effektiva filtreringsmetoden för vattenrening under enkla förhållanden, och dessutom tycks den vara den mest realistiska att genomföra i Colombia.

2 METODER

2.1 Litteraturstudier

Under projektets gång har litteratur och hemsidor, främst rörande sandfiltrering som reningsmetod av dricksvatten, studerats. Projektet grundar sig i det tidigare MFS-projekt som utförts i Colombia under hösten 2005 (Andersson & Erlandsson, 2006). Ingående diskussioner med Ankarstiftelsen hölls angående utveckling och/eller förenkling av den pilotanläggning som finns i byn Puerto Triunfo, samt utvärdering av densamma. Vid Uppsala Universitet och Sveriges lantbruksuniversitet i Sverige kontaktades personer som besitter kunskaper och har erfarenheter av sandfiltrering. Även företag som arbetar med vattenrening, med sandfiltrering som huvudmetod, kontaktades.

2.2 Studiebesök

För att komplettera bilden av sandfiltrering och få en inblick i hur metoden används för vattenrening i Sverige har två studiebesök gjorts. Det ena var hos Berggårdens vattenverk i Linköping, där den största delen av vattenreningen i kommunen sker med hjälp av just sandfiltrering. Det andra besöket gjordes till företaget Mark- och Vatten i Växjö, ett företag som har arbetat mycket med vattenreningsfrågor i olika skala i Sverige.

2.3 Fältstudier

Fältstudier av sandfilter i olika sammansättningar och i olika skala har genomförts på plats i Colombia. Fem huvudsakliga typer av studier utfördes:

1. Sandfilter i samma skala som det filter som finns i pilotanläggningen i Puerto Triunfo, i en 1 000-literstunna, har testats på vatten direkt från floden. Denna gång gjordes dock filtreringen utan flockulering eller sedimentering, till skillnad från i Puerto Triunfo.
2. Samma typ av filter som ovan, och med samma förutsättningar, har även testats på vatten som tagits från en brunn med smutsigt vatten.
3. Samma filtersammansättning som i de två föregående testerna har också testas på vatten som innan filtrering fick sedimentera naturligt, även här utan kemikalietillsats.
4. Sandfilter i något mindre skala, i tunnor på 750 respektive 500 liter, har testats och studerats på liknande sätt som ovan och med samma förutsättningar.
5. Ett sandfilter i betydligt mindre skala har också konstruerats och undersökts. Filtret hade ungefär samma höjd som de tidigare nämnda, cirka en meter, men dess diameter var ungefär en tredjedel av den hos de större. Detta test har gjorts för att utvärdera möjligheten att använda sig av sandfiltrering i mindre skala för att på hushållsnivå, till skillnad från bynivå, kunna ge renare dricksvatten i torrperioder.

Olika platser och byar i Amazonas, med olika förutsättningar, valdes för de olika studierna. De platser som valdes ut för tester och konstruktioner valdes främst på grund av skillnaden mellan dem, men också på grund av deras tillgänglighet och tillmötesgående inställning hos befolkningen. En annan viktig faktor som spelade in vid val av platser var behovet av vattenrening ur hälsoperspektiv samt att byn var lagom i storlek för de anläggningar som designades.

2.3.1 Puerto Alegria

Byn Puerto Alegria ligger på den peruanska sidan av Amazonfloden och har cirka 200 invånare (Perez, pers. komm., 2007). Byn sträcker sig längs huvudfloden. I Puerto Alegria finns en liten sjö, som tidigare hade friskt vatten och ett rikt fiskliv. Numera är sjön rejält förorenad och ser mer ut som ett träsk. Många bybor använder sjön som avfallsdepå och allt från plastflaskor och tvättmedel till fekalier och matrester trängs i vattnet. På andra sidan den lilla sjön, som man tar sig över med hjälp av en lång bro, har Ankarstiftelsen byggt en stor skola för byns barn. På samma sida, cirka 70 meter från sjön, finns en av Ankarstiftelsen sen tidigare borrarad brunn som ger vatten året om. Vattnet som kommer ur brunnen är dock kraftigt guldfärgat och innehåller en stor mängd svarta små sandkorn.



Figur 5. Vatten från brunnen i Puerto Alegria

2.3.2 Boyahuasu

Boyahuasu är en by som ligger längs en biflod på colombiansk mark. Byn är lågt belägen, och blir vid högvatten ofta översvämmad. Trots den ofta rikliga mängden vatten råder i torrperioder utan regn brist på rent dricksvatten, eftersom brunnsbörning i området har misslyckats och Boyahuasu ligger relativt nära mynningen till bifloden och således har en mängd byar uppströms som kontaminerar floden.

2.3.3 Puerto Rico

Byn Puerto Rico ligger längre in i djungeln än de andra byarna som är aktuella i denna studie, längs ytterligare en biflod på den colombianska sidan av Amazonfloden. Invånarna i denna by bodde tidigare i byn Boyahuasu (Erdtman, pers. komm., 2007) men tröttnade på de ständiga översvämningarna som varje år förstörde stora delar av bebyggelsen. Ungefär halva byns befolkning valde därför att flytta till en högre belägen plats cirka 10 km bort, fågelvägen, och denna nya by har nu 200 invånare. I Puerto Rico har det varit svårt att borra en brunn med den enkla utrustning som finns att tillgå. Puerto Rico ligger längre in i djungeln än Boyahuasu och har därav betydligt färre byar uppströms och kontamineringen torde vara betydligt mindre.

2.3.4 Esaias

Tester för att undersöka om det finns möjlighet att använda sig av sandfiltrering i mindre skala utfördes också. En familj boende nere vid floden inne i den lilla staden Leticia hade under en period ett litet sandfilter stående hos sig. Ett filter av denna storlek är tänkt att kunna användas på hushållsnivå ute i byarna.

2.4 Vattenkvalitetsstudier

Olika vattenkvalitetstester gjordes under vistelsen i Colombia. Vattnet i huvudfloden och i bifloder undersöktes såväl som regnvatten och vatten från de olika vattenreningsanläggningarna. De flesta analyser gjordes av Rio Gaseosa, ett läskföretag i Leticia som också producerar och distribuerar dricksvatten i staden. De parametrar som beaktas är samma som företaget använder sig av för att kontrollera sina produkter innan försäljning. Dessa parametrar är: färg,

turbiditet, pH, fettsyror, klor, nitrit, nitrat, alkalinitet, kalciumkarbonat, järn samt förekomst av mesofila bakterier, svampsporer, koliforma bakterier och fekala koliforma bakterier. Några tester har dock utförts med ett så kallat hemmatest. Material för dessa tester är inköpta från företaget Grip Consulting i Sverige. Testen utfördes med färgstickor som avläses mot referenser. I motsvarande bakterietest blandas en näringslösning med provvattnet och detta hålls sedan ut på en agarplatta. Efter cirka 24 timmar läses provplattan av genom att antalet kolonier räknas.

Prov på dricksvatten, framförallt för mikrobiologiska tester, ska alltid tas i sterila plastflaskor. Vattnet bör rinna i minst 5 minuter, eller tills det uppnått konstant temperatur, innan provet tas. Flaskans mynning ska aldrig vidröras. Vid provtagning i stillastående vatten ska den sterila flaskan sänkas ner cirka 10 cm under ytan. Proven skall transporteras kylda, och transporttiden bör ej överstiga 24 timmar (Smittskyddsinstitutet, 2007). Transporterna bör organiseras på ett sätt som minimerar tiden mellan provtagningarna och laboratoriearbets början. För att undvika att förvaringskänsliga prover förändras, måste kylförvaring upprätthållas, exempelvis genom att provflaskorna skickas tillsammans med kylelement i isolerade emballage. Ett alternativ är transport av frysta prover, något som är mycket svårt att uppnå i tropiskt klimat. Metoden är inte heller användbar om suspenderade ämnen, fett och olja ska analyseras. Om provena inte ska skickas omedelbart, skall de förvaras i kylskåp på platsen eller frysas (Naturvårdsverket, 1990).

2.5 Litteraturstudie

En litteraturstudie rörande sandfilter och filtrering av vatten gjordes i anslutning till fältstudierna. Facklitteratur samt intervjuer med specialister inom området har använts för att få en så bra bild som möjligt av sandfiltrering som reningsmetod, samt för att utforma fältstudierna och testerna för de olika typerna av filter. Litteraturstudien sammanfattas i kapitel 4 och ligger till grund för ett förslag till användningsområden av sandfilter i Amazonas.

2.6 Utvärdering av pilotanläggning från MFS-projekt

Pilotanläggningen i Puerto Triunfo, som uppfördes 2005, har nu använts i två år av byns invånare. Sandfiltret har bytts ut helt en gång under denna period, och mannen som är ansvarig för anläggningen avlönas numera för att anläggningen ska skötas på ett korrekt sätt. En utvärdering av denna vattenreningsanläggning görs i denna rapport. För utvärderingen av denna pilotanläggning har bland annat vattenkvalitetsförbättring, användningsfrekvens, eventuell sjukdomsreduktion och allmän inställning till anläggningen i byn beaktats. Informationen har samlats in både genom kommunikation med byborna och genom egna mätningar och iakttagelser.

3 DRICKSVATTEN I TEORIN

På grund av det stora antalet olika typer av föroreningar, smuts och patogener som kan förekomma i ett vatten, bör det i de allra flesta fall behandlas innan det används. Det efterfrågade kravet, som kan variera mellan allt från klart och friskt vatten för konsumtion till ultrarent sköljvatten för elektronikindustrin, uppnås genom enstaka processer eller en kombination av flera.

3.1 Ämnen i vatten

Vatten som kan anses vara kemiskt rent är ovanligt och förekommer endast som en sällsynt laboratorieprodukt (HOH Vattenteknik, 2004). Vanligt vatten innehåller alltid en viss mängd främmande beståndsdelar som alla tillhör någon av följande grupper:

- Joniserade lösta ämnen
- Övriga lösta ämnen
- Kolloider
- Svävande fasta partiklar, slam
- Droppar av i vatten olösliga vätskor (exempelvis olja)

Lösta ämnen är oftast luftgaser, främst syre, kväve och koldioxid, samt oorganiska salter som i regel är joniserade. Organiska ämnen figurerar relativt sällan i ren lösning, i naturliga vatten befinner de sig oftast i molekyler eller molekyllaggregat vilka är så stora att de bildar ett mellanting mellan lösta och uppslammade ämnen. Även vissa oorganiska ämnen kan ibland uppträda på detta sätt (HOH Vattenteknik, 2004).

Grundvattnets innehåll av salter och bakterier bestäms huvudsakligen av följande faktorer (Nordström, 1983):

- Vittring av markens material
- Atmosfäriskt nedfall
- Nedbrytning av markens organiska material
- Gödsling och kalkning
- Punktföroreningskällor (ex avloppsvatten, avfallsupplag, gödselstackar)

De tre mest signifikanta oorganiska innehåll hos grundvatten vad gäller hälsa är, om man bortser från tungmetaller, nitrat, arsenik och fluorid (Mistear, m.fl., 2006). Här följer en beskrivning av några ämnen som förekommer i vatten och de hälsorisker dessa kan medföra.

3.1.1 Syrgas

Om ett grundvatten har låg eller ingen syrgasmängd måste det luftas. Syrgasfritt vatten brukar innehålla svavelföreningar som försvinner vid luftning (Nordström, 1983).

3.1.2 Fluor

Fluor ingår som beståndsdel i många mineral, men innehållet varierar i bergarterna likväl som i lösavlagringarna. Fluor lagras i organismer och näringskedjor och är bra i små nivåer. Det är inte akut skadligt på människor men kan bli det på sikt varvid benstomme och tänder angrips. För låg fluorhalt, lägre än 0,5-1 mg/liter, ger ökad kariesfrekvens (Nordström, 1983).

Långdragen hög exponering av fluoridjonen kan leda till benmissformation, skelettal fluoros (Misstear, m.fl., 2006). En fördelaktig koncentration fluorider är från 0,6 till 1,7 mg/l beroende på mängden vatten som konsumeras, vilket vanligen ökar med lufttemperaturen. Den maximala koncentrationen fluorider som ett vatten kan innehålla utan att vara hälsovådligt är inte fastställt, men upp till 5 mg/l har inte visat någon annan effekt än missfärgning av tänderna och fluoros. För att få kronisk fluoros har det beräknats att man måste ha ett dagligt intag av 15-20 mg över flera år (Schiller, m.fl., 1982).

3.1.3 Kväve

Grundämnet kväve uppträder i flera former, både organiskt och oorganiskt, i vatten. Det är de oorganiska jonformerna nitrat, NO_3^- , och nitrit, NO_2^- , som utgör en hälsorisk. Höga nitrathalter i grundvattnet kan orsakas av kontaminering från deponier, latriner, kloakvatten och intensivt jordbruk. Nitrat förekommer också naturligt, främst som ett resultat av biologisk fixering av kväve i rotzonen. Hög evapotranspiration i arida klimat kan öka nitratkoncentrationen (Misstear, m.fl., 2006). I marken finns nitrifierande bakterier som omvandlar kväveföreningar till nitrit och sedan vidare till nitrat. I vatten med syrebrist omvandlar denitrifierande bakterier nitrat till nitrit. Nitrat har en låg akut giftighetsgrad. Doser på endast 8-15 gram natriumnitrat behövs för att vara livshotande för vuxna. Man betraktar vatten med över 30 mg nitrat per liter vatten respektive 0,002 mg nitrit per liter som hygieniskt anmärkningsvärt. Svensk samt internationell övre gräns för tillåtligt vatten är 50 mg NO_3^- /liter för barn under 1 år. Verkliga förgiftningsrisker uppstår om nitrat omvandlas till nitrit. Detta kan ske i människokroppen. Nitrit omvandlar blodets hemoglobin till methemoglobin så att den syrebindande förmågan förloras. Mängden methemoglobin regleras av ett enzym som finns i levern. Detta enzym finns för spädbarn i för små mängder. Barn har dessutom hemoglobin som lättare omvandlas till methemoglobin. Nitrat är en av de få exempel av kemisk substans som kan leda till hälsoproblem som ett resultat av relativt kort exponering, så kallat "blue baby syndrome" (Misstear, m.fl., 2006). Spädbarn under 3 månaders ålder lider störst risk för denna nitritförgiftning, med kramper och som kan leda till döden. Nitrit kan även med aminer bilda nitrosaminer, sker främst i människans matspjälkningsorgan. Aminer förekommer bland annat i en del läkemedel och livsmedel. Nitrosaminer karakteriseras av hög cancerframkallande effekt (Nordström, 1983).

Förekomst av nitrater kan orsaka methemoglobinemia hos spädbarn som är under 3 månader. WHO rekommenderar en standard av 10 mg/l nitrat-N. Sjukdomen är inte fullt förstådd och nitrater är endast en av flera faktorer.

3.1.4 Totalhårdhet

Hårdheten hos ett vatten är ett mått på kalcium- och magnesiuminnehållet. Hårt vatten innehåller hög halt av kalcium och/eller magnesium. Alltför hög närvaro av dessa ämnen i vattnet ger kalkavlagringar både i vattensystemen och i kokkärl, samt fläckar på glas och porslin vid diskning. Vid tvättning av kläder i hårt vatten kan tvättmedelsförbrukningen öka med upp till 50 % (HOH Vattenteknik, 2004). Hårdheten mäts vanligen i tyska hårdhetsgrader, °dH, vilket fås om man multiplicerar hårdheten i mg/l med 0,14. Vid halter av 70-150 mg/l betecknas vattnet som hårt i Sverige (Nordström, 1983). En °dH motsvarar således cirka 10 mg kalk/liter räknat som CaO. Om hårdheten understiger 2°dH är vattnet mycket mjukt. Bedömningen mjukt gäller mellan 2 och 5°dH, medelhårt mellan 5 och 10°dH, hårt mellan 10 och 21°dH och mycket hårt vid 21°dH och högre (HOH Vattenteknik, 2004).

3.1.5 Järn och mangan

Järn och mangan är av estetisk betydelse. De orsakar fläckar på kläder och föremål och påverkar smak och turbiditet i vattnet. Grundvatten har normalt högre doser av dessa än ytvatten (Schiller, m.fl., 1982). När vatten filtreras genom marken ner till grundvattnet följer ofta nedbrytningsprodukter från dött organiskt material med vattnet, samt även vittringsprodukter från berg och jord och ämnen utsläppta av människan. Vid vissa nivåer under markytan kan ämnen anrikas. Detta gäller bland annat järn, mangan och aluminium. Om grundvattnet når upp till nivåer där järn och mangan är anrikade löses dessa ämnen av vattnet och kan sedan åter fällas ut då tillförsel av syre sker till vattnet. Vattnet blir då rostfärgat eller brunsvart (Nordström, 1983). Järn lämnar därför mörka fläckar på tvätt. Ofta förekommer järn tillsammans med andra föroreningar som kan innebära olägenheter, exempelvis kalk, aggressiv kolsyra och mangan. Vid höga järnhalter får vattnet tydligt smak av järn. Mangan har samma effekt som järn men kan medföra ett ännu mörkare utseende på vattnet. Normalt måste först järnet avlägsnas och därefter de övriga föroreningarna (HOH Vattenteknik, 2004). Järn och mangan tas tämligen enkelt bort genom att lufta vattnet och låta det sedimentera eller via sandfilter (Nordström, 1983).

3.1.6 Aggressiv kolsyra, CO^2

Aggressiv kolsyra är ett mått på vattnets frätande förmåga. All förekomst av aggressiv kolsyra i ett vatten innebär att detta fräter på rör, varmvattenberedare och andra installationer. Förr eller senare uppträder läckage med risk för vattenskadorna. Kopparrör i fastigheter innebär att sanitetsporslin får grön missfärgning och ljushåriga personer kan få grönt hår vid hårtvätt (HOH Vattenteknik, 2004).

3.1.7 Arsenik

Arsenik är ett halvm metalliskt cancerframkallande grundämne som påverkar främst huden, lungorna och urinblåsan. Arsenik förekommer naturligt i sulfid- och arsenidmineral, i metallarseniter eller arsenater samt absorberat på järnoxider eller oxyhydrider. Ämnet kan förekomma under både reducerande och oxiderande förhållanden, såväl vid högt som vid lågt pH (Misstear, m.fl., 2006). Globalt är det flera miljoner människor som använder dricksvatten med så hög arsenikhalt att det är risk för allvarliga hälsoeffekter (HVR Water Purification, 2006).

3.2 Mikroorganismer och smittoämnen i vatten

Sjukdomar som orsakas av orent vatten är ett ökande problem. I framförallt ytvatten finns stora mängder mikroorganismer som kan ge upphov till sjukdomar. Mikroorganismernas egenskaper varierar och de klarar sig olika bra i olika miljöer. Många smittar genom dricksvatten medan andra smittar genom vattenånga som inandas eller genom. Ytterligare några överförs genom insekter som lever i vatten (HVR Water Purification, 2006).

De symptom som orsakas av de vattenlevande mikroorganismerna är allt från diarréer, feber och lunginflammation till hudbesvär och även gulsot. Människor med lägre immunförsvar är mer mottagliga för smitta än andra (HVR Water Purification, 2006). Det finns många troliga orsaker till den globalt försämrade kvaliteten på dricksvatten och den ökande spridningen av smitta från vattenlevande mikroorganismer. Klimatförändringar med naturkatastrofer som följd, flyktingströmmar och bristfällig infrastruktur är några. Många mikroorganismer har också utvecklat en motståndskraft mot de vanligaste desinfektionsmetoderna (HVR Water

Purification, 2006). Den allra vanligaste smittvägen för vattenburna sjukdomar är genom fekalier från djur och människor som smittat ett vatten (HVR Water Purification, 2006).

De mikroorganismer som lever i vatten delas in i olika kategorier. Dessa är: bakterier, virus, alger, mikrosvampar, amöbor, parasiter, maskar och insekter (HVR Water Purification, 2006). De sjukdomar som smittat vatten för med sig kan in sin tur delas in i fyra olika kategorier; vattenburna sjukdomar, vattenbaserade sjukdomar, insektsöverförda, vattenrelaterade sjukdomar samt vattenbristsjukdomar (Vattenportalen, 2008).

3.2.1 Vattenburna sjukdomar

De kategorier sjukdomar som hör till de vattenburna orsakas av intag av vatten vilket blivit förorenat av kemiskt avfall eller av avfall från människor och djur. Kolera, tyfus, bakteriell dysenteri, polio, hjärnhinneinflammation, gulsot och diarré är exempel på sådana sjukdomar. Många av dessa sjukdomar skulle kunna förhindras om vattnet behandlades innan det användes som dricksvatten (Vattenportalen, 2008).

Vibrio Cholerae, kolerabakterien, är en mikroorganism som ger symptom som svåra mag- och tarmproblem. Bakterien sprids där det finns brist på rent vatten, i kombination med dåliga sanitära förhållanden och en stor växande befolkning. Under 1800-talet var det främst Europa och Nordamerika som drabbades men idag sprids kolera främst i Afrika och Latinamerika. *Salmonellabakterien* är en annan smittsam bakterie, som bland annat orsakar tyfoidfeber och paratyfus. Ytterligare smittsamma bakterier är *Shigella*, som kan ge dysenteri, och *Listeria*, som kan orsaka svåra infektioner (HVR Water Purification, 2006).

Campylobakter är en mycket vanlig orsak till tarminfektioner. Än så länge är smittvägarna relativt okända; man vet dock att kyckling, opastöriserad mjölk och brunnsvatten kan bära bakterien (HVR Water Purification, 2006). *Helicobacter pylori* är en bakterie som kan orsaka magkatarr, magsår och magcancer. Den finns även hos befolkningen i fattiga utvecklingsländer. Koliforma bakterier är bakterier som är vanliga i bland annat jord och avföring. Om koliforma bakterier förekommer i dricksvatten kan det innebära hälsorisker. *Escherichia coli*, *E.coli*, förekommer naturligt i människans tarmar. Den utgör dock en stor hälsorisk om den påträffas i dricksvatten. Den farligaste typen av *E.coli*-bakterie, EHEC O157:H7, kan ge symptom som blödande och livshotande diarréer, förlust av röda blodkroppar och njursvikt (HVR Water Purification, 2006). Enligt svenska standarder får *E.coli* inte förekomma alls i allmänna dricksvatten. Detta gäller även fekala streptokocker (HVR Water Purification, 2006).

I normala fall innehåller dricksvatten rikliga mängder långsamväxande heterotrofa bakterier. Heterotrofa bakterier är generellt inte skadliga för människor som är friska, men vid nedsatt immunförsvar kan dessa i vissa fall vara farliga. Förekomst av heterotrofa bakterier i vatten indikerar att det kan finnas andra mikroorganismer i källan. En del vattenreningsutrustningar, så som avhårdare, RO-utrustningar och kolfilter, kan vara goda tillväxtplatser för just heterotrofa bakterier. *Mycobacterium avium*, MAC kallat, är en grupp bakterier som kan finnas i dricksvatten och som är mycket resistent mot desinfektion. De har visat sig kunna överleva upp till 10 milligram fritt klor per liter vatten, och har således gett bland annat många AIDS-patienter livshotande infektioner. *Leptospira* är en bakterie som sprids genom urin från djur. Den kan finnas i dammar och åar, och kan ge feber, diarré och i värsta fall gulsot (HVR Water Purification, 2006).

Virus är mikroorganismer som är betydligt mindre i storlek än bakterier. De kan bara föröka sig inuti andra celler, som fungerar som värdceller. Virus transporteras lätt genom jord och kan överleva mycket länge i grundvatten. De är också mer motståndskraftiga mot desinfice-

ring än många bakterier. Virus som oftast sammankopplas med vattenburen smitta är hepatit-, Norwalk-, coxsackie-, rota- och echovirus. Enterovirus är virus som förekommer i tarmarna (HVR Water Purification, 2006). Både Echovirus och Coxsackievirus kan ge diarré men dessa virus kan även orsaka en form av hjärnhinneinflammation. Rotavirus, som orsakar svår diarré och hög feber, anses ligga bakom den största delen av barndiarréer och 4-5 miljoner dödsfall om året i världen. Calicivirus, inklusive Norwalkvirus, hör till virusgruppen SRSV. Smitta överförs genom mat och vatten eller direkt genom avföring, och symptomen är kraftiga kräkningar, diarré och feber (HVR Water Purification, 2006). Hepatit A-virus ger gulsot, med feber, illamående, aptitlöshet och diarré som kan vara upp till flera månader. Viruset härstammar från Karibien och Latinamerika. Poliovirus i sin tur angriper nervcentra.

Då det finns alger i ett dricksvatten är detta ofta grumligt och luktar illa. Ibland kan algerna även producera olika former av gifter. Cyanobakterier, blågröna alger, är exempel på alger som vid algbloomning producerar gift. Algen *microcystis* producerar gifterna microcystin och nodularin som redan i mycket små koncentrationer kan vara skadliga (HVR Water Purification, 2006). Några andra vanliga alggifter är nervgifter, levergifter, hudgifter, PSP-toxiner (Paralytic Shellfish Poisoning) och DSP-toxiner (Diarrhetic Shellfish Poisoning). De vanligaste symptomen som förekommer vid algförgiftning är illamående, kräkningar, diarré och feber. Även öronvärk, huvudvärk, hudirritationer och ögonirritationer kan förekomma. PSP-förgiftning kan till och med förlama andningsvägarna om vård inte snabbt ges (Vattenportalen, 2008).

Svampar, sporer, protozoer, cystor, amöbor och parasiter är andra mikroorganismer som kan ligga bakom vattenburna sjukdomar. Det är inte alltid desinfektion biter på dessa heller. Effektivaste sättet att oskadliggöra dessa är mekanisk filtrering (HVR Water Purification, 2006). *Cyclospora cayetanensis* är en encellig parasit som infekterar tunntarmen och ger feber, kramper och även långvariga vattniga diarréer. En annan parasit är *Cryptosporidium parvum*, en encellig protozo som även den bosätter sig i tunntarmen och ger vattniga diarréer med magkramp och viktförlust. *Giardia lamblia* är ytterligare en encellig parasit som ger magsjuka. Dess stora spridning kan bero på att de flesta smittbärare är symptomfria. *Toxoplasma gondii* anses bäras av katter, gnagare och fåglar, och som vid smitta till människa ger symptom som liknar vanlig influensa. *Toxoplasma* parasiten är farlig främst människor med nedsatt immunförsvar och för gravida kvinnor, där toxoplasmos kan leda till neurologiska skador hos fostret och i värsta fall missfall (HVR Water Purification, 2006).

3.2.2 Vattenbaserade sjukdomar

Vattenbaserade sjukdomar kallas de sjukdomar som orsakas av mikroorganismer som lever delvis i vatten och delvis som parasit hos ett djur. Organismer som orsakar vattenbaserade sjukdomar är bland annat levermaskar, bandmaskar, rundmaskar och vävnadsnematoder. Sjukdomarna leder vanligen inte till döden, men den infekterade får svåra men som försämrar livskvaliteten. I samband med stora dammbyggen sker ofta uppdämning av rikliga mängder vatten. Därför är infektion av vattenbaserade sjukdomar vanlig i anslutning till dessa, då stillastående vatten är en idealisk miljö för vattensnäckor. Snäckorna fungerar som värdar för många typer av maskar. Över 200 miljoner människor på jorden är infekterade av schistosomiasis, en mask som orsakar bilharzia, snäckfeber. Närmare 100 miljoner av dessa är barn under fem år, och 20 miljoner människor i världen har njursvikt, cancer i urinblåsan eller leverfibros som följd av en snäckfeberinfektion. Snäckfeber har på senare år minskat tack vare att människor fått tillgång till renare dricksvatten och bättre sanitetsförhållanden (Vattenportalen, 2008).

3.2.3 Insektsöverförda, vattenrelaterade sjukdomar

Miljoner människor runt om i världen är drabbade av vattenrelaterade sjukdomar som överförs av insekter. Dessa insekter lever eller fortplantar sig i vattensamlingar och några kända exempel på sjukdomar som sprids på detta sätt är malaria, gula febern, denguefeber, sömnssjuka och filarios. Malaria finns i de flesta utvecklingsländer och är den mest spridda av ovan nämnda sjukdomar. Ett par miljarder människor löper risken att bli infekterade, mer än en miljon dör i sjukdomen under ett år och över 300 miljoner människor blir akut malariasjuka varje år. Det enklaste och effektivaste sättet att undvika att bli smittad av malaria, och stoppa spridningen av sjukdomen, är att sova under myggnät (Vattenportalen, 2008).

Sjukdomarna som överförs med insekter ökar i omfattning. Både en ökande resistens för medicinska profylax hos värddjuren och miljöförändringar som ger nya tillväxtmöjligheter för insekterna bidrar till ökningen. Att människor flyttar runt och att det sker stora klimatförändringar i världen bidrar också till att färre människor får naturlig immunitet mot dessa sjukdomar (Vattenportalen, 2008).

3.2.4 Vattenbristsjukdomar

Sjukdomar som orsakas av ren vattenbrist uppkommer i områden där det både råder stor brist på vatten och även finns bristfällig sanitet. Dessa sjukdomar blir allt vanligare och de sprider sig i världen. Exempel på vattenbristsjukdomar är ögonsjukdomen trakom och lungsjukdomen tuberkulos. Bättre hygien och tillgång till rent vatten är nyckeln till att få bukt med dessa sjukdomar (Vattenportalen, 2008).

3.3 Krav på vatten

Beroende på vad ett vatten skall användas till ställs olika krav på dess kvalitet med avseende på dess innehåll av kemiska och biologiska ämnen. För många användningsområden finns normer, antingen i form av lagar eller i form av rekommendationer, väl underbyggda genom mångårig erfarenhet av hur vattnet skall vara, för att förebygga problem av hygienisk, estetisk och/eller teknisk art (HOH Vattenteknik, 2004).

Sedan 1989 betraktas vatten som ett livsmedel i Sverige, och dess kvalitet regleras av Statens Livsmedelsverks kungörelse om dricksvatten SLV 1989:30 (HOH Vattenteknik, 2004). Internationellt finns riktlinjer för dricksvattenkvalitet utarbetade av såväl Världshälsoorganisationen, WHO, som Europeiska Gemenskapen, EG, på sin tid. Samtliga tre dricksvattennormer visar stor likhet men är sorterade på olika sätt. Bedömningarna för bakteriologiska prov är mycket lika. WHO:s riktlinjer anger max rekommenderade gränsvärden både ur hälsomässig och estetisk synpunkt och i normen anges att i de fall gränsvärden överskrids skall åtgärder vidtas. I SVLs dricksvattennorm såväl som i EG:s dricksvattendirektiv finns angivet när vattnet är otjänligt respektive max tillåtet värde. EG-normen anger ett rekommenderat värde, dock inte för giftiga ämnen där endast max tillåtet värde angetts. EG-normen har antagits av alla medlemsstater, dock har viss tid medgetts vissa länder att uppnå kraven.

Praktiskt är det mycket svårt att påvisa patogena organismer. Oftast väljer laboratorier att studera coliforma bakterier, "coliformer", vilka finns i alla varmblodiga djurs tarmkanaler i mycket höga antal. Dessa går även lätt att odla fram för kvantitativ bestämning. De är ofta inte sjukdomsframkallande för människor utan har istället direkt nyttiga funktioner att fylla. Eftersom coliformer, jämfört med andra bakterier, är lätta att analysera utnyttjas de som mått på bakteriehalten. Med hjälp av bakteriologiska undersökningar kan man även avgöra om en förorening är av sent eller äldre datum. Detta kan ske genom att colibakterier från varmblodiga organismer kan föröka sig vid högre temperatur än andra bakterier. Coliformer

som växer vid 44°C kallas termostabila. Hittar man sådana är det ett tecken på att färsk fekala föroreningar finns. Detta beror på att termostabila coliformer har kortare livslängd. För att erhålla totalhalten coliforma bakterier uppvärms provet till +35°C. För att bestämma totalantalet bakterier görs odling vid 22°C (Nordström, 1983).

4 SANDFILTRERING I TEORIN

Den allra största och mest synbara delen av föroreningar i vatten utgörs av olika fasta partiklar. För att separera partiklarna från vattnet finns tre huvudtyper av metoder som vanligen används, antingen var för sig eller i kombination med varandra. Dessa är sedimentering, flotation och filtrering (Thureson, 1992).

Många partiklar kan separeras från vattnet genom sedimentering på grund av gravitation, men sedimentationen för vissa är på grund av deras ringa vikt för långsam för att vara effektiv. Tabell 1 visar ett antal partiklars medelstorlek och en indikation på den tid det tar för dessa partiklar att sedimentera vertikalt genom en meter vatten enbart med hjälp av gravitation.

Tabell 1. Sedimentationshastighet för partiklar av olika storlek (Thureson, 1992)

Partikeldiameter	Benämning	Sedimenteringstid (cirka)
10	Grus	1 sekunder
1	Sand	10 sekunder
0,1	Fin sand	2 minuter
0,01	Lera	2 timmar
0,001	Bakterie	8 dygn
0,0001	Kolloidal partikel	2 år
0,000001	Kolloidal partikel	20 år

Fina, kolloidala, partiklar är således inte möjliga att separera från vattnet endast med hjälp av sedimentering. Då krävs istället antingen förbehandling av det vatten som ska sedimenteras, eller användning av en annan metod, företrädesvis flotation eller filtrering.

Förbehandling innan sedimentering innebär att ett flockuleringsmedel, ofta någon kemisk substans, tillsätts råvattnet. Vanliga flockuleringsmedel är aluminiumsulfat och järnklorid. Detta ger en koagulering av partiklarna som följs av flockbildning. Organiskt material och andra finare partiklar adsorberas och innesluts i flockarna som får högre densitet och därför sedimenterar bättre och snabbare (Thureson, 1992) och sedan lättare separeras. Flockulering kan också reducera mängden bakterier och parasiter i vattnet något.

I motsats till sedimentering bygger en annan separationsmetod, flotationsprincipen, på att slammet lyfts till ytan med hjälp av ytterst små luftbubblor. Dessa små luftbubblor bildas vid trycksänkning av ett luftmättat vatten under övertryck (Svenska Kommunförbundet, 1996).

En av de vanligaste metoderna för partikelborttagning här i Sverige är dock direkt filtrering utan förbehandling. Med filtrering avses att vattnet passerar genom något material för att avlägsna partikulärt material, samt att avlägsna suspenderade ämnen eller joner som genom behandling i, eller utanför, filtret överförs i avskiljbar form. Denna behandling kan exempelvis vara lufttillsättning, kontaktverkan eller tidigare nämnd kemisk flockulering (HOH Vattentechnik, 2004). Kvarssand var det första materialet som användes för filtrering, och sand är fortfarande grundmaterial i många filteranläggningar idag.

Ett sandfilter består vanligen av en tank, en sandbädd, ett lager med grus för att stödja sanden, ett dräneringssystem för att samla upp det filtrerade vattnet och ibland även en flödesregulator för att kontrollera filtrationshastigheten (Huisman, m.fl., 1974). Oftast görs filtreringen uppi-från och ner, men omvända filter finns också. Den sand som ska användas som filtermaterial ska vara fri från lera och organiskt material samt kalk och järn som annars kan lösas ur sanden med syra. Sanden ska ha en bestämd kornstorlek, och kornen bör vara runda eller skarpkantade (Thureson, 1992).

Kvartssand i olika storlekar används för olika ändamål, se tabell 2. Kornstorleken är effektiv för lite finare rening då den ligger mellan 0,15-0,35 mm (HOH Vattenteknik, 2004).

Tabell 2. Kornstorlek i sandfilter

Kornstorlek [mm]	Filtreringshastighet och användningsområden
0,3-0,5	Mycket snabb filtrering under tryck, upp till 25m/h för svagt förorenade vatten. Används till exempelvis badvattenrening
0,6-1,0	Tillåter hastigheter upp till högst 10m/h av ett lätt förorenat vatten. Tryckfallet bör ej överstiga 0,6 bar, i annat fall kan man få problem med kvaliteten på det filtrerade vattnet.
1,0-2,0	”Standard”-material i många industrifilter, vilket tillåter hastigheter på 15-20 m/h med maximalt tryckfall på 0,3 bar.
2,0-25	Används nästan uteslutande som bärlager för finare filtermaterial

Sandfilter finns i två principiellt olika former; snabbfilter och långsamfilter. Snabbfilter används för att separera material såsom restflockar från kemisk flockulering medan långsamfilter används för förbättring av arom och smak, och även för reduktion av mängden organiskt material och bakterier.

Eftersom vatten innehåller en mängd olika typer av partiklar, så är det också en mängd olika egenskaper som ska separeras i ett filter. Ett sandfilters två huvudsakliga rengöringsmekanismer är filtrering och biologisk degradering. Filtret arbetar alltså inte bara som en sil, det avlägsnar också partiklar som är mindre än utrymmet mellan sandkornen genom absorption, eller elektrisk attraktion, och sedimentation (The National Environmental Services Center, 2007). Vattenrening i framförallt långsamfilter är därför en kombination av fysisk och biologisk aktivitet, där patogena bakterier, smak och lukt kraftigt reduceras.

4.1 Långsamfilter

Långsamsandfilter anses av både WHO, Oxfam och FN vara den överordnade teknologin för behandling av ytvatten. Enligt WHO är långsamfilter, under lämpliga omständigheter, inte bara den billigaste och enklaste utan också den mest effektiva metoden för vattenrening (Wikipedia, 2007).

Långsamfilter används främst för behandling av ytvatten, och metoden har en mängd unika kvaliteter. Till skillnad från andra filtreringsmetoder använder långsamfilter biologiska processer för att rena vattnet, och kräver varken kemikalier eller elektricitet för att fungera. Designen och konstruktionen är enkel, och endast en liten mängd material behövs. Då de dessutom kräver minimal underhållsträning och endast tidvis underhåll är långsamfiltrena en passande teknologi för fattiga och isolerade områden. Resultatet blir bra på de allra flesta ställen utan förbehandling eller tillsats av kemikalier och endast en liten mängd vatten krävs för rengöring av filtret. Tiden mellan rengöringarna av filtret är ofta lång och endast lite slam produceras då filtret används (Schiller, m.fl., 1982).

Långsamfilter är enkla, effektiva och pålitliga, och resurserna för sådana finns även i utvecklingsländer. Underhåll är enkelt och material för dessa behöver inte importeras. Några nackdelar med långsamfilter är dock att de, på grund av de låga vattenhastigheterna, kräver en stor landyta, de är känsliga för alger i råvattnet och de passar mindre bra i kalla klimat (Schiller, m.fl., 1982). Om turbiditeten är hög krävs dessutom förbehandling.

4.1.1 Konstruktion

Ett långsamfilter är uppbyggt av ett lager sand som ges stöd av cirka 0,3 meter grus. Filtren kan vara rektangulära eller cylindriska i tvärsnitt och längden och bredden hos tankarna bestäms av önskad flödeshastighet från filtren, som vanligen har ett inflöde på 0,1-0,2 m/h (Huisman, m.fl., 1974).

Sandens kornstorlek är vanligen 0,2 till 0,25 mm (Sundstrom, m.fl., 1979) vilket gör att filtreringshastigheten då inte blir större än 0,1-0,4 m/h (Wilander, pers. komm., 2007). Långsamfilter bör ha ett sanddjup mellan 1,0-1,5 meter, med ytterligare 0,2-0,3 meters plats för vattnet ovanför sanden. Det stödjande gruslagret beror av dräneringssystemet. Generellt är tre lager, vardera 100-150 millimeter, med kornstorlekarna 1,0-1,4, 4-6 och 16-23 millimeter i diameter. Har man ett bra dräneringssystem är inte lika mycket grus nödvändigt (Schiller, m.fl., 1982). I modernare och lite finare långsamfilteranläggningar finns i botten på filtret ett nätverk av dräneringsrör som är täckta med grovt grus. Ovanpå detta kan ett mellanlager av grövre sand finnas, täckt med det tjocka lagret av finare sand. Hela djupet av filtermaterialet bör vara över en meter, där den största delen utgörs av den finare sanden. Högst upp finns det råa, ofiltrerade vattnet.

Filtret har oftast en konstant vattennivå, och denna får aldrig understiga sandnivån. Tryck under atmosfärstryck får inte heller råda i sandfiltret. Sanden måste tvättas ren innan den placeras i bädden (Schiller, m.fl., 1982). Inflödet till ett långsamfilter ska innehålla ett minimum av 0,5 mg/l löst syre. Anaeroba förhållanden i filtret kan orsaka oönskade substanser såväl som lägre filtreringsresultat.

4.1.2 Funktion

Långsamfilter innehåller väldigt fin sand och fungerar vanligen utan kemisk förbehandling, som exempelvis klor eller flockulering. Den låga filtreringshastigheten gör att vattnet stannar länge ovanför och i filtret, något som tillåter biologisk aktivitet. Långsamsandfilter tar bort partiklar huvudsakligen vid ytan av sandbädden, och kan även ta bort partiklar som är mindre än utrymmet mellan sandkornen.

Ett långsamfilter innehåller biologisk aktivitet och är därför ofta refererat till som biosandfilter. Under sandfiltreringen byggs en filterhud upp, ett gelatinliknande klabbigt lager av biologiskt material (Huisman, m.fl., 1974), som ofta kallas mikroflora eller Schmutzdecke. Ordet Schmutzdecke kommer från det tyska ordet för "smutsigt lager" (Biosandfilter, 2007). Mikrofloran, som är rödbrun till färgen, utgörs av bakterier, svampar, alger, protozoer och ett antal vattenlevande insektslarver (The National Environmental Services Center, 2007), samt järn, mangan, och kisel. Typen av mikroorganismer och det relativa antalet av varje art är specifikt och beror på karakteristiken hos det inkommande vattnet samt filtrets miljö (Huisman, m.fl., 1974).

I mikrofloran sker biologisk massdegradering av orenheter. Här fastnar partiklar och organiskt material, även bakterier, och bryts sedan ned (Huisman, m.fl., 1974). Populationen av mikroorganismer är en del av en aktiv näringskedja som konsumerar patogen då dessa fastnar i och på sandytan. Detta reducerar smak, odör och färg, och avlägsnar framförallt de ohälsö-

samma mikroorganismer som finns i vattnet. Test visar att processen effektivt avlägsnar koliforma bakterier från råvatten (Agriculture and Agri Food Canada, 2007). Bakteriemängd kan reduceras med en faktor av 100 till 10 000 (Schiller, m.fl., 1982). Studier visar också att processen är effektiv för att avlägsna oxiderade utfällningar från upplösta ämnen i grundvattnet, såsom järn, och är effektivt för att ta bort svavelgaser.

Beroende på råvattenkvalitetet utvecklas mikrofloran inom tre till sju dagar efter installation av ett filter. De översta få millimetrar av sand bebos av en blandning av framförallt alger och autotrofa bakterier (Biosandfilter, 2007). Här avlägsnas kväve och fosfor medan syre frigörs. Nedanför, under detta lager, finns ett tjockare lager med sand upp till 300 millimeter som koloniserar av heterotrofa bakterier och andra mikroorganismer som tar bort överblivna lösta organiska ämnen från vattnet. Flödet genom ett långsamfilter kontrolleras enbart av gravitationen, och denna i kombination med det lilla utrymmet mellan sandpartiklarna gör att flödet blir mycket litet, endast mellan 0,1 och 0,3 m/h. Därav krävs en stor filteryta.

De olika reningsprocesserna i både Schmutzdecke och i djupare biologiska zoner är beroende av varandra och beskrivs bäst tillsammans. De två huvudsakliga aktiviteterna som bidrar till reningen genom ett sandfilter är kemisk och mikrobiologisk oxidation, men andra biologiska processer kan också spela viktiga roller (Biosandfilter, 2007).

I filter med finare korn byggs resistansen upp på ytan, men i filter med grövre korn kommer fler partiklar längre ner i filtret och fastnar där (Thureson, 1992). I det fallet byggs resistansen upp från insidan. Då byggs resistansen också upp långsammare än om det sker på ytan. Detta betyder att gångtiden mellan rengöringarna av filtret är längre för ett filter med större sandkorn än för ett filter med mindre sandkorn (Thureson, 1992). Å andra sidan behövs det ett tjockare lager av sand i filtret med grövre korn, eftersom rengöringen behöver göras längre ner i filtret.

Schmutzdeckefilmen inte är den enda zonen med biologisk aktivitet i ett långsamfilter. Ofta används ordet som en allmän benämning för biologisk aktivitet i ett sandfilter, men egentligen är Schmutzdecke bara den distinkta zonen överst i filtret (Biosandfilter, 2007).

Det är troligen fyra huvudprocesser som bidrar till reningen av råvattnet (Biosandfilter, 2007). Den första av dessa är att klimatet i ett långsamfilter är betydligt gynnsammare för de "goda" bakterier som bygger upp mikrofilmen än för de fekaliebakterier som vattnet för med sig. Normalt är kroppstemperaturen 37°C, vilket är den temperatur dessa bakterier föredrar, men vattnet i ett filter sällan kommer upp till dessa temperaturer. En andra process är den "tävling" om mat som ständigt utspelas i mikrofloran. Mat krävs för den bakteriologiska populationens metabolism. De oxideringsprocesser som sker genom metabolismen konsumerar organiskt material ur råvattnet, däribland även döda patogener. Filterbädden innehåller oftast inte tillräckligt med organiskt material för att tillgodose mikrofloras behov. I de övre lagren är det en tävling om mat mellan mikrofloras organismer och patogenerna i råvattnet, men djupare ner i filtret blir passande mat ännu mer ovanlig och patogenerna svälter således, speciellt vid höga temperaturer då deras metabolism ökar.

En annan process, och som troligen har stor betydelse för reningen i ett långsamfilter, är predation. Många typer av predatoriska organismer, exempelvis protozoer, uppehåller sig i de övre delarna av bädden och livnär sig där på andra celler, bland annat patogener. Slutligen har också den utsöndring av gifter som mikroorganismer i ett långsamfilter gör en stor betydelse för reningsprocessen (Biosandfilter, 2007). Dessa substanser agerar som kemiskt eller biologiskt gift för tarmbakterier.

Den kombinerade effekten av dessa processer skapar en opassande miljö, framförallt för tarmbakterier, resulterar i död och inaktivitet hos många patogener. Resultatet blir en märkbar reduktion i antal indikativa bakterier, såsom E.coli, och en ännu större proportionell minskning av patogenerna själva. Denna effekt blir större då mikrofloran i filtret utvecklas i närvaro av lämplig mat, syre och passande temperaturer (Biosandfilter, 2007).

Bakteriepopulationen begränsas av mängden organiskt material som tillförs med inkommande vatten. Därför är tillväxt och avdöd i nära kombination (Biosandfilter, 2007). Detta ger dock ytterligare organiskt material, vilket blir tillgängligt för bakterier längre ner i filtret. På detta sätt degraderas allt organiskt material som finns i råvattnet, och istället frigörs koldioxid och oorganiska salter, såsom sulfater, nitrater och fosfater. Bakterieaktiviteten är som störst i de övre delarna av filterbädden och minskar gradvis med djupet, eftersom mattillförseln blir mindre. Tester visar att majoriteten av de biologiska processerna sker i de översta 0,4 m av sandbädden (Biosandfilter, 2007). En viss biologisk aktivitet sker dock längre ner i filterbädden. Under ett djup på 30-40 centimeter, beroende på filtrationshastigheten, är den bakteriella aktiviteten liten, men biokemiska reaktioner sker som konverterar organiskt material, exempelvis nitrifikation, som omvandlar aminosyror till ammoniak, nitrit och nitrat. Dessa aminosyror frigörs av den bakteriella livscykeln högre upp i filtret.

Hur långt ner de biologiska processerna sträcker sig i filtret beror också på hur mycket vatten som står uppe på filtret under de tider då filtret inte körs. Ett grundare vatten betyder att mer syre kan frigöras och diffundera till det biologiska lagret, och som resultat kan den biologiskt aktiva zonen växa djupare i sanden (Huisman, m.fl., 1974).

4.2 Snabbfilter

4.2.1 Konstruktion

Snabbsandfilter har grövre sand än långsamfilter, vilket gör att utrymmen mellan kornen är relativt stora. Den effektiva kornstorleken är mellan 0,4 och 0,8 mm, alltså större än i långsamfilter. Snabbfilter tillåter således snabbare filtrering, 4-20 m/h (Wilander, pers. komm., 2007). Snabba sandfilter består av ett 0,4 till 0,7 meters lager av sand som stöds av 0,3 till 0,6 meter av grus. Detta gör att vattnet passerar snabbt genom filtret och arbetar i en takt på ungefär 50 gånger fortare än ett långsamfilter (Gray, 1994).

Snabba sandfilter är oftast djupare, mellan 0,6 och 1,0 meter, och består av sand, antracit plus sand, eller liknande material så som aktivt kol och sand (Gray, 1994). Dessa filter används för vatten som tidigare har behandlats med koagulering eller sedimentering, och är mindre effektiva i att hålla små lösningar än långsamfilter. Därför är det mindre effektivt att få bort bakterier, smak och lukt med snabbfilter än med långsamfilter. Vid användning blir flödet från filtret gradvis långsammare för varje timme då hålrummen mellan kornen täpps av de partiklar som fastnat i filtret. Dessa filter måste således rensas ofta. Snabba sandfilter finns av två huvudtyper: öppna, gravitationsberoende filtersystem eller effektiva stängda system, där filtrena är instängda i ett metallskal och vattnet pressas genom filtret med tryck (Gray, 1994).

Snabbsandfilter är lämpliga för större vattenreningsanläggningar i städer, där landyta är ett problem, då dessa tar mindre plats än långsamfilter.

4.2.2 Funktion

Snabbsandfiltrering används huvudsakligen i kombination med andra vattenreningsmetoder (Cheremisinoff, 1995). Den huvudsakliga skillnaden från långsamfiltrering är det faktum att biologisk filtration inte är en del av reningsprocessen i snabbfiltrering. Snabbfiltrering

används mycket för att ta bort orenheter och restflockar i de flesta kommunala vattenverk. Som en enda process skulle den inte vara lika effektiv som långsamfiltrering i produktion av dricksvatten. Som namnet avslöjar så passerar vatten kvickt genom filterbädden hos snabbfilter, se ovan. Ofta har vattnet förbehandlats med någon form av kemikalier innan, så att den biologiska aktiviteten är låg. Fysisk, mekanisk filtrering är den viktigaste mekanismen i snabbfilter (Cheremisinoff, 1995). Partiklar som är större än porerna mellan sandkornen fastnar, medan mindre partiklar passerar genom filtret. Snabb sandfiltrering tar bort partiklar på ett ansevärt djup i sandbädden.

4.3 Underhåll

Med tiden växer mikrofloran i ett långsamfilter och hållrummen mellan sandkornen i ett snabbfilter sätts gradvis igen. Flödet genom filtret minskar och slutligen tappar sandfiltret sin förmåga. Hur snabbt ett filter blockeras beror på många olika faktorer (Cheremisinoff, 1995). Bland annat påverkar mängden partiklar och föroreningar, samt typ och egenskaper hos dessa, igensättningen. Även filtreringshastigheten och mängden vatten som strömmar genom filtret påverkar blockeringen, samt filtermaterialets egenskaper, så som porstorlek, djup och kornstorleksfördelning. Om ett konstant ingångstryck upprätthålls kommer flödet genom filtret alltså gradvis att minska. För att hålla utloppsflödet konstant måste därför inloppsstrycket höjas efter hand som filtret blockeras med partiklar.

När ett filter blivit igensatt behöver det tvättas. Tiden mellan tvättningar kan variera mellan flera veckor upp till ett år, beroende på råvattnets kvalitet (Cheremisinoff, 1995). Tiden mellan två rensningar av ett sandfilter kallas för gångtid, eller filtercykel, och bestäms av slamlagringskapaciteten och mängden partiklar, SS (suspenderad substans), som finns i det vatten som ska filtreras. Denna tid kan beräknas genom (Thureson, 1992):

$$t = \frac{S_{acc} \times 1000}{v(S_{in} - S_{out})}$$

där

t = gångtiden

S_{ack} = filtrets slamlagringskapacitet, kg slam/m² filteryta

v = kapaciteten hos filtret, m/h

S_{in} = halt suspenderad substans i ingående vatten, mg/l

S_{ut} = halt suspenderad substans i utgående vatten, mg/l

S_{ut} är normalt tillräckligt låg för att försummas. En aluminiumkoncentration av 0.1 mg/l motsvarar ungefär 0.3 mg/l suspenderad substans i utgående vatten. Slamlagringskapaciteten i ett sandfilter beräknas till ungefär 0.5 kg slam/m² filteryta (Thureson, 1992).

En tryckminskning sker när en lösning flödar genom ett filter. När partiklar från vätskan ackumuleras i filterporerna mellan kornen, ökar tryckförlusten vid en viss flödes hastighet. För en packad bädd av likformiga partiklar ges den initiala tryckförlusten av Kozeny ekvation (Sundstrom, m.fl., 1979):

$$H_L = \frac{\Delta p}{\rho} = f_p \left(\frac{1 - \epsilon}{\epsilon} \right) \left(\frac{L}{D_p} \right) u_s^2$$

där

H_L = tryckförlust

ϵ = tomfraktion, hålrum, i sandbädden

Δp = tryckförlust

u_s = vattenhastighet

L = sandbäddens längd

f_p = friktionsfaktor

D_p = effektiv partikeldiameter

När den totala tryckförlusten når 1,5-3 meter vatten är det dags att rensa filtret. Ythastigheten är den totala volymetriska flödes hastigheten dividerad med tvärsnittsareans normal till flödet (Sundstrom, m.fl., 1979). Den effektiva partikeldiameter definieras som:

$$D_p = \left(\frac{6V_p}{A_s \varphi_p} \right)$$

där

V_p = partikelvolym

A_s = partikelytornas area

φ_p = partikelformsfaktorn, vilken är 1 för sfäriska partiklar och 0,75-0,95 för de flesta sandkorn (Sundstrom, m.fl., 1979).

Det finns en mängd olika metoder för att återställa sandfilter till sitt ursprungliga skick (HOH Vattenteknik, 2004). En vanlig metod för tvättning av långsamsandfilter är att de översta 10-20 millimetrarna av sand mycket försiktigt skrapas bort från filtret (Huisman, m.fl., 1974). På så sätt exponeras ett nytt lager av ren sand. Vatten återförs sedan tillbaka till filtret och recirkuleras några timmar för att tillåta ett nytt Schmutzdecke att utvecklas (Huisman, m.fl., 1974). Filtret fylls sedan till fullt djup igen och tas i funktion. En mognadsperiod på en till två dagar behövs för att den skrapade sanden ska hinna producera en ny funktionell biologisk filterhud. Det filtrerade vattnets kvalitet är sämre under den tiden och bör då inte användas. En normal rensningsfrekvens för detta är efter 2 månader. Med ett antal sådana rensningar blir sanddjupet successivt mindre. När sanddjupet understiger 0,6 meter måste all sand bytas ut (Schiller, m.fl., 1982). Detta sker normalt efter 4-5 år.

En annan metod för rening av långsamfilter kallas wet harrowing – våtharvning. Denna princip involverar en sänkning av vattnet till en nivå som ligger precis ovanför Schmutzdecke. Sanden rörs sedan om i vattnet för att lösa upp den smuts som sitter fast kring sandkornen. Sköljvattnet kastas sedan bort och filtret fylls på till fullt djup igen och tas tillbaka i funktion. Denna reningsmetod låter filtret komma tillbaka i funktion igen snabbare än skrapningen (Wikipedia, 2007). Schmutzdecke bör förbli orört under tvättningen. Detta är för att den biologiska populationen i de översta centimetrarna av sanden inte ska bli störda eller stressade, så inte den uppbyggda mikrofloran skadas. Ett problem kan vara när man fyller på vatten uppifrån på filtret. Fördelaktigt kan då vara att ha någon form av anordning som gör att energin från ingångsvattnet fördelas mer jämnt över filtret.

Ytterligare en metod för att rena sandfilter kallas för backflushing – backspolning. Denna metod används främst på snabbfilter för att tvätta bort det ansamlade slammet (Wilander, pers. komm., 2007). Här tillåts vatten snabbt passera uppåt genom filtret, i motsatt riktning till den normala, med så hög hastighet att sandbädden reser sig. Detta tvättar ut allt material som finns fast mellan sandkornen. Innan vattnet pressas uppåt genom filtret kan komprimerad luft blåsas från botten av filtret för att röra om i filtermediet. Detta effektiviserar backspolnings-

processen och kallas air scouring – luftskrubbing. Rensningsvattnet kan antingen kasseras tillsammans med slammet från eventuell sedimentering, eller återcirkuleras genom inblandning med det inkommande råvattnet.

För att ständigt ha en god funktion kan det vara lämpligt att ha två sandfilter eftersom det filter som renas på ett eller annat sätt då är ur funktion under en viss tid (Wilander, pers. komm., 2007). Långsamsandfilter kräver att råvattnet har relativt låg turbiditet för att de ska fungera effektivt. Under sommarförhållanden, och under förhållanden när råvattnet är grumligare, sätts filtret igen snabbare och förbehandling rekommenderas.

För att mikroorganismerna i den biologiska zonen i ett långsamfilter ska överleva måste sanden hållas våt (Huisman, m.fl., 1974). Mikroorganismerna behöver också få tillräckligt med mat genom råvattnet. Eftersom det vatten som ska renas genom filtret oftast är biologiskt produktivt råvatten, så säkerställs en mer effektiv biologisk filtration. Mikroorganismerna behöver också syre för att överleva. Syre används i nedbrytning och konsumtion av patogener och annat organiskt material. Om syrehalten faller till noll under filtrationen sker anaerob nedbrytning, som har biprodukterna vätesulfid, ammoniak, och andra smak- och odörproducerande substanser, tillsammans med järn och mangan, som gör det behandlade vattnet olämpligt för bland annat tvätt. Därför bör syreinnehållet i det filtrerade vattnet inte tillåtas att falla under 3 mg/l om anaeroba förhållanden ska undvikas i hela filterbädden. Detta kan kräva att råvattnet luftas för att öka dess syre innehåll, eller någon form av förbehandling för att minska syrebehovet.

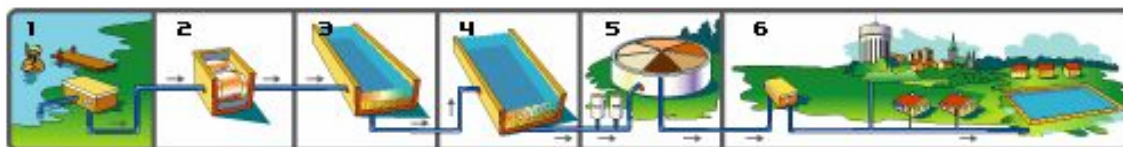
För att tillfredsställande biokemisk oxidering av organiskt material ska ske i långsamfilter måste vattnet stanna tillräckligt lång tid i filtret för att uppehålla önskvärd kontakt med sandbädden (Huisman, m.fl., 1974). Lämplig tid fås genom att filtrationshastigheten hålls nere, antingen genom reducera trycket av vatten från toppen av sandfiltret, eller genom att öka djupet av sand, eftersom hastigheten är relaterad både till totalt tryckfall samt längden på sandkolonnen (Huisman, m.fl., 1974). Temperaturen är också viktig för den biologiska aktiviteten, då temperatur påverkar både de kemiska reaktionerna och metabolismens hastighet hos bakterier och andra mikroorganismer. Under 6°C sker praktiskt taget ingen oxidation av ammoniak alls. När lufttemperaturen minskar till under 2°C är det nödvändigt att antingen täcka filtrena för att reducera värmeförluster eller tillföra klor som en åtgärd mot den ickekompleta rening som då sker vid filtrationen. Vid låga temperaturer minskar också aktiviteten hos många mikrobiologiska predatorer och även aktiviteten hos de patogena tarmbakterierna minskar, något som ökar deras förmåga att överleva då de åker genom filtret. Faktorn med vilken antalet E.coli reduceras, som vanligen är mellan 100-1000, faller så lågt som till 2 vid temperaturer under 2°C (Huisman, m.fl., 1974).

5 RESULTAT

5.1 Studiebesök

Ett studiebesök har gjorts på Berggårdens vattenverk i Linköping, med Håkan Eng, driftstekniker på reningsverket, som guide. Berggårdens vattenverk tillhör Tekniska verken i Linköping. Tekniska verken besitter ett system som idag består av 72 mil vattenledningar, lika mycket avloppsledningar och 40 mil ledningar för dagvatten. Utöver Berggårdens vattenverk har Tekniska verken två andra vattenverk, Råberga, som tar sitt vatten från Stångån, samt ett mindre vattenverk i Ulrika, några mil utanför Linköping.

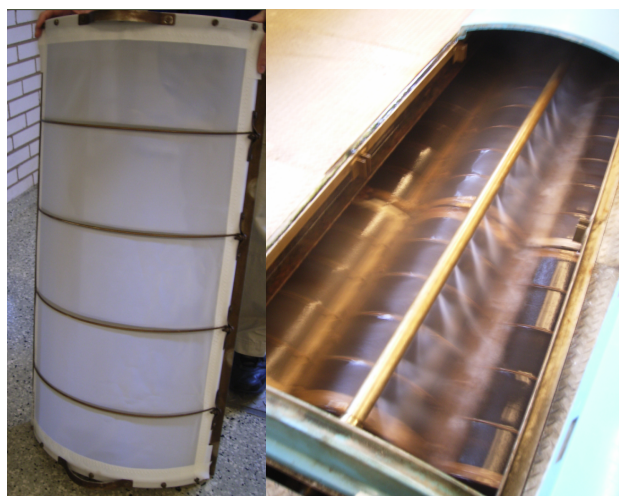
Det mesta av vattnet som ska bli dricksvatten i Linköping tas från Motala ström, Vättern, vid Ljungsjöns fördämning. Vattnet pumpas sedan i en 14 km lång rörledning till Berggårdens vattenverk. Tre råvattenpumpar med intaget 4 m under medelvattenytan i Motala ström pumpar vattnet genom den 14 km långa ledningen i katodskyddat stål till Berggårdens vattenverk. Rördiametern är 1 meter och rensvallrets spaltbredd är 1,5 cm. På Berggårdens vattenverk renas vattnet sen i flera steg innan det förs ut i vattenledningsnätet, se figur 6.



Figur 6. Vattenreningsprocessen vid Berggårdens vattenverk (Tekniska Verken, 2008).

I det första steget, steg 2 i figur 6, finns två mikrosilar som tar bort exempelvis alger och löv, se figur 7. Två korgbands-silar med maskinvidden 40 μm renar vattnet genom att sila bort föroreningarna. Silarnas yta är $2 \times 1\,500\text{ m}^2$ och de rensas automatiskt när siltrumman roterar.

Därefter kommer två filtreringssteg. Fyra snabbfilter av sand renar vattnet från resterna av fasta partiklar. Ytan mäter $4 \times 50\text{ m}^2$ och filterbäddens djup är 1 m. Kornstorleken hos sanden är 0,5-2,0 mm, och filterhastigheten är 8-10 m/h.



Figur 7. Korgbandssil, till höger i bruk

I botten finns filterrör samt en 10-15 cm bädd av grus och singel, med kornstorlek kring 10 mm, som förhindrar att sanden ligger mot rören. Denna filterbädd är bytt en gång sen starten 1968. Rören har 0,3 cm slitsar i vilka vattnet fångas upp. Snabbfiltren rensas automatiskt genom backspolning när $10\,000\text{ m}^3$ vatten har passerat. Spolningshastigheten är 7-8 m/h, optimalt är 5 m/h. Spolvattnet kommer från spolvattenreservoaren som rymmer 800 m^3 . En spolning kräver cirka 400 m^3 vatten. Vid backspolning floterar hela bädden, och rören spolas då rena. En spolning tar cirka 7 minuter och sker ungefär en gång per filter och dygn.

I de nästkommande långsamfiltren renas sedan vattnet biologiskt. Åtta stycken långsamfilter, $8 \times 1\,000\text{ m}^2$, finns på Berggårdens vattenverk. Filterbädden är 1 m djup och kornstorleken är 0,6-1,2 mm, se figur 8. Den sand som använd är Baskarpsand, samt ibland Vårgårdasand, från Västergötland. Flödet genom filtret är 0,17-0,24 m/h. Totalt ger dessa långsamfilter mellan $14\,000$ - $19\,000\text{ m}^3$ vatten per timme, eftersom alla körs samtidigt. Det är dock sällan maximalt flöde genom filtren. Långsamfiltren töms och renas mekaniskt. Tre centimeter på ytan skrapas bort en gång på hösten och en gång på våren, se figur 9. Vart fjärde år utförs en djuprening, då tas de 30 översta centimetrarna av filterbäddarna bort.



Figur 8. Filter i genomskärning



Figur 9. Sandbädd i långsamfilter under rensning.

Till sist desinficeras vattnet med klor, eftersom uppehållstiden i reservoaren är lång. Efterklorering sker med natriumhypoklorit och doseringen är cirka 0,33 g/l. Även pH-värdet justeras, och denna efteralkalisering sker med kalkvatten. En upplösningssanläggning för släckt teknisk kalk med sedimentering finns med en total kalklagringsvolym om 300 m^3 kalkvatten och en silo på 50 m^3 .

Det färdigbehandlade vattnet lagras i en reservoar innan det pumpas ut på vattenledningsnätet. Lagringstankarna är på $2 \times 5\text{ m}^3$, och det finns också en reservoar som mäter $10\,000\text{ m}^3$. Dricksvattenpumpstationen innehåller fyra pumpar med kapacitet $3 \times 1\,600\text{ m}^3/\text{h}$ och $1 \times 700\text{ m}^3/\text{h}$. Den samlade lagringskapaciteten är $35\,000\text{ m}^3$. Den utgående ledningens diameter är 800 mm. Mest vatten används på morgonen och kvällen, men vattenverkens produktion är jämn hela dygnet. Därför måste vattnet lagras så att det finns tillräckligt när behoven är större, och för att klara av eventuella driftavbrott.

Det finns två vattentorn i Linköping, ett i Berga och ett i Ljungsbro. De fungerar dels som extra reservoarer, då varje torn har en lagringskapacitet på $6\,000\text{ m}^3$, dels håller de trycket i ledningsnätet. Men det räcker inte alltid. För att fastigheter som ligger högt eller avses skall ha rätt tryck, passerar därför vattnet ett antal tryckstegringsstationer. Vattentornens nivå är 80 m över sjön Roxen.

De prover på vattenkvalitet som tas vid Linköpings Tekniska Verken är: konduktivitet, pH, färg, turbiditet, smak/lukt 20/20 C styrka, smak/lukt 20/20 C art, smak/lukt 40/50 C styrka, smak/lukt 40/50 C art, alkalinitet, kalcium, hårdhet, klorid, sulfat, COD-Mn, järn (FASAS), koppar(GFAAS) och mangan (FAAS).

Hela processen från råvatten till dricksvatten tar ett dygn, och processerna är igång dygnet runt. Råberga vattenverk tar vatten från Stångån och har en mer omfattande reningsprocess än Berggårdens vattenverk. Det färdiga vattnet är dock av samma kvalitet som Berggårdens, därför kan vattnet från de båda vattenverken köras ut i samma ledning, något som är ovanligt. Från Berggårdens och Råberga vattenverk pumpas varje dygn ut cirka 40 000 m³ vatten till invånarna i Linköping och närliggande orter.

5.2 Fältstudier

Vattenreningsanläggningarna som byggdes i de utvalda byarna längs Amazonfloden utformades av författaren till denna rapport, i samråd med handledare, och byggdes i samarbete med invånarna i byarna samt av Ankarstiftelsen lokalanställda personer. Allt material till anläggningarna är köpt i staden Leticia hos olika återförsäljare och har sedan fraktats till byarna. Sanden som användes i alla anläggningarna är också köpt i Leticia, men kommer ursprungligen från botten på Javarifloden, en biflod till Amazonfloden på den brasilianska sidan, se figur 3. Kornstorleken mäter cirka 0,5-1,5 mm.

5.2.1 Puerto Alegria

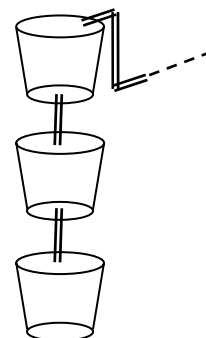
I byn Puerto Alegria på den peruanska sidan av Amazonfloden byggdes den första pilotanläggningen med endast sandfilter som reningsmetod. Här konstruerades och testades ett sandfilter i samma skala som filtret i pilotanläggningen i Puerto Triunfo, en anläggning som renar cirka 1 000 liter vatten om dagen, se figur 10. Vattnet som renas tas från en sedan tidigare borrarad brunn som ger vatten året om men där vattenkvaliteten ständigt är mycket dålig. Vattnet ur brunnen är kraftigt gulfärgat och innehåller stora mängder finkornig svart sand. Även i Puerto Alegria utnyttjas sedimentering, dock utan föregående flockulering, för att försöka avlägsna så mycket som möjligt av den svarta sanden innan filtrering.



1. Vatten från brunnen

2. Sandfiltrering

3. Renat vatten



Figur 10. Vattenreningsanläggningen i Puerto Alegria, även schematiskt.

Vattenreningsanläggningen placerades alldeles bredvid den sen tidigare borrarde brunnen i byn, en plats som också är mycket nära byns skola.

Steg 1 – Brunnsvatten

I det första steget, se figur 10, pumpas vatten från brunnen med hjälp av en bensindriven pump till en 1 000 literstunna. Vattnet transporteras upp till den första tunnan med hjälp av plaströr, 40 mm i diameter. I tunnan får vattnet stå i några timmar, företräddelsevis över natten, för att sedimentering ska ske.

Sedimenteringstanken har två utlopp. En är placerad ungefär 15 cm från botten av tanken och används för att föra vattnet vidare i anläggningen. Denna kran mäter cirka 25 mm i diameter. Anledningen till denna ringa storlek är försök att undvika att vattnet drar med sig det slam som ligger på botten då den klara fasen tas vidare till nästa reningssteg. Den andra kranen, som är placerad alldeles vid botten av tunnan, mäter 75 mm i diameter. Denna kran används för att avlägsna det slam som ansamlas på botten av tunnan vid sedimentering. Ett förlängande rör leder sedimentet från tunnan till marken där det deponeras.

Steg 2 – Långsam sandfiltrering

I detta steg filtreras vattnet, som tidigare sedimenterats, genom sand i ett långsamfilter. Detta sandfilter är byggt i en andra 1 000-literstunna, se figur 11. Vid botten är ett lager av grus placerat, cirka 20 cm djupt. Ovanpå gruset finns ett cirka 1 m djupt sandlager.



Figur 11. Sandfiltret i Puerto Alegria.

Vattnet som kommer in till filtret från sedimenteringstunnan sprids jämnt över filterytan med hjälp av en tvärgående plank som är placerad en bit ovanför filterytan. Vattnet landar först på plankan och sprids sedan över sanden. På så sätt undviks ett alltför högt tryck på en koncentrerad del av filterytan.

I botten av filtreringstanken sitter en kran som tar vattnet vidare till nästa tunna. Denna kran är från insidan täckt med ett mycket finmaskigt nät, 0,05 mm, som hindrar sanden från att följa med vattnet.

Steg 3 – Renat vatten

Från filtreringstanken får vattnet rinna vidare till den sista tanken, se figur 10, som också är i storleksordningen 1 000 liter. Från denna sista tunna leds vattnet ut i en kran där byborna kan hämta vatten, se figur 12.

Vattenreningsanläggningen är byggd på höjden, med fyra stora bärande pålar och tre avsatser i trä på vilka tunnorna står. Över brunnen har ett litet "hus" byggts för att skydda brunnsvattnet mot ytterligare kontamineringar, samt att skydda pumpen från stöld. På varje tunna i denna konstruktion är ett lock placerat som bör hållas på plats så mycket som möjligt för att undvika ny kontaminering. För bästa resultat bör anläggningen hållas igång konstant.

Resultat

Det största problemet som uppstod i Puerto Alegria var att den svarta sanden som fanns i brunnsvattnet på ett mycket tidigt stadium helt täppte igen sandfiltret. Detta på grund av att den svarta sanden var betydligt mer finkornig än sanden som filtret är byggt av. Detta löses dock genom mycket noggrann sedimentering av brunnsvattnet innan filtrering.

En annan svårighet i Puerto Alegria är att tillgången på elektricitet i denna by är begränsad. Ledningar finns och strömtillförsel är möjlig, men byn har bara elektricitet under 2-3 timmar varje eftermiddag. Anläggningen kan således inte köras närsomhelst under dagen, utan påfyllnad kan endast ske under eftermiddagen då pumpen som kräver ström fungerar. Detta ordnas dock genom att rutinemässigt varje eftermiddag fylla den översta tunnan och sedan låta vattnet i denna sedimentera över natten för att på morgonen tas vidare till filtreringssteget. På detta sätt blir sedimenteringstiden också så lång som tidigare nämnts krävdes

Vattnet som kommer ut som slutprodukt ur filtreringsanläggningen är mycket klart och rent, redan efter två dagars körning av anläggningen var skillnaden från det gula brunnsvattnet enorm. Vattnet har inte heller någon lukt och det smakar gott.

Pastor Roland Gomez har utsetts till vattenmästare i byn. Han var med under hela uppbyggnaden av vattenreningsanläggningen och han har också fått utbildning i hur filtreringsanläggningen ska skötas på bästa sätt. En mindre instruktionsbok har skrivits som Roland har fått ta del av, se bilaga 2.



Figur 12. Vatten från sandfiltret i Puerto Alegria.

5.2.2 Boyahuasu

I Boyahuasu, en by på colombiansk mark, har en annan pilotanläggning av liknande karaktär som den i Puerto Alegria konstruerats och byggts upp. Denna anläggning byggdes dock i något mindre skala, i tunnor på 1 000, 750 respektive 500 liter, och i denna by har försök gjorts på vatten som tagits direkt från en biflod då ingen brunn finns att tillgå.

Boyahuasu ligger relativt nära mynningen till bifloden och har således en mängd byar uppströms som kontaminerar floden. Denna vattenreningsanläggning beslutades bli placerad på en höjd, men alldeles nära floden nere i byn.

Steg 1 – Råvatten från bifloden

I det första steget, se figur 13, pumpas vatten från floden med hjälp av en bensindriven pump till en 1 000-literstunna, som fungerar som reservoar. Vattnet transporteras till den första tunnan med hjälp av plaströr, 40 millimeter i diameter. I tunnan får vattnet stå i några timmar, företrädesvis över natten, för att sedimentering ska ske. Sedimenteringstanken har, precis som i Puerto Alegria, två utlopp, ett för det rena vattnet och ett för sedimenteringsslammet.

Steg 2 – Långsam sandfiltrering

I detta steg sker långsamfiltrering genom sand. Detta sandfilter är byggt i en 750-literstunna, se figur 13. Vid botten är ett lager av grus placerat, cirka 200 millimeter djupt, och ovanpå detta är cirka 1 meter sand placerat. I botten av filtreringstanken sitter en kran för vattnet till

den sista tunnan. Denna kran är, precis som i Puerto Alegria, från insidan täckt med ett mycket finmaskigt nät, 0,05 millimeter, som hindrar sanden från att följa med vattnet.

Steg 3 – Renat vatten

Från filtreringstanken leds vattnet vidare till en mindre tunna, 500 liter, från vilken byborna kan hämta vatten. Även denna vattenreningsanläggning är byggd på höjden, med fyra stora bärande pålar och tre avsatser på vilka tunnorna står. För bästa resultat bör också denna anläggning hållas igång konstant.



Figur 13. Filtreringsanläggningen i Boyahuasu under uppbyggnad och test



Figur 14. Den färdiga anläggningen i Boyahuasu

Resultat

I Boyahuasu används vatten direkt från floden, vatten som innehåller betydligt fler partiklar och mer smuts av olika slag än vatten som tas direkt från en brunn. På grund av detta sätts filtret snabbt igen. Sedimentering under en längre tid minskar problemet något, men på det hela taget blir det en ohållbar lösning.

Vattnet som filtrerats genom sandfiltret i Boyahuasu ser visserligen klarare ut än flodvattnet, men är ändå inte lika klart som vattnet som kommer ur sandfiltret i Puerto Alegria.

5.2.3 Puerto Rico

Byn Puerto Rico är den by som ligger längst in i djungeln av byarna i denna studie, längs ytterligare en biflod på den colombianska sidan av Amazonfloden. I Puerto Rico har det varit svårt att borra en brunn med den enkla utrustning som finns att tillgå, och ett sandfilter för ytvattenrening i samma storlek som i Puerto Alegria har konstruerats även här. Vattnet för rening i anläggningen tas här direkt från bifloden. Till skillnad från Boyahuasu så ligger Puerto Rico långt inne i djungeln och har därför betydligt färre byar uppströms och kontamineringen torde vara betydligt mindre. Detta leder dock också till att byn under stora delar av året är mer eller mindre isolerad, då vattennivån i bifloden är så låg att man endast kan ta sig till byn i små kanoter.

Denna vattenreningsanläggning beslutades bli placerad mitt i byn, som i det här fallet är uppe på en höjd, cirka 15-20 meter ovanför floden.

Steg 1 – Råvatten från bifloden

I det första steget, se figur 15, pumpas vatten från floden med hjälp av en bensindriven pump till en 1 000-literstunna. Vattnet transporteras till den första tunnan med hjälp av plaströr, 40 millimeter i diameter. Dessa är nergrävda i marken. I den första tunnan får vattnet stå i några timmar för att sedimentering ska ske. Sedimenteringstanken har, precis som i Puerto Alegria och i Boyahuasu, två utlopp, ett för det rena vattnet och ett för sedimenteringsslammet.

Steg 2 – Långsam sandfiltrering

I detta steg sker långsamfiltreringen i ännu en 1 000-literstunna fylld med sand, och med grus i botten, cirka 200 millimeter djupt. I botten av filtreringstanken sitter en kran från vilken byborna kan hämta sitt vatten direkt från filtret. Kranen är från insidan täckt med ett mycket finmaskigt nät, 0,05 millimeter, som hindrar sanden från att följa med det renade vattnet.

Resultat

Den största svårigheten med Puerto Rico är byns avlägsna placering. Det tar flera timmar att ta sig till byn med en snabb båt från staden Leticia, och under flera månader är byn mer eller mindre isolerad. Detta ställde till problem även vid uppbyggnaden av filtreringsanläggningen. Då verktyg eller material fattades, eller då vattenprover skulle tas, var det en mycket lång väg in till staden Leticia. Detta resulterade i improvisation i konstruktionen, och icke tillförlitliga vattenprover.

Vattenreningsanläggningen i Puerto Rico blev dessvärre inte klar under denna vistelse i Colombia. Den konstruktion som nu står i byn färdigställdes våren 2007 av Ankarstiftelsens anställda på plats.

Vattnet från anläggningen är av likvärdig kvalitet som Boyahuasus anläggning. Filtret håller dock längre och behöver inte bytas lika ofta här som det krävs i Boyahuasu.

Under den colombianska sommaren 2007, som var mycket varm och då vattenståndet var lågt, användes denna anläggning flitigt (Gomez Lopez, 2007). Byn köpte en slang på 200 meter för att enklare kunna fylla den översta tanken och snabbare få filtrerat, renare dricksvatten.



Figur 15. Anläggningen i Puerto Rico.

5.2.4 Esaias

Tester för att undersöka om det finns möjlighet att använda sandfiltrering i mindre skala har också utförts. En familj boende nere vid den stora Amazonfloden inne i Leticia hade under en period ett mindre sandfilter stående hos sig, se figur 16. Filtret hade ungefär samma höjd som de tidigare nämnda, cirka en meter, men dess diameter var ungefär en tredjedel av den hos de större. Även detta filter hade en stödjande grund av grus i botten, cirka 200 millimeter djupt.

Ett filter av denna storlek är tänkt att kunna användas på hushållsnivå ute i byarna. Familjen Esaias bor precis vid floden, med huset delvis uppbyggt på pålar för att undvika de årliga översvämningarna. Konstruktionen av detta lilla filter är enkel, endast ett sandfilter med en kran i botten, utan behållare varken före eller efter. Endast en decimeters djup i tunnan ovanför sanden fungerar som reservoar. När vatten behövs öppnas kranen i botten, men samtidigt fyller man på med en hink flodvatten på toppen av filtret. På så sätt ser man till att filtret aldrig går torrt. Underhåll sker på samma sätt som de andra filtren, med en skrapning på ytan av sanden då flödet är för långsamt.

Resultat

Vattnet i huvudfloden vid Leticia är kraftigt kontaminerat och nersmutsat. Därför sattes filtret igen efter mycket kort tid, och ett långvarigt resultat gick över huvud taget inte att få fram. Filtret var igång i cirka en vecka men hade i stort sett inget flöde efter bara ett par dagar. På grund av den korta tid som filtret hade ett flöde kunde slutsatsen dras att ingen mikroflora byggts upp, och reningsgraden på vattnet var mycket begränsad. Dock var det vatten som trots allt kom ur filtret betydligt klarare än flodvattnet som hällts i på toppen.



Figur 16. Prototyp av mindre sandfilter för vattenrening på hushållsnivå.

5.3 Vattenkvalitetsstudier

En mängd olika vattenkvalitetstester gjordes under vistelsen i Colombia. Som referens till de prover som senare togs i de olika pilotanläggningarna gjordes de tester som är redovisade i tabell 3. De flesta redovisade tester är utförda av företaget Rio Gaseosa i Leticia. Prover markerade med en stjärna, *, är dock analyser utförda med hemmatest från företaget Grip Consulting i Sverige. Testen utfördes med färgstickor som avläses mot referenser. I motsvarande bakterietest blandas en näringslösning med provvattnet och detta hålls sedan ut på en agarplatta. Efter cirka 24 timmar läses provplattan av genom att antalet kolonier räknas.

Enheter och gränsvärden skiljer sig ibland något mellan de olika analyserna. I dessa fall redovisas båda enheter och gränsvärden på olika rader för den parametern. Vissa tester har inte heller utförts vid varje tillfälle.

Som visas i tabell 3 var turbiditeten i huvudfloden mycket hög, med ett värde på 28 NTU (nephelometric turbidity units). Gränsvärdet hos Rio Gaseosa går vid 2 NTU, från tidigare tester vid 5. Även färgtalet var mycket högt, 70 Pt/L (platina per liter) i förhållande till 15 som är gränsvärdet. Nitrathalten var också något hög, men övriga värden klarade sig förvånansvärt bra. Värdet på pH var det bästa av alla tester gjorda, med avseende på neutralitet.

Tabell 3. Referensanalyser

Fysikalisk-kemiska resultat

Parametrar	Gränsvärden, Rio Gaseosa resp. Grip (*)	Regnvatten	Huvudfloden, februari 2007	Bifloden vid Puerto Rico, oktober 2005
pH	6,5-9,0	6,12	6,83	5,83
Turbiditet	< 2,0 NTU	-	28	-
	< 5,0 NTU	< 0,1	-	< 5
Färg	< 15 Pt/L	0	70	0
CaCO ₃	160 mg/dl	-	125	-
	< 150 CaCO ₃	0,2	-	0,3
Nitrit, NO ₂	0,1 mg/dl	0	0,05	0,05
Nitrat, NO ₃	10 mg/dl	-	25	-
	< 45 mg/L	0	-	25
Järn	0,3 mg/dl	-	0,1	-
	< 0,3 ppm Fe	0	-	0,3
Alkalinitet *	100 mg/dl	-	72	-
	< 100 mmol/L	0,2	-	0,2
Klorid	250 mg/dl	-	16	-
	< 250 Cl-mg/L	8	-	6
Klor total *	0,2-1,0 mg/dl	-	0	-
	0,6-1,2	0	-	0

Mikrobiologiska resultat

Bakterier	Gränsvärden, Rio Gaseosa resp. Grip (*)	Regnvatten	Huvudfloden, februari 2007	Bifloden vid Puerto Rico, oktober 2005
Mesofila bakterier	100 /100 ml	6 600	-	-
Coliforma, total	0 /100 ml	32	-	-
Coliforma fekala	0 /100 ml	Inte detekterat	-	-

Inga tester gjordes på bakteriehalten i den stora floden, se tabell 3, detta på grund av tidsbrist på laboratoriet, men också eftersom kontamineringen i huvudfloden är uppenbar. Dessutom har tester från 2005 på huvudfloden i närheten av Puerto Triunfo visat på högt bakterieinnehåll. Med alla byar längs flodkanterna och den ständiga och stora båttrafiken på huvudleden är den inte en lämplig källa för dricksvatten, oavsett behandling.

Analyserna av regnvatten, som samlas upp i kärl vid husväggen med hjälp av stuprännor från taket, visade att detta vatten är tillräckligt bra som dricksvatten, med goda värden på de kemiska och fysikaliska parametrarna, se tabell 3. Bakteriehalten i regnvattnet, tagit direkt från en stupränna, överstiger dock Rio Gaseosas gränsvärden, men betydligt mindre än både pilotanläggningen i Puerto Triunfo, sandfiltreringsanläggningarna och, givetvis, det obehandlade flodvattnet. De mesofila bakterierna visade nivåer på 6 600 /100 ml och de totala coliforma endast 32 /100 ml, medan de fekala coliforma inte kunde detekteras alls i regnvattnet.

5.3.1 Puerto Alegria

Tabell 4 visar testresultat från Puerto Alegria. Även här är vissa analyser utförda av Rio Gaseosa i Leticia, medan de prover som är markerade med en stjärna, *, är analyser utförda med hemmatest från företaget Grip Consulting i Sverige.

Enheter och gränsvärden skiljer sig vad gäller vissa tester mellan de olika analyserna. I dessa fall redovisas båda enheter och gränsvärden på olika rader för den parametern. Vissa tester har inte heller utförts vid varje tillfälle.

I tabell 4 visar de analyser som gjorts på vattnet från brunnen i Puerto Alegria att både turbiditeten och färgen här är mycket hög. Gränsvärdet för turbiditeten ligger vid 2 NTU och för färgen vid 15 Pt/L, och de uppmätta värdena är 74 NTU respektive 100 Pt/L. Även CaCO_3 , nitrat och alkalinitet är betydligt för högt, medan övriga värden ligger på gränsen. Endast klorid, nitrit och klorhalt klarar sig bra under gränserna.

Efter behandling, och då bara några dagar efter uppförandet av filtreringsanläggningen, har både turbiditet och färg minskat markant. Turbiditeten har gått ner till 5 NTU och färgen ligger på 30 Pt/L. Båda är fortfarande över gränsen, men båda värdena har förbättrats avsevärt. Även järnhalten i vattnet har minskat, från 0,5 till 0 mg/dl efter behandling.

Anmärkningsvärt i Puerto Alegria är att både värdena för CaCO_3 , nitrit, nitrat och alkalinitet har ökat efter sandfiltreringen.



Figur 17. Obehandlat och behandlat vatten i Puerto Alegria.

Tabell 4. Analyser från Puerto Alegria

Fysikalisk-kemiska resultat

Parametrar	Gränsvärden, Rio Gaseosa resp. Grip (*)	Vatten från brunnen, februari 2007	Efter behandling, februari 2007	Innan behandling, januari 2008	Efter behandling, januari 2008
pH	6,5-9,0	6,7	7,0	6,5	5-6,5
Turbiditet	< 2,0 NTU	74	5,0	-	-
Färg	< 15 Pt/L	100	30	-	-
CaCO ₃	160 mg/dl	302	320	-	-
Hårdhet *	dH	-	-	0-3	0-3
Nitrit, NO ₂	0,1 mg/dl	0,05	1,0	-	-
*	0 ppm	-	-	0	0
Nitrat, NO ₃	10 mg/dl	25	50	-	-
*	0-10 ppm	-	-	0	10
Järn	0,3 mg/dl	0,5	0	-	-
*	0-0,3 ppm	-	-	0	0
Alkalinitet	100 mg/dl	160	205	-	-
*	< 60 ppm HCO ₃	-	-	180	120
Koppar *	0-1,3 ppm	-	-	0	0
Klorid	250 mg/dl	8	8	-	-
Klor total	0,2-1,0 mg/dl	0	0	-	-
*	0-4 ppm Cl	-	-	4	4

Mikrobiologiska resultat

Bakterier	Gränsvärden, Rio Gaseosa resp. Grip (*)	Vatten från brunnen, februari 2007	Efter behandling, februari 2007	Innan behandling, januari 2008	Efter behandling, januari 2008
Mesofila bakterier	100 /100 ml	-	> 50 000	> 50 000	> 50 000
Coliforma, total	0 /100 ml	-	0	> 50 000	30 000
Coliforma fekala	0 /100 ml	-	0	2 000	200

Tittar man dock på värdena som uppmättes ett år efter uppförandet av filteranläggningen, se tabell 4, kan man se att alkaliniteten minskar med filtreringen. pH-värdet har gått upp något med filtreringen vid den första mätningen, medan pH-värdet minskar något med filtreringen i anläggningen ett år senare.

Vad gäller bakteriehalten i anläggningen finns värden från efter filtreringen när den bara varit igång några dagar. Dessa värden visar på stora mängder mesofila bakterier, men däremot inga fekala eller andra coliforma bakterier. När sedan anläggningen fått arbeta i ett år ser man att mängden mesofila bakterier inte minskar med anläggningen. Däremot kan man i brunnsvattnet, innan behandling, detektera stora mängder coliforma bakterier och även en viss mängd fekala coliforma bakterier. Dessa minskar något under filtrering, för den coliforma, totala, från > 50 000 till 30 000 och för de fekala coliforma från 2 000 till 200.

5.3.2 Puerto Rico

På grund av problemen med avståndet till byn Puerto Rico, samt att filtreringsanläggningen inte hann bli färdig under vistelsen i Colombia, saknas resultat av vattenprover för denna anläggning. Prover har dock sedan tidigare tagits på bifloden vid Puerto Rico, se tabell 3 ovan. Dessa prover visar att alla fysikalisk-kemiska parametrar ligger under gränsvärdena. Endast pH-värdet är något lågt.

5.3.3 Boyahuasu

Dessa analyser är utförda med hemmatest från företaget Grip Consulting i Sverige. Testen utfördes med färgstickor som avläses mot referenser. I motsvarande bakterietest blandas en näringslösning med provvattnet och detta hålls sedan ut på en agarplatta. Efter cirka 24 timmar läses provplattan av genom att antalet kolonier räknas.

Tabell 5. Analyser från Boyahuasu

Fysikalisk-kemiska resultat

Parametrar	Gränsvärden, Rio Gaseosa resp. Grip (*)	Innan behandling, januari 2008	Efter behandling, januari 2008
pH	6,5-9,0	-	6,5-7,5
Hårdhet *	dH	-	25
Nitrit, NO ₂	0 ppm	-	0
Nitrat, NO ₃	0-10 ppm	-	0
Järn	0-0,3 ppm	-	0,3 eller 5
Alkalinitet	< 60 ppm HCO ₃	-	240
Koppar	0-1,3 ppm	-	0
Klor total	0-4 ppm Cl	-	0,2

(Fortsättning, tabell 5)

Mikrobiologiska resultat

Bakterier	Gränsvärden, Rio Gaseosa resp. Grip (*)	Innan behandling, januari 2008	Efter behandling, januari 2008
Mesofila bakterier	100 /100 ml	> 50 000	> 50 000
Coliforma, total	0 /100 ml	> 50 000	> 50 000
Coliforma fekala	0 /100 ml	3 000	1 000

Analysresultat från prover på vattnet ur sandfiltreringsanläggningen i Boyahuasu, se tabell 5, visar att hårdhet och alkalinitet är höga i förhållande till gränsvärdena, 25 respektive 240 ppm HCO_3 . Övriga värden är bra, och pH håller sig väl inom angivna riktvärden.

Bakteriehalten i vattnet som behandlats i anläggningen i byn Boyahuasu är dock anmärkningsvärt hög. Innan behandling var halten mesofila bakterier mer än 50 000 /100 ml och samma siffra gällde för de totala coliforma bakterierna. De fekala coliforma bakterierna låg innan behandling på en halt av 3 000 /100 ml. Efter behandling i sandfiltreringsanläggningen hade varken de mesofila bakterierna eller de totala coliforma bakterierna minskat något i antal, och de fekala coliforma hade endast gått ner till 1 000 /100 ml.

5.3.4 Esaias

På grund av den korta tid som filtret hade ett flöde antogs att ingen mikroflora hunnit bildas i filtret. Därför beslutades att inga prover skulle tas på detta vatten.

5.3.5 Puerto Triunfo

Vissa av analyserna från Puerto Triunfo, som visas i tabell 6, är utförda av personal på Rio Gaseosa i Leticia. De prover dock som är markerade med en stjärna, *, är, som nämnt tidigare, analyser som är utförda med ett så kallat hemmatest. Material för dessa tester är inköpta från företaget Grip Consulting i Sverige. Testen utfördes med färgstickor som avläses mot referenser. I motsvarande bakterietest blandas en näringslösning med provvattnet och detta hålls sedan ut på en agarplatta. Efter cirka 24 timmar läses provplattan av genom att antalet kolonier räknas.

Enheter och gränsvärden skiljer sig vad gäller vissa tester mellan de olika analyserna. I dessa fall redovisas båda enheter och gränsvärden på olika rader för den parametern. Vissa tester har inte heller utförts vid varje tillfälle.

Av de prover som togs i bifloden vid Puerto Triunfo, både hösten 2005 och i januari 2008, kan man i tabell 6 se att alla fysikalisk-kemiska parametrar är inom önskvärda gränser. Bakteriehalten är dock mycket över gränserna i båda fallen. Mängden mesofila bakterierna är mer än 10 000 /100 ml under 2005, gränsvärdet ligger på 100 /100 ml, och detta värde var uppe i över 50 000 /100 ml när samma tester gjordes i januari 2008. De totala coliforma bakterierna i bifloden nådde ett värde av 5 000 /100 ml vid proverna 2005, där gränsvärdet är 0, och samma tester visade över 50 000 /100 ml drygt två år senare. De fekala coliforma var hösten 2005 icke detekterbara, men visade i januari 2008 ett värde på 4 000 /100 ml i bifloden.

Tabell 6. Resultat från Puerto Triunfo, november 2005

Fysikalisk-kemiska resultat

Parametrar	Gränsvärden, Rio Gaseosa resp. Grip (*)	Huvudfloden vid Puerto Triunfo	Bifloden vid Puerto Triunfo	Efter behandling i vattenrenings- anläggningen
pH	6,5-9,0	7,45	6,38	3,93
Turbiditet	< 5 NTU	< 5	5	< 0,1
Färg	< 15 Pt/L	0	0	0
CaCO ₃	< 150 CaCO ₃	1,8	0,2	0,2
Nitrit	< 0,1 mg/L	0,05	0,05	0
Nitrat	< 45 mg/L	25	25	10
Järn	< 0,3 ppm Fe	0,1	0,3	0
Alkalinitet	< 100 mmol/L	1,1	0,2	0
Klorid	< 250 Cl-mg/L	20	6	6
Klor total	0,6-1,2 mg/L	0	0	0

Mikrobiologiska resultat

Bakterier	Gränsvärden, Rio Gaseosa resp. Grip (*)	Huvudfloden vid Puerto Triunfo	Bifloden vid Puerto Triunfo	Efter behandling i vattenrenings- anläggningen
Mesofila bakterier	< 100 /100 ml	7 900	> 10 000	6 800
Coliforma, total	0 /100 ml	2 000	5 000	900
Coliforma, fekala	0 / 100 ml	Inte detekterat	Inte detekterat	Inte detekterat

Efter behandling i vattenreningsanläggningen visade tester 2005 att inga fysikaliska eller kemiska parametrar överskreds hos vattnet, enligt Rio Gaseosas gränsvärden. Även mängden bakterier hade reducerats kraftigt, men låg fortfarande högt över gränserna. Efter flockulering och sedimentering var nivåerna av mesofila bakterier och totala coliforma bakterier 8 400 /100 ml respektive 880 /100 ml. Gränserna för dessa är mindre än 100 för de mesofila bakterierna och 0 för den totala coliforma. Efter det andra steget, sandfiltreringen, hade antalet minskat ytterligare. Mängden mesofila bakterier var då nere i 6 800 /100 ml. De totala coliforma hade dock ökat något, till 900 /100 ml. De fekala coliforma bakterierna var inte detekterbara i något steg.

Tabell 7. Resultat från Puerto Triunfo, februari 2007 samt januari 2008

Fysikalisk-kemiska resultat

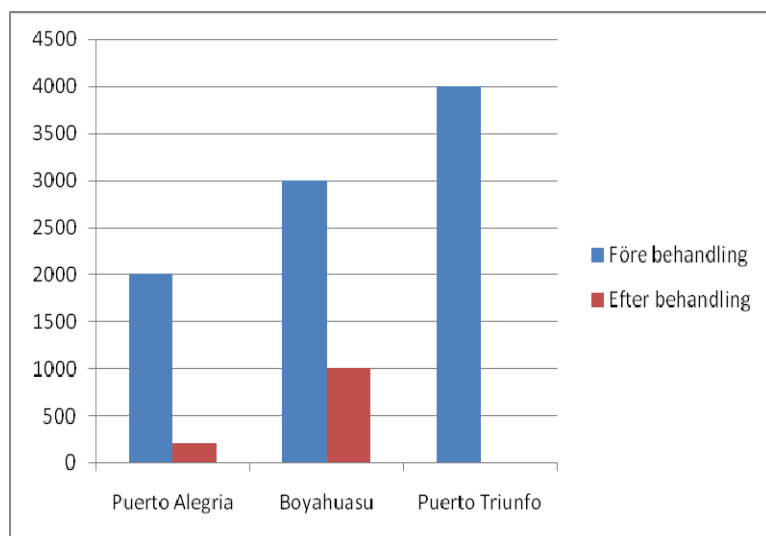
Parametrar	Gränsvärden, Rio Gaseosa resp. Grip (*)	Efter behandling, februari 2007	Bifloden vid Puerto Triunfo, januari 2008	Efter behandling, januari 2008
pH	6,5-9,0	-	2,0	2,0
Turbiditet	< 2,0 NTU	-	-	-
Färg	< 15 Pt/L	-	-	-
CaCO ₃	160 mg/dl	-	0	0
Hårdhet *	dH	-	0	0
Nitrit	0,1 mg/dl	-	-	-
*	0 ppm	-	0	0
Nitrat	10 mg/dl	-	-	-
*	0-10 ppm	-	0	0
Järn	0,3 mg/dl	-	-	-
*	0-0,3 ppm	-	0	0
Alkalinitet	100 mg/dl	-	-	-
*	< 60 ppm HCO ₃	-	0	0
Koppar *	0-1,3 ppm	-	0	0
Klorid	250 mg/dl	-	-	-
Klor total	0,2-1,0 mg/dl	-	-	-
*	0-4 ppm Cl	-	1	4

(Fortsättning, tabell 7)

Mikrobiologiska resultat

Bakterier	Gränsvärden, Rio Gaseosa resp. Grip (*)	Efter behandling, februari 2007	Bifloden vid Puerto Triunfo, januari 2008	Efter behandling, januari 2008
Mesofila bakterier	100 /100 ml	20 000	>50,000	>50,000
Coliforma, total	0 /100 ml	0	>50,000	>50,000
Coliforma, fekala	0 /100 ml	0	4000	0
Bakterietest (antal kolonier efter 24 h) *	5 st.	-	> 1 000	50

Vid analyserna som gjordes på det behandlade vattnet gällande bakteriehalten i februari 2007, se tabell 7, så låg halten mesofila bakterier på 20 000, betydligt högre än under hösten 2005. Dock kunde inga totala eller fekala coliforma bakterier detekteras i det behandlade vattnet. När nya tester gjordes i januari 2008 var dock halterna mycket över alla tidigare uppmätta värden. Både de mesofila bakterierna och de totala coliforma låg på värden över 50 000 /100 ml, lika höga värden som det obehandlade vattnet i floden mätte. De fekala coliforma bakterierna gick dock inte att påvisa närvaro av i det behandlade vattnet. Det hemmatest som gjordes på bakteriemängden i det behandlade vattnet visade på 50 kolonier, gränsvärdet låg vid 5. I det obehandlade vattnet visade samma test på 1 000 kolonier.



Figur 18. Mängden coliforma fekala bakterier i vattnet från tre byar, före och efter behandling.

I figur 18 demonstreras reduktionen av coliforma fekala bakterier i vattnet från pilotanläggningen i Puerto Triunfo i förhållande till två av sandfiltreringsanläggningarna. Diagrammet visar att i en anläggning där filtreringen föregås av kemisk flockulering och sedimentering sker bakteriereduktionen allra mest effektivt.

En fysikalisk parameter som ändrade sig kraftigt i pilotanläggningen i Puerto Triunfo under perioden för uppförandet 2005 var pH-värdet. pH-värdet minskade kraftigt under behand-

lingen, låg på 6,38 i flodvattnet, men var nere på 4,93 efter de första stegen och så lågt som 3,93 efter behandlingen. Testerna från januari 2008 visar på ett ännu lägre pH-värde, så lågt som pH-värde 2 uppmättes både i bifloden och i det behandlade vattnet.

6 DISKUSSION

Leticia och byarna i området kring Amazonfloden i Sydamerika är i en utvecklingsfas. I de flesta hushåll inne i staden Leticia finns ett kranvattensystem. Vattnet distribueras främst från vattenreningsanläggningen i staden, Tratamiento de Agua. Detta vatten är inte drickbart men kan användas för tvätt, matlagning och hygien. Många hushåll i staden har också sina egna plasttankar på hustaken i vilka de samlar regnvatten som är drickbart och dricksvatten säljs i flaskor från läskföretagen som har sina egna brunnar. Byarna längs floden är i motsats helt beroende av sitt regnvatten som de samlar in, eller från hjälp av organisationer som Ankarstiftelsen, som i vissa fall kan lösa problemen genom att borra brunnar eller bygga vattenreningsanläggningar.

Avfallshanteringen i byarna längs floden fungerar bra. Toaletterna finns och dessa är aldrig placerade nära floden eller andra vattendrag. Situationen i Leticia vad gäller avfallsvatten är dock helt annorlunda. Här spolas allt avfallsvatten rakt ut i den stora Amazonfloden, mitt i staden och utan någon som helst förbehandling.

Detta examensarbete visar att bristen på rent dricksvatten i området är stort. När bybor tvingas dricka vatten från floden under torrperioder riskerar de att ådra sig stora hälsoproblem. Det är uppenbart att kvaliteten på detta vatten inte är acceptabelt som dricksvatten. Det är på många ställen inte heller möjligt att borra brunnar. Av de sedan tidigare borrade brunnar som ändå finns på sina ställen har många visat sig inte ge friskt vatten (Andersson & Erlandsson, 2006). Under torrperioder ger brunnarna inte tillräckligt med vatten och under regnperioder är vattnet från brunnarna illaluktande och missfärgat. Därför är en reningsanläggning för ytvatten ett bra alternativ för en by i försök att reducera hälsoproblemen. Detta projekt resulterade i fyra pilotanläggningar för behandling av ytvatten, med hjälp av sandfiltrering, i Amazonas.

Analyser av det obehandlade vattnet i Amazonas, taget från huvudfloden, bifloder och brunnar, visade att vattnet är starkt kontaminerat med bakterier och parasiter av olika slag. Turbiditeten är också hög i vattnet på de flesta ställen, och vattnet innehåller ofta stora mängder organiskt material. Vattnet i de brunnar som analyserats är också oftast starkt missfärgat.

Sandfiltreringsanläggningarna i de olika byarna gav den positiva effekten att utseendet, färgen och lukten på det filtrerade vattnet kraftigt förbättrades. Vattnet som gått genom anläggningen var klart och transparent, och saknade dåligt lukt, oavsett om källan var en biflod eller en brunn. Om dessutom den sista tunnan placeras en bit ner i marken kan det rena vattnet hållas relativt kallt vilket gör det godare att dricka i den tropiska värme som råder i området, samt håller sannolikt bakterietillväxten nere. De kemiska parametrar som analyserats tyder inte på några problem med vattnet från filteranläggningarna och pH-värdet håller sig på en god nivå.

Det verkar dock svårt att, med endast ett sandfilter som reningsmetod, reducera mängden bakterier i vattnet till lika låga nivåer som de som uppvisats från pilotanläggningen med flockulering i Puerto Triunfo, se figur 18. Flockuleringskemikalierna har ju en viss avdödande effekt, och de effektiviserar dessutom sedimenteringen där många bakterier innesluts och följer med till botten. Denna del av bakteriereduceringen saknas i sandfilteranläggningarna. Ju fler filter som används, desto större torde dock reduktionen av bakterier kunna bli. Med en korrekt skötsel av sandfilteranläggningen så ökar, enligt teorin, filtrets kapacitet och en god mikroflo- ra byggs upp som reducerar bakteriemängden ytterligare.

En vanlig metod att eliminera bakterier är genom att tillsätta klor, men då detta är en toxisk kemikalie vid överdosering och som är farlig då den inte hanteras varsamt, samt dessutom ganska dyr, så är en behandlingsmetod med klor inte ett passande alternativ i byarna längs Amazonfloden. Jan-Åke Ledel på Mark- och Vatten i Växjö hävdar dock att det är mycket

svårt att överdosera klor. Smaken och lukten av klor är så distinkt att vattnet inte är drickbart ens vid doser som ligger under gränsen för vad som anses vara toxiskt (Ledel, pers. komm. 2007). Men ett barn, som inte riktigt känner gränsen för smak och lukt, skulle kunna få i sig alldeles för höga doser, och det är inte lämpligt att utsätta byborna för denna risk. Klor kan också vara cancerogent då det reagerar med vissa organiska ämnen i vattnet (Svenska Kommunförbundet, 1996).

Det problem som blivit tydligt under detta projekt är att många bifloder, och även huvudfloden, i Amazonasområdet innehåller höga halter organiskt material. Detta göra att en reningsmetod med endast sandfiltrering, och endast ett filter, blir svår att få att fungera och i längden kräver mycket arbete. Vid användandet av endast ett sandfilter krävs mycket underhåll och frekvent utbyte av sanden. Av det studiebesök som gjordes på ett vattenverk här i Sverige framkom att även vid rening av det redan från början klara vattnet som finns här i Sverige så krävs flera filter, både mekaniska filter och snabbfilter som förbehandling för att sedan långsamfiltrena ska kunna jobba effektivt. Filtren sätts annars mycket snabbt igen (Eng, pers. komm. 2007). Kemisk flockulering som ett förbehandlingssteg, som i pilotanläggningen i Puerto Triunfo, är ett effektivt alternativ, dock med vissa nackdelar som framkom under studien i Puerto Triunfo. En lösning med flera filter på rad skulle troligtvis fungera bra. Det första filtret skulle visserligen med stor sannolikhet kräva stort underhåll men de nästkommande filtren skulle fungera som filtret i Puerto Triunfo och här skulle en fin mikroflora få möjlighet att bildas utan att störa flödet.

En fördel med att inte använda flockuleringskemikalier är att vattnets pH då inte sjunker när det går genom anläggningen. Vattnet från pilotanläggningen i Puerto Triunfo visade stora pH-sänkningar på grund av flockuleringskemikalierna. Vatten med lågt pH är inte farligt att dricka i sig, det råder kring pH 3 i magen, men det kan frigöra metaller från ledningarna det transporteras i eller i kokkärlen det kokas i. Surt vatten kan också frigöra tungmetaller som är bundna i det organiska materialet i vattnet.

En analys som inte gjorts på vattnet från de olika sandfiltren, och inte heller på vattnet från pilotanläggningen i Puerto Triunfo, är just den eventuella närvaron av tungmetaller. Tungmetaller kan orsaka stora hälsoproblem, och det vore önskvärt att kunna kontrollera förekomsten av dessa i vattnet. Vattenprover för tester för tungmetaller måste skickas till Colombias huvudstad Bogota. Dessa tar ett par veckor att få svar på, tid som inte fanns kvar efter att anläggningarna var uppbyggda.

En stor felkälla i detta projekt är den begränsning i vattentester som kunnat tas. För att få en klar bild av anläggningarnas effektivitet skulle en noggrann undersökning, med tester varje vecka under ett års tid, ha varit önskvärd. Detta var dock inte möjligt, varken ekonomiskt eller tidsmässigt. Eftersom denna studie inte visar hur parametrarna varierar över tid så ger den inte heller någon tydlig bild av hur vattenkvaliteten i floden ändras under året. Därför kan vattnet också under olika delar av året ha olika kvalitet efter behandling genom ett sandfilter. För att i fortsättningen kunna kontrollera dessa parametrar kommer frekventa tester göras på vatten från alla anläggningarna. Ankarstiftelsen, med hjälp av lokalanställda, ansvarar för dessa tester. Kommunikationen med de anställda i Colombia är dock ibland svår att upprätthålla, på grund av platsens isolering och språkbarriärer, och en stor insats krävs även härifrån Sverige.

Underhåll av sandfiltrena är av största betydelse för att kunna hålla funktionen uppe. En invånare i varje by som fått ett sandfilter har gjorts ansvarig för vattenreningen. Denna person, särskilt i Puerto Alegria, var mycket engagerad under uppbyggnaden av sandfilteranläggningarna, och förhoppningar om ansvar och god skötsel finns. En litet häfte, som beskriver funktion och underhåll av filtret, skrevs på spanska och delades ut till de ansvariga, som också fick praktiska instruktioner på plats, se bilaga 1 och 2.

Ytterligare förbättringar kan i framtiden göras för eventuella sandfilteranläggningar i Amazonasområdet. En huvudsak som bör övervägas är möjligheten att byta ut den bensindrivna pump som i de flesta av de aktuella byarna pumpar upp vattnet till det första steget i anläggningarna. Denna skulle kanske kunna bytas ut mot en eldriven pump, eller ännu hellre, en pump som drivs av solceller. Solceller är betydligt mer kostsamma och komplicerade än bensin och el, men det är i längden en mer hållbar och miljövänlig lösning.

En annan lösning som skulle vara intressant för vattenrening i Amazonas kan vara användandet av naturliga flockulenter. Ett exempel på sådana är Moringa, som används i vissa områden i Afrika. Mer att läsa om detta finns i Kerebe Afwerke Ghebremichael's avhandling *Moringa seed and pumice as alternative natural materials for drinking water treatment* från 2004. Frågan är om det finns någon motsvarande naturlig flockulent i Amazonas.

En stor aspekt i vattenfrågan är alltid den kulturella. Vid besök i byarna visar befolkningen alltid stort intresse för en vattenreningsanläggning och viljan att hjälpa till är stor. Dock kan man vid återbesök få en känsla av att anläggningen inte används alls lika frekvent som det påpekas. Vid det senaste besöket i Puerto Triunfo stod sandfiltret utan vatten, vilket påverkar filtret mycket negativt, och anläggningen kändes allmänt förfallen och bevuxen. Det är givetvis naturligt och självklart att byborna i första hand använder sig av regnvatten då detta finns att tillgå. Det är trots allt det renaste vattnet som analyserats, och kanske finns det bättre tillgång till det än vad som framkommit. Ändå kommer det från olika byar ofta in förfrågningar om vattenreningsanläggningar eller brunnar. Är det kanske som med kyrkorna i byarna, som ständigt står tomma men ändå önskas, en statussymbol som gör byn välansedd och ger den ett gott rykte?

Om befolkningen utan sandfilteringsanläggningarna inte hade haft tillgång till regnvatten och därför hade druckit det orenade vattnet direkt från brunnen eller floden så är det naturligtvis bättre att dricka vattnet från filteringsanläggningen. En viss bakteriereduktion har med största sannolikhet alltid skett genom ett sandfilter och vattnet både smakar bättre och ser bättre ut då det filterats. Det är dock viktigt att detta vatten inte ersätter bättre alternativ, exempelvis kokat vatten eller regnvatten. Om man ska rekommendera befolkningen i byarna att dricka vatten från sandfilteranläggningarna måste bakteriereduktionen förbättras avsevärt. Vattnets får inte bara se rent ut, det måste även uppfylla vissa krav. Man kan diskutera var gränsen för dessa krav ska gå. Detta är en komplex fråga som kräver mycket kunskap och tanke, och det är viktigt att få de redan existerande anläggningarna till att fungera på ett tillfredställande sätt innan man fortsätter att bygga fler. Det är också viktigt att inte tillämpa en och samma metod på alla platser där en dricksvattenlösning av något slag behövs, utan varje plats kräver sin unika lösning.

6.1 Utvärdering av pilotanläggning från MFS-projekt

Efter uppförandet av pilotanläggningen i byn Puerto Triunfo 2005 visade vattenproverna goda resultat, med alla fysikaliska och kemiska parametrar inom gränsvärdena och en mycket god reduktion av bakteriehalten i vattnet. Anläggningen gav vatten som såg, luktade och smakade gott. Dessutom höll vattnet en god temperatur tack vare att den sista tunnan placerats en bit ner i marken. Byn verkade dessutom vara mycket nöjd med sin anläggning och den såg ut att användas flitigt. Resonemanget som fördes då var att vattnet som kommer ur pilotanläggningen är betydligt mer tjänligt att dricka än det vatten som kommer direkt ur floden och som annars är det enda alternativet. Detta även om bakteriehalten i det behandlade vattnet inte är under gränserna, eller ens i närheten av dessa.

Vid senare tester i Puerto Triunfo visade vattnet från anläggningen fortfarande goda resultat vad gäller de fysikaliska och kemiska parametrarna. Men vid dessa senare tillfällen var bakteriereduktionen inte alls lika stor som när anläggningen var nybyggd. Inte heller verkade byborna lika entusiastiska över sin anläggning som tidigare. På växtligheten vid och kring anläggningen kan utläsas att den inte använts lika flitigt som tidigare. För goda resultat krävs att vattenreningsanläggningen används varje dag och att filtret ständigt är i arbete. Sanden i anläggningen har dock bytts ut en gång sedan uppförandet (Castro, pers. komm. 2007), vilket visar på ett visst engagemang. Skolans kök verkar också till och från använda vattnet från anläggningen. Detta syns inte minst på de ledningar som byn själva dragit från den sista tunnan direkt till köket och det är mycket positivt.

Ett stort problem som Puerto Triunfo-anläggningen redan från början hade är att kemikalierna i flockuleringssteget kraftigt sänker vattnets pH-värde. Under hösten 2005 fick vattnet efter genomgång i anläggningen pH-värden kring 3-4. Vid senare mätningar var pH-värdet nere på så låga värden som pH 2. Vatten med så lågt pH kan inte rekommenderas att dricka. Även om vatten med lågt pH i sig inte är farligt att dricka så är det, som tidigare nämnts, stor risk att metaller från ledningar eller kokkärl frigörs och följer med vattnet. Ju lägre pH desto större fällning. Det bör visserligen nämnas att de senaste testerna av pH i anläggningen är gjorda med så kallade hemmatester och dessa bör inte räknas som lika pålitliga som de tester som utförs av laboratorier. Indikationen bör dock tas på allvar. Problemet med pH-sänkningen skulle kunna lösas med hjälp av tillsats av kalk i anläggningen, företrädesvis i filtreringssteget, med exempelvis snäckor eller äggskal i sanden. Detta buffrar och risken för att vattnet istället skulle bli för alkaliskt på grund av detta är mycket liten (Ledel, pers. komm. 2007).

Vid det senaste besöket i Puerto Triunfo fanns vid vattenreningsanläggningen en behållare med en grusblandning som luktade klor. Byborna berättade att detta var något som ett hälsoinstitut, Centro de Salud, i Leticia hade distribuerat till byarna. Klor är, som nämnt tidigare, toxiskt i för höga doser och svårt att hantera ute i byarna. Därför fördes diskussioner med ansvarig för vattenreningsanläggningen i Puerto Triunfo angående klorblandningen och ytterligare funderingar på klortillsats för att reducera bakteriehalten är inte aktuella.

Den kulturella aspekten är mycket central även i Puerto Triunfo. Entusiasmen över vattenreningsanläggningen var stor vid uppförandet och byggandet engagerade hela byn. Vid senare oanmälda besök till byn har dock anläggningen vid flera tillfällen stått torr och engagemanget har inte riktigt varit lika stort. Visst säger byborna att de använder vatten från anläggningen ofta och att de inte längre är lika sjuka som tidigare. Men det är svårt att veta om det verkligen är sanningen eller snarare en medgörlighet i hopp om fortsatt hjälp från Ankarstiftelsen. Som också nämnts tidigare är det önskvärt att invånarna i första hand använder sitt regnvatten, då detta är det renaste vatten som påvisats i jungeln. Dessutom eftersträvas ju inte ett påtvingat bistånd av saker som inte önskas eller behövs. Troligen är

vattenreningsanläggningen en viktig symbol för byn. Flera byar har visat sitt intresse för en anläggning av liknande karaktär. Att Puerto Triunfo valdes ut som plats för pilotanläggningen gav säkerligen byn en plats på kartan, åtminstone i närområdet.

Sammanfattningsvis kan sägas att vid endast användande av ett sandfilter krävs ett mycket frekvent utbyte av sanden och noggrant underhåll. Under förutsättning att man lyckas få bukt med pH-sänkningarna är kemisk flockulering, som förbehandlingssteg precis som i pilotanläggningen i Puerto Triunfo, ett effektivt alternativ. Fortsatt utbildning och noggrann kontroll av kvaliteten på vattnet från anläggningen i Puerto Triunfo är nog den rätta vägen att gå. Dock krävs det ytterligare undersökningar och jämförelser med de andra anläggningarna innan beslut om ytterligare anläggningar av samma karaktär som anläggningen i Puerto Triunfo, med flockulering som förbehandlingssteg, kan tas.



Figur 19. Vattenreningsanläggningen i Puerto Triunfo, då och nu.

7 SLUTSATSER

Byarna längs Amazonfloden är helt beroende av sitt regnvatten som de samlar in, eller från hjälp av organisationer som Ankarstiftelsen, som i vissa fall kan lösa problemen genom att borra brunnar eller bygga vattenreningsanläggningar. Avfallshanteringen i byarna är inte ett stort problem. Toaletterna som spolas ut rakt ner i marken finns men dessa är aldrig placerade nära floden eller andra vattendrag. Medvetenheten om vikten av rent dricksvatten och noggrann hygien verkar i byarna relativt god. Men då man i torrperioder ibland helt saknar rent vatten finns inga andra alternativ än att dricka flodvatten. Att rena ytvatten är därför av olika anledningar välkommet i byarna.

Att introducera en ny metod, som en vattenreningsanläggning, i en by i ett utvecklingsland med en annan kultur är alltid förknippat med risken att metoden inte kommer att tas om hand på ett korrekt sätt. Ankarstiftelsen besöker dock detta område återkommande, flera gånger varje år. En ansvarig för vattenreningsanläggningen finns också i varje by, så finns det en god chans att sandfiltren kommer att underhållas och användas. Med kontinuerliga tester av Ankarstiftelsen kommer man kunna hålla god kontroll över vattenreningsanläggningarna.

Rent vatten är essentiellt för liv, men dessvärre är det inte en realitet för många människor i vår värld. Resultaten från denna studie kan förhoppningsvis leda till fortsatt tillgång på tjänligt dricksvatten i byarna Puerto Triunfo, Puerto Alegria, Boyahuasu och Puerto Rico i Colombia och utöka förståelsen för vikten av rent vatten.

REFERENSER

- Agawal, A., Kimondo, J., Moreno, G., Tinker, J., *Water, sanitation and health – for all? Prospects for the International Drinking Water Supply and Sanitation Decade, 1981-90*, 1981, International institute for environment and development, London and Washington DC, Russell Press Ltd, Nottingham
- Agriculture and Agri-Food Canada, www.agr.gc.ca, 2007-08-12
- Andersson, S., Erlandsson, K., *Water treatment, Puerto Triunfo, Colombia*, 2006
- Ankarstiftelsen, www.ankarstiftelsen.com, 2007-08-07
- Biosandfilter, www.biosandfilter.org/biosandfilter/index.php/item/320, 2007-08-14
- Castro, Alonso, anställd av Ankarstiftelsen i Leticia, Colombia, personlig kommunikation, 2007
- Cheremisinoff, P.N., *Handbook of Water and Wastewater treatment Technology*, 1995, Marcel Dekker Inc., New York
- Elliott, M.A., Stauber C.E., Koksall, F., DiGiano, F.A., Sobsey, M.D., *Reductions of E. coli, echovirus type 12 and bacteriophages in an intermittently operated household-scale slow sand filter*, 2008, University of North Carolina, Chapel Hill, USA
- Eng, Håkan, utbildad driftstekniker vid Örebro universitet, driftansvarig för alla produktionsanläggningar/vattenverk vid Tekniska Verken i Linköping, personlig kommunikation, 2007
- Erdtman, Börje, Ankarstiftelsens grundare och ordförande, personlig kommunikation, 2007
- Ghebremichael, K.A., *Moringa seed and pumice as alternative natural materials for drinking water treatment*, 2004, KTH, Land and Water Resources Engineering, Stockholm
- Globalis, FN-förbundet UNA Sweden, www.globalis.se, 2007-08-07
- Gomez Lopez, Carlos Alberto, Pan-Amerikanska Kyrkan, Leticia, personlig kommunikation, 2007
- Gray, N.F., *Drinking Water Quality – Problems and solutions*, 1994, John Wiley & Sons Ltd, England, Bookcraft (Bath) Avon.
- HOH Vattenteknik AB, *Vattenbehandlingsmetoder – En bok om dricksvatten, badvatten och processvatten*, Kristianstads Boktryckeri, 1992, reviderad upplaga 2004
- Huisman, L., Wood, W.E., *Slow Sand Filtration*, World Health Organization, Geneve, 1974
- Human Development Report 2006, Sammanfattning, *Bortom bristen på vatten: Makt, fattigdom och den globala vattenkrisen*, United Nations Development Programme's Nordic Office, 2006
- HVR Water Purification, *Om Vatten*, Stockholm, 2006
- Ledel, Jan-Åke, vatteningenjör på Mark- och Vatten, Växjö, personlig kommunikation, 2007
- Misstear, B., Banks, D., Clark, L., *Water Wells and Boreholes*, 2006, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, England
- Nationalencyklopedin, Bokförlaget Bra Böcker, band 3, Höganäs, 1996
- Nationalencyklopedin, Bokförlaget Bra Böcker, band 3, Höganäs, 2008

Naturvårdsverket, *Provtagning av avloppsvatten vid utsläppskontroll*, Allmänna Råd 90:1, Solna, 1990, ansvarig utgivare Ingvar Bingman

Ngai, T.K.K., Shrestha, R.R., Dangol, B., Maharjan, M., Murcott, S.E., Design for sustainable development – household drinking water filter for arsenic and pathogen treatment in Nepal, Published in *Journal of Environmental Science and Health*, part A, volume 42, Issue 12 October 2007, pages 1879 - 1888

Nordström, A., *Vattenförsörjning & Avloppshantering*, Universitetsförlaget Dialogos, Lund, 1983, Infotryck AB, Malmö

Perez, Roland, pastor i Puerto Alegria, Peru, personlig kommunikation, 2007

Schiller, E.J., Droste, R.L., *Water Supply and Sanitation In Developing Countries*, 1982, Ann Arbor Science Publisher, Ann Arbor

Smittskyddsinstitutet, www.smittskyddsinstitutet.se/upload/PMV/provtagningsanvisningar-vatten-miljoprov.pdf, 2007-10-10

Sundstrom, D.W., Klei, H.E., *Wastewater treatment*, 1979, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J, USA

Svenska Kommunförbundet, *Introduktion till Avloppstekniken*, Tryckeri Balder AB, 1996

Tekniska Verken, Linköping, www.tekniskaverken.se/om_oss/anlaggningar/berggardens_vattenverk, 2008-05-20

The National Environmental Services Center, West Virginia University, www.nesc.wvu.edu, 2007-05-16

Thureson, L., *Dricksvattenteknik – Ytvattenrening*, Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, 1992, publikation P72

Utrikespolitiska Institutet, *Landguiden – Länder i Fickformat, Colombia*, 2006

Vattenportalen, Naturvårdsverket i samarbete med Boverket, SGU och Vattenmyndigheterna, www.vattenportalen.se/fov_problem_sjukdomsspridning.htm, 2008-01-30

Wikipedia, en.wikipedia.org/wiki/Slow_sand_filter, 2007-08-13

Wilander, Anders, Institutionen för miljöanalys, SLU, personlig kommunikation, 2007

BILAGOR

Bilaga 1. Instruktioner på engelska för sandfiltreringsanläggningen i Puerto Alegria

Bilaga 2. Instruktioner på spanska för sandfiltreringsanläggningen i Puerto Alegria

Bilaga 1. Instruktioner på engelska för sandfiltreringsanläggningen i Puerto Alegria.

Water treatment plant

Contents

Introduction	2
1. Overview	2
2. Function	3
2.1 Step 1 – Sedimentation	3
2.2 Step 2 – Filtration	3
2.3 Step 3 – Treated water	3
3. Maintenance	4
3.1 Step 1 – Sedimentation	4
3.2 Step 2 – Filtration	4
3.3 Step 3 – Treated water	4
3.4 More	4

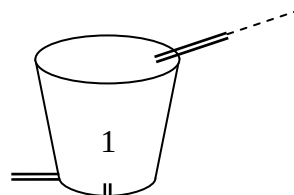
Introduction

Clean water is exceptionally necessary for everyone. In the Amazon area it is at times difficult for the communities along the river to get enough water, cleaner than river water, to drink.

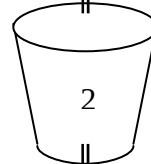
This text describes the function and the maintenance of the water treatment plant, and it is written to make it easier for the community to understand and take care of the plant.

1. Overview

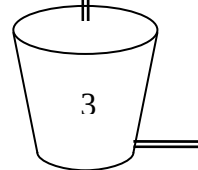
Step 1 – Sedimentation



Step 2 – Filtration



Step 3 – Treated water



2. Function

2.1 Step 1 – Sedimentation

The aim of this step is to create sedimentation, that is, to let the dirt particles in the water fall to the bottom. Sedimentation facilitates the following filtration step by reducing the amount of particles to be filtrated. This also makes the filter more durable. The small particles are light and therefore they take time to fall to the bottom. The bigger the particles are, the faster sedimentation occurs.

2.2 Step 2 – Filtration

Water is in this step filtrated through sand. This sand filter is built in a bucket (2). At the bottom two layers of gravel are placed, 10 centimeters each, starting with the coarsest at the very bottom. On top of the gravel there is a sand layer, approximately 1 meter thick. When water is let through the sand filter, the sand is at first cleaned. After a while a micro flora is built up in the upper part of the sand, about 10 centimeters. This micro flora is reducing the bacteria in the water, and is very important. It is therefore important to avoid stirring in the sand; otherwise the layer might be disturbed. The water also should be spread evenly over the sand filter, to avoid high pressures from the water, which also could destroy the micro flora. It could take as much as a month before a good micro flora layer is built up. The micro flora cannot survive without a constant flow of water through the sand. Therefore, it is important to always keep water in the filter, and never let the sand dry.

2.5 Step 3 – Treated water

From the sand bucket the water is let out to the last bucket (3), where the water is supposed to be good enough to drink.

3. Maintenance

3.1 Step 1 – Sedimentation

After each sedimentation time, the tank should be cleaned from sediment. The sedimentation tank has got an extra tap, bigger than the other, to be used for this purpose. To facilitate the cleaning, some extra water could be let in the tank. The dirty sediment water should not be let out close to the plant; an extension tube is to prefer. It is also important to clean the whole tank quite often, once a week, since the walls rapidly grows dirty from sediment.

3.2 Step 2 – Filtration

The filtration step in the plant is the part which needs most work. The thickness of the sand layer should always be between 70-120 centimeters. In the upper layer of the sand, a micro flora is built up. The time for a filter to build a micro flora varies a lot between different filters, and is also very dependent on the quality of the water being filtrated. A good micro flora, though, is likely to be present after about a month. When a micro flora is present the filtration is optimized.

The water to be filtrated contains small particles, and the aim of the filtration is to leave these particles in the filter and let the clean water flow further. Since the particles stays in the sand, the space between the sand grains will be smaller and smaller. Eventually this will make it harder for the water to pass through the sand. The time it takes to fill these spaces differs a lot between filters and the quality of the water. A good indication, though, is when noticing that the water leaving the filter is flowing slower than before. Then it is time to clean the filter.

The cleaning of the filter is to scrape off the upper 5-10 centimeters of the sand, which is the micro flora layer. It is very important to not move or stir the rest of the sand. A recommendation is to do this at least every 6 month. After several scrapings, the sand layer naturally will be thinner. When the thickness of the layer is getting closer to only 70 centimeters it is time for a more extended cleaning. In this cleaning all the sand and the gravel is replaced. Only a small amount of the old sand is saved to be placed on top of the new sand. This old sand functions as a micro flora layer, and it should be about 10 centimeters thick. While doing the “big cleaning”, make sure to check the metallic filter on the tap. If it needs to be changed, a piece of clothing fabrics could be used.

3.3 Step 3 – Treated water

The tank for clean water is very important to be kept clean all the time. Wash it as often as possible.

3.4 More

Since clean water is extremely important it is also necessary to take good care of the water purification plant. Someone, one or preferable several persons, should be responsible for the maintenance of the plant. These persons also should make sure that the chemicals are stored safe.

In order to keep the water treatment plant in good condition and for the improvement of the water to be treated, it is necessary to keep the plant running at least once a day. It is also important to always keep the tanks covered. Otherwise it is risk for new contamination.

Bilaga 2. Instruktioner på spanska för sandfiltreringsanläggningen i Puerto Alegria.

Planta de tratamiento de agua

Contenido

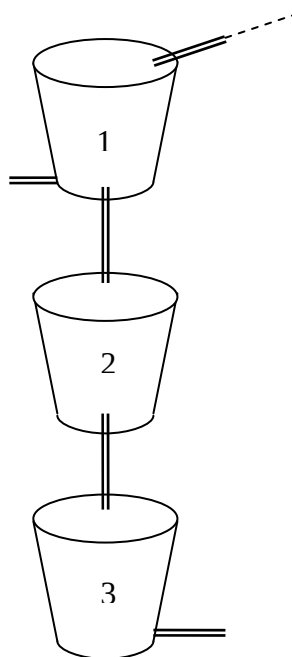
Introducción	2
1. Descripción	2
2. De la función	3
2.1 Paso 1 – Sedimentación	3
2.2 Paso 2 – Filtración	3
2.3 Paso 3 – Agua tratada	3
3. Mantenimiento	4
3.1 Paso 1 – Sedimentación	4
3.2 Paso 2 – Filtración	4
3.3 Paso 3 – Agua tratada	4
3.4 Más	4

Introducción

El agua limpia es excepcional necesaria para cada uno. En el área del Amazonas es ocasionalmente difícil que las comunidades a lo largo del río consigan suficiente agua mejor que la del río para tomar. Este texto describe la función y el mantenimiento de la planta de tratada del agua, y se escribe para hacerla más fácil para que la comunidad entienda y tome el cuidado de la planta.

1. Descripción

Paso 1 – Sedimentación



Paso 2 – Filtración

Paso 3 – Agua tratada

2. De la función

2.1 Paso 1 – Sedimentación

El objetivo con este primero paso es crear la sedimentación en un tanque (1), es decir, dejar las partículas de suciedad en el agua bajar al fondo. La sedimentación facilita el paso siguiente de la filtración reduciendo la cantidad de partículas que se filtrarán. Esto también hace el filtro más conservable. Las partículas pequeñas y por lo tanto ellos una caída más fácil al fondo. Las partículas más grandes, de la sedimentación más rápida.

2.2 Paso 2 – Filtración

Aquí se filtran a través de la arena. Este filtro de arena se construye en un tanque (2) también. En lo mas bajo, se colocan dos capas de gravilla, 10 centímetros por cada uno, comenzando con el mas grueso en el mismo fondo. Encima de la gravilla hay una capa de arena, aproximadamente 1 metro de grosor. Cuando el agua se deja a través del filtro de arena, la arena está al principio limpiado. Después de un rato una micro flora se acumula en la parte superior de la arena, cerca de 10 centímetros. Esta micro flora está reduciendo las bacterias en el agua, y es muy importante. Por lo tanto es importante no mover la arena. El agua también se debe separar uniformemente sobre el filtro de arena, para evitar altas presiones del agua, que también podría destruir la micro flora. Podría tomar hasta un mes antes de que se acumule una buena capa micro flora. La micro flora no puede sobrevivir sin un fluir constante del agua a través de la arena. Por lo tanto, es importante mantener siempre el agua el filtro, y nunca dejar la arena seca.

2.5 Paso 3 – Agua tratada

Del tanque de arena el agua sale al ultimo tanque (3), donde se supone que el agua está mejor para tomarla que el agua del rio.

3. Mantenimiento

3.1 Paso 1 – Sedimentación

Después de que cada sedimentación el tanque se debe limpiar del sedimento. Este tanque tiene un grifo adicional, más grande que el otro, para ser utilizado para este propósito. Para facilitar la limpieza un poco de agua adicional se podía dejar en el tanque. También es importante limpiar el tanque muy menudo, una vez por semana, puesto que las paredes crecen rápidamente sucias por el sedimento.

3.2 Paso 2 – Filtración

El paso de la filtración en la planta es la limpieza que necesita la mayoría del trabajo. El grosor de la capa de arena debe estar siempre entre 70-120 centímetros. En la capa superior de la arena, se acumula una micro flora. La época para un filtro de construir una micro flora varía mucho en diversos filtros, y también es muy dependiente en el agua que se filtro. Una buena micro flora es probable estar presente alrededor de un mes. Cuando una micro flora está presente se optimiza la filtración.

El agua que se filtrará contiene partículas pequeñas, y el objetivo de la filtración es dejar estas partículas en el filtro y dejar fluir el agua limpia lo más lejos. Puesto que las partículas permanecen en la arena, el espacio entre el grano de la arena será más pequeño. Eventual esto hará más duro para que el agua pase a través de la arena. El tiempo antes de que se llenen los espacios diferencia mucho entre los filtros y la calidad del agua. Una buena indicación es que este fluyendo el agua que sale del filtro más lentamente que antes. Entonces es hora de limpiar el filtro.

La limpieza del filtro es darse cuenta superior de 5 a 10 centímetros de la arena, que es la capa micro flora. Es muy importante no mover o no revolver el resto de la arena. Una recomendación debe hacer esto por lo menos cada 6 meses. Después de varias raspadas la capa de la arena será naturalmente más fina. Cuando el grosor de la capa está consiguiendo más cercano a solamente 70 centímetros es hora para una limpieza más extendida. En esta limpieza se sustituye toda la arena y la gravilla. Solamente una cantidad pequeña de la vieja arena se ahorra para ser puesta encima de la arena nueva.

Esta vieja arena funciona como una capa micro flora, y debe ser cerca de 10 centímetros de grosor. Mientras que se hace la "limpieza grande", cerciórese de comprobar el filtro tela en el grifo. Si necesita ser cambiado, un pedazo de telas de ropa seria bueno para utilizado.

3.3 Paso 3 – Agua tratada

El tanque para el agua tratada es muy importante guardarlo limpio, en todo tiempo. Lávelo tan a menudo como sea posible.

3.4 Más

Puesto que el agua tratada es extremadamente importante es también necesario tomar el buen cuidado de la planta de purificación del agua. Alguien, una o preferible varias personas, deben ser responsables del mantenimiento de la planta.

Para el funcionamiento de la planta y su mejoramiento es necesario funcionar mínimo una vez por cada día para mantener limpia el agua. Finalmente, importante también es siempre mantener las tapas en los tanques tapado. Si no hay riesgo para la nueva contaminación.