

REGNVATTENINSAMLING FRÅN HUSTAK PÅ SÖDRA GOTLAND

Rainwater collection from a roof on southern Gotland, Sweden

av ROGER B. HERBERT¹ och UNO ERIKSON²

¹ Institutionen för geovetenskaper, Uppsala Universitet, Villavägen 16, 75236 Uppsala

e-post: roger.herbert@geo.uu.se

² Bringes, Faludden, 62333 Burgsvik



Abstract

The availability of drinking water from water wells on southern Gotland is highly limited on account of the fractured limestone bedrock of the region, and one possibility for supplying water in this region is to collect rainwater from roofs. For several years, rainwater was collected from a roof on southern Gotland in order to supply a basic household with water for drinking, dishwashing, bathing, etc. After collection, the rainwater percolated through a sand filter before it was used by the household. The aim with this study was to investigate if the sand filter had been effective against microorganisms in the collected water, and if the water quality, in terms of microbiological criteria, had been improved by filtration. The analytical results show that the rainwater that was collected from the roof contained between 6.4×10^5 and 1.5×10^7 living microorganisms per milliliter water and contained *E. coli*, which suggests that the water had been in contact with feces, most likely bird droppings on the roof. The results from the microbiological analyses indicated that rainwater treatment with a fine-grained sand filter delivered water that was suitable as drinking water, or suitable with limitations according to Swedish drinking water criteria. The results suggest that a better filter function can be attained by increasing the sand thickness and thus increasing water residence time in the filter.

Key words – rainwater, water supply, bacteria, *E. coli*, filter, DAPI, coliform, microorganism

Sammanfattning

Tillgången till dricksvatten från egen brunn på södra Gotland är ytterst begränsad på grund av områdets sprickiga kalkstensberggrund, och en möjlighet till vattenförsörjning är att samla in regnvatten från hustak. Under några år har regnvatten insamlats från ett tak på södra Gotland för att försörja ett enkelt hushåll med dricksvatten, diskvatten, badvatten, m.m. Efter insamling har regnvattnet passerat ett sandfilter innan det har använts i hushållet. Syftet med denna studie var att undersöka om sandfiltret har varit verksamt mot mikroorganismer i det insamlade vattnet, och om vattenkvaliteten med avseende på mikrobiologiska kriterier har förbättrats på grund av filtreringen. Analysresultaten visar att regnvattnet som samlades in från taket innehöll mellan 4×10^5 och $1,5 \times 10^7$ levande mikroorganismer per milliliter vatten, och innehöll *E. coli* vilket tyder på att vatten har kommit i kontakt med fekalier, förmodligen fågelspillning på taket. Resultaten från de mikrobiologiska analyserna visade att regnvattenrening genom ett finkornigt sandfilter levererade ett vatten som var tjänligt eller tjänligt med anmärkning enligt gränsvärden för dricksvatten. Resultaten tyder på att en bättre filterfunktion kan uppnås genom att öka sandtjockleken och därmed vattnets uppehållstid i filtret.

Inledning

Tillgången till dricksvatten från egen brunn på södra Gotland är ytterst begränsad på grund av områdets sprickiga kalkstensberggrund, och en relativt stor del av

grundvattentillgångarna har bedömts som sårbara med en försörjningskapacitet på endast 1 hushåll per hektar (Gotlands kommun, 2005). En möjlighet till vattenförsörjning på södra Gotland är att samla in regnvatten från hustak. Området har en årsmedelnederbörd på 496 mm

(SMHI, 2008), och det finns därför förutsättning att samla in relativt stora vattenvolymer. Även om bara 50 % av nederbörden kunde samlas in under ett år, på grund av t.ex. avdunstning och otillräcklig snöackumulation, skulle en takyta på 100 m² ge ca 25 m³ vatten. För sommarboende skulle denna vattenvolym kunna komplettera andra vattentillgångar och skulle även räcka till ett enkelt hushåll med sparsam vattenanvändning (< 50 liter/d; matlagning, disk, hygien) och torrtoalett.

Största risken med utnyttjandet av regnvatten som dricksvatten är tillväxten av mikroorganismer (bakterier, virus, svamp) i det insamlade vattnet som kan leda till sjukdomar. Det är bland annat vattenburna sjukdomar (t.ex. kolera, tyfus, bakteriell dysenteri, diarré) och vattenbaserade sjukdomar (sjukdomar orsakade av vattenorganismer) som kan spridas i ett vattendistributionssystem om råvattnet har kontaminerats med mikroorganismer på grund av dåligt råvatten, dålig sanitet och otillräcklig personlig hygien (WHO, 2008). Många av dessa sjukdomar kan undvikas om vattnet behandlas och därmed blir smittfritt. När det handlar om regnvatteninsamling från tak på Gotland är det dock snarare en fråga om

mikroorganismer som finns i fågelspillingar och jordstoft på taket eller med tillväxten av mikroorganismer i hushållets vatteninsamlings- och ledningssystem. Det insamlade regnvattnet bör därför renas på något sätt innan det används till dricksvatten.

En av de vanligaste metoderna för behandling av dricksvatten är sandfiltrering, där vatten rinner med självfall genom en sandbädd. Sandfiltrering kan delas upp i snabbfiltrering och långsamfiltrering; med snabbfiltrering avlägsnas grova partiklar från råvattnet, medan långsamfiltrering är verksam mot finare partiklar, kolloidalt material (bla organiskt material och järnutfällningar) och bakterier (Huisman & Wood, 1974). En biofilm bildas på översta ytan av ett långsamfilter, och består av alger och andra mikroorganismer som kan effektivt bryta ner organiskt material i råvattnet.

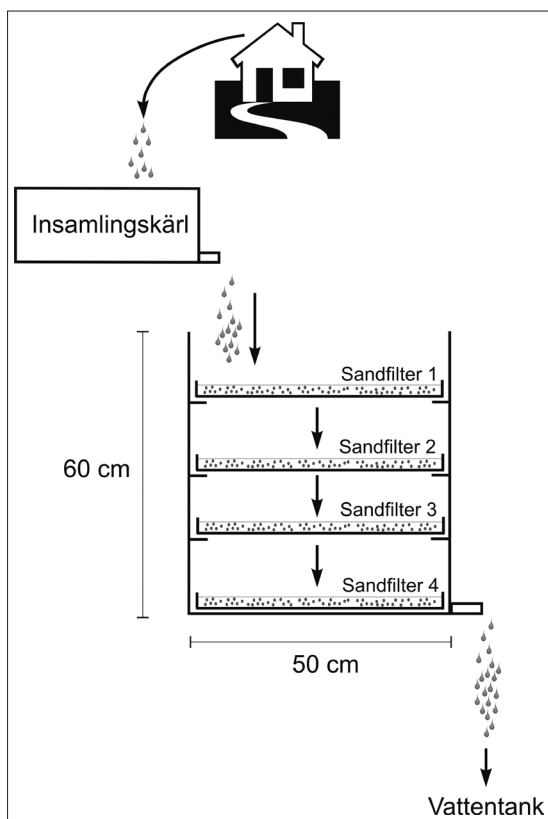
Under några år har regnvatten samlats in från ett tak på södra Gotland för att försörja ett enkelt hushåll med dricksvatten, diskvatten, badvatten, m.m. Efter insamling har regnvattnet passerat ett sandfilter innan det har använts i hushållet. Genomströmningshastigheten har varit relativt snabb och husägaren har funderat på filtrets verkningsgrad. Syftet med denna studie var att undersöka om sandfiltret har varit verksam mot mikroorganismer i det insamlade vattnet, och om vattenkvaliteten med avseende på mikrobiologiska kriterier (Socialstyrelsen, 2003) har förbättrats på grund av filtreringen. Resultaten från undersökningen kommer att användas för att skapa bättre förutsättningar för vattenrening i sådana småskaliga filtersystem.

Material och metoder

Vattenförsörjning och sandfiltret

Regnvatten insamlas från ett plåttak på södra Gotland (Faludden) för att försörja ett enkelt hushåll med dricksvatten, diskvatten, badvatten, m.m. Taket har en yta på ca 100 m². Hushållet förbrukar under sommaren ca 6000 liter och resten av året lika mycket. Grävatten från hushållet återförs till marken medan avloppsvatten från toalett (ca 3000 liter/år) samlas i en septiktank. Detta innebär att nuvarande vattenförsörjning ej belastar något avloppssystem och att ca 75 % av det filtrerade regnvattnet bidrar ändå till grundvattenbildning på fastigheten.

För att filtrera bort stora partiklar och minska bakteriehalten i takdränaget har regnvattnet först insamlats i ett stort kärl i rostfritt stål, för att sedan via en sil ledas genom ett filter bestående av grovsand (1–2 mm diameter; se figur 1). Sandfiltret består av fyra 45 cm x 45 cm hålförsedda hyllor i rostfritt stål, som ligger ovanför varandra, och bär på var sitt 5 cm lager grovsand. En fiberduk ligger mellan sanden och brickorna för att förhindra



Figur 1. Skiss över vatteninsamlings- och vattenrenningsystemet.

en nedsköljning av finare partiklar. Vatten som har passerat filtret samlas i en underjordisk vattentank i plast, där vatten tas till hushållet med pump genom ett järnrör. Ingen desinficering sker. I augusti 2008 byttes grovsanden mot en mycket finare sand (»mursand») när det visade sig att filterfunktionen behövde förbättras. Efter denna tidpunkt användes nya rutiner med ett långsammare flöde, regelbunden rengöring och att sediment i insamlingskärlet inte fick komma i kontakt med sandfiltret.

Provtagning och analyser

För att undersöka om det behandlade vattnet är av god dricksvattenkvalitet har vattenprov tagits från regnvattentank (figur 1), efter vattnet har passerat filtret, från vattentanken i marken och från kökskranen i huset. Vatten har provtagits vid 9 tillfällen under perioden 24 juni 2007–29 januari 2009. Prover från 24 juni, 28 augusti samt 30 november 2007 analyserades för endast totalhalt levande bakterier med hjälp av DAPI-färgning (se nedan) som en enklare screening av filtrets effektivitet, medan prover från 28 augusti 2007, 30 januari 2008, 17 juli 2008, 5 augusti 2008, 26 augusti 2008, 31 oktober 2008 samt 29 januari 2009 analyserades för mikroorganismer genom odlingsmetoder (se nedan). För DAPI-färgning samlades 10 ml vatten i ett steriliserat provrör och 0,5 mL formaldehyd tillsattes sedan för att »fixera» bakterieantalet genom att förhindra tillväxt eller nedbrytning av mikroorganismer i vattenprovet efter provtagning.

Totalhalten levande mikroorganismer bestämdes med hjälp av färgning med 4'-diamidino-2-fenylindole (»DAPI») (Porter & Feig, 1980) och mikroskopering. Med denna metod tillsätts en fluorescerande färgmedel (»DAPI») till vattenprovet; DAPI-färgning binds med DNA i hela celler som gör att cellerna lyser under fluo-

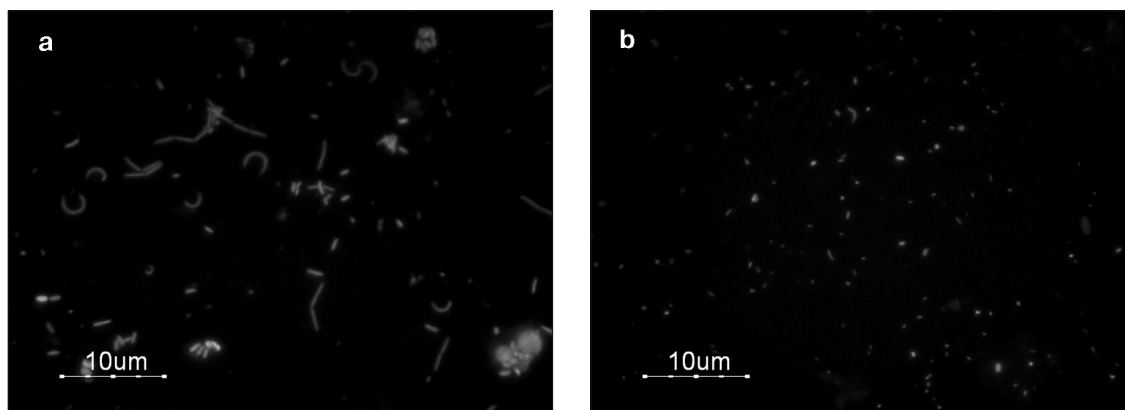
rescerande ljus. Vattenprovet med DAPI-färgning filtreras genom ett svart 0,22 µm membranfilter så att cellerna fastnar på filtret. Antal fluorescerande celler räknas sedan med hjälp av mikroskopering och UV-ljus. Dessa analyser utfördes på Institutionen för ekologi och evolution, Uppsala universitet.

Prover från sju provtagningstillfällen lämnades till Uppsala kommuns vattenlaboratorium, Steins laboratorium (Eurofins) på Gotland, eller Statens bakteriologiska laboratorium för mikrobiologisk analys. Vatten samlades i 500 ml plastflaskor. Proven analyserades för typiska parametrar som används för bedömning av dricksvatten m.a.p. mikrobiologiska kriterier: antal mikroorganismer som växer vid 22°C (totalantal odlingsbara mikroorganismer), antal coliforma bakterier som växer vid 35°C och antal *Escherichia coli*. Provtagning för *E. coli* görs för att undersöka om vattnet har kontaminerats med mänskliga eller djurfekalier. Värmetoleranta koliforma mikroorganismer kan indikera kontaminering från avlopp och fekalier, men även förekomsten av koliforma bakterier som förekommer naturligt i jord och vatten. Antal mikroorganismer ger mer en allmän bild på totala antalet bakterier i vatten. Notera att de tre ovannämnda mikrobiologiska metoderna baseras på inkubation av prover och odling av mikroorganismer, medan DAPI-färgning visar totala antalet levande bakterier med DNA som DAPI kan binda till.

Resultat

DAPI-bestämningen

Resultaten från bestämningen av antal mikroorganismer i vattenprov med DAPI-färgning (se tabell 1) visar ett stort antal levande mikrober (mer än 1 miljon mikrober per milliliter vatten) i de analyserade proverna. Mikroskoperingen (fig. 2) visar att mikroberna vanligtvis är



Figur 2. Mikroskopbilder efter DAPI-färgning, under UV-ljus, som visar bakterier från vattnet (a) i insamlingskärlet och (b) efter sandfiltret.

Tabell 1. *Analysresultat från DAPI-färgning och från kommersiella vattenlaboratorium. »Regnvatten» = regnvatten som har samlats från hustaket i ett rostfritt kärl; »Sandfilter» = vatten som har passerat sandfiltret. »Tank» = vatten som har förvarats i en underjordisk tank. »Kök» = vatten från kökskranen. »n.a.» = parametern har inte analyserats.*

	Antal enligt DAPI (celler/ml)	Antal mikroorganismer vid 22°C (cfu/mL)	Coliforma bakterier vid 35°C (antal/100 mL)	<i>E. coli</i> (antal/100 mL)
Mikrobiologiska kriterier för dricksvatten				
Tjänligt med anmärkning		>1000	50 – 500	1– 9
Otjänligt		–	>501	>10
2007-06-24				
Regnvatten	1,52 × 10 ⁷	n.a.	n.a.	n.a.
Sandfilter	6,59 × 10 ⁶	n.a.	n.a.	n.a.
Tank	8,56 × 10 ⁶	n.a.	n.a.	n.a.
Kök	6,62 × 10 ⁶	n.a.	n.a.	n.a.
2007-08-28				
Regnvatten	3,70 × 10 ⁶	79 200	13	8
Sandfilter	5,80 × 10 ⁶	37 000	13	13
Sandfilter test ¹	4,56 × 10 ⁶	n.a.	n.a.	n.a.
Tank	2,57 × 10 ⁶	n.a.	n.a.	n.a.
2007-11-30				
Regnvatten	6,42 × 10 ⁵	n.a.	n.a.	n.a.
Sandfilter	9,52 × 10 ⁵	n.a.	n.a.	n.a.
Kök	1,50 × 10 ⁶	n.a.	n.a.	n.a.
2008-01-30				
Kök	n.a.	190	<1	<1
2008-07-18				
Kök	n.a.	1 680	13	<1
2008-08-05				
Regnvatten	n.a.	9 920	50	25
Kök ²	n.a.	>9 999	>9 999	1
2008-08-26 ³				
Kök	n.a.	410	308	86
2008-10-31				
Kök	n.a.	300	99	3
2009-01-25				
Kök	n.a.	>3000	<1	<1

¹ Se text för beskrivning.

² Tanken rengjordes 2008-08-02.

³ Sandfiltermaterial bytt till finsand före detta datum.

stavar med en längd på mindre än 1 µm till några µm, men andra morfologier förekommer. Morfologin skiljer sig ofta i det insamlade regnvattnet och vattnet som lämnar sandfiltret. Mikroberna är förmodligen bakterier. Enligt resultaten från DAPI-färgningen minskar antalet levande bakterier genom vattenbehandlings- och vattenledningssystemet vid första analystillfället, men tendensen upphör under de två följande tillfällen (se tabell 1). Det bör noteras att detektionsgränsen för DAPI-metoden är ca 1000 celler/ml med den provberedningsmetoden som tillämpades i denna undersökning (Porter &

Feig, 1980). Dessutom ligger standardavvikelsen för mätvärden (visas ej) på 10–80 % av det uppmätta värdet, vilket tyder på att mätvärden från samma datum är relativt lika. Det kan dock konstateras att användningen av sandfiltret med grovsand inte leder till en markant minskning i antal levande bakterier (dvs DAPI-kvantifierade mikroorganismer) i dricksvattnet.

För att studera om mikroorganismer i vattnet som lämnar sandfiltret härstämmer från det insamlade regnvattnet, eller från andra mikroorganismer som förekommer i sanden, hälldes 10 liter kranvatten från Uppsala

kommun genom filtret. Resultatet från DAPI-metoden visas i tabell 1 och figur 3 (»Sandfilter test»). Ett stort antal mikroorganismer fanns även i vattnet från sandfiltret när det ingående vattnet var så gott som bakteriefritt, vilket indikerar att de flesta mikroorganismer som hamnar i dricksvattnet troligen kommer från mikroorganismer som uppehåller sig i sanden. Denna hypotes stöds av andra försök (figur 3) som visar att antalet levande bakterier i vattnet från sandfiltret minskar med tiden. En genomsköljningstid på 3 minuter och 15 minuter leder till ett mindre antal levande bakterier i vattnet som har runnit genom sandfiltret.

Jämfört med den 24 juni och den 28 augusti var mikrohalten lägst i insamlingskärlet (»regn») och efter sandfiltret (»sandfilter») den 30 november (tabell 1). Detta kan förklaras med att det hade regnat mycket innan vattenprovet togs från insamlingskärlet och lufttemperaturen var låg (ca 5°C). Tillväxten av mikrober i kärlet var därför mer begränsad vid detta tillfälle än vid tidigare tillfällen när det var varmare och vattnet hade stått stilla längre.

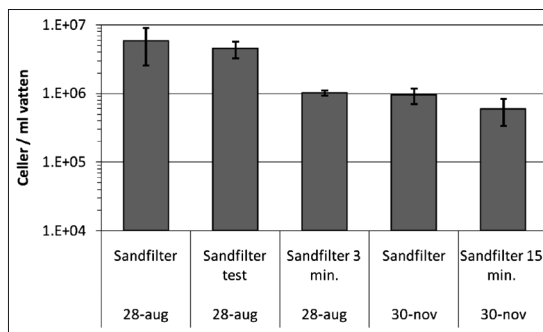
Inkubationsbaserade analyser

Resultaten av de inkubationsbaserade mikrobiologiska analyserna (tabell 1) visar att vattnet som nådde köket vid fem av sex provtagningsstillfällen kunde klassificeras som »tjänligt med anmärkning» eller »tjänligt» ur mikrobiologisk synpunkt enligt Socialstyrelsens kriterier för dricksvatten (Socialstyrelsen, 2003). Kranvattnet i husets kök var tjänligt endast vid ett provtagningsstillfälle, 2008-01-30, vilket förmodligen avspeglar den mycket långsamma mikrobiella tillväxten som kan förväntas när lufttemperaturen ligger kring 0°C.

Anmärkningsvärt är att vattenkvaliteten försämrades mellan insamlingskärlet och köket 2008-08-05, men detta kan förklaras med att den underjordiska tanken hade rengjorts tre dagar tidigare, och mikroorganismer som hade fastnat på insidan av tanken troligtvis avlägsnats när tankväggarna skrubbades. Kranvattenkvaliteten förbättrades efter tanken rengjordes och grovsanden byttes till en finkornig sand, och vattnet kunde därefter klassas som »tjänligt med anmärkning». Nya rutiner med långsamt flöde och rengöring har gjort att vattnet blivit tjänligare.

Diskussion och slutsatser

Analysresultaten visar att regnvattnet som insamlades från taket innehöll mellan $6,4 \times 10^5$ och $1,5 \times 10^7$ levande mikroorganismer per milliliter vatten. Vattenprov från insamlingskärlet innehöll *E. coli* vilket tyder på att vatten har kommit i kontakt med fekalier, förmodli-



Figur 3. Antal mikroorganismer per milliliter vatten från försök för att bestämma om sandfiltret i sig innehåller bakterier (»Sandfilter test») och om filtreringstiden har någon betydelse för filtereffekt (»Sandfilter 3 min.», »Sandfilter 15 min.»). Felstaplar visar en standardavvikelse från upprepade mätningar.

gen fågelspillning på taket. Dessutom kan det konstateras att regnvattenrening genom sandfiltret med grovsand inte har lett till en avsevärd förbättring i vattenkvaliteten ur mikrobiologisk synpunkt. Förklaringar till detta kan vara att 1) sandfiltret är för grovkornigt och filtreringshastigheten är för snabb för god filterfunktion, och 2) sandfiltret i sig eller anslutna slangar och rör fungerar som ett substrat för tillväxt av ett mikrobiellt samhälle. Mikroberna sköljs sedan in i vattentanken under filtrering. En minskning i kornstorleken i sandfiltret, tillsammans med en långsammare filtrering, har lett till en förbättrad filterfunktion.

Om regnvatten som samlas i insamlingskärlet i fortsättningen ska passera sandfiltret bör vatten till dricksvatten eller matlagning av försiktighet kokas före användning. Om stora mängder vatten behövs till dricksvatten bör hushållet överväga desinficering med t.ex. UV-ljus. Analysresultaten tyder på att mikroorganismer kan finnas i alla delar av husets vattenledningssystem. Det kan dock påpekas att filterat regnvatten har använts till matlagning, disk och tvätt i åtta år utan att orsaka någon som helst tarminfektion även om inte de av socialstyrelsen rekommenderade värdena alltid uppnåts.

Sandfiltret är en elegant lösning till vattenförsörjning med regnvatten på södra Gotland. Konceptet borde utvecklas med målet att renat vatten ska vara tjänligt. För en bättre filterfunktion som mer liknar ett långsamfilter bör sandtjockleken i filtret ökas betydligt (se Huisman & Wood, 1974) för att öka vattnets uppehållstid i filtret.

Tackord

Författarna vill tacka Sällskapet *De Badande Vännerna* (DBW) för två stipendier som erhöles för att finansiera den mikrobiologiska studien. DAPI-analyserna genom-

fördes med mycket hjälp av Docent Stefan Bertilsson och Friederike Heinrich (Limnologiska avdelningen, Uppsala universitet); författarna är tacksamma för deras bidrag till projektet.

Referenser

- Gotlands kommun (2005) Vattenplan för Gotlands kommun, Gotlands kommun, 38 s. <http://www.gotland.se/imcms/10617>. Tillgängligt 2009-07-03.
- Huisman, L., Wood, W.E. (1974) Slow sand filtration. World Health Organisation, Geneva, 120 s.
- Porter K.G., Feig, Y.S. (1980) The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora, *Limnol. Oceanogr.* 25, 943–948.
- Socialstyrelsen (2003) Försiktighetsmått för dricksvatten, SOSFS 2003: 17 (M) Allmänna råd. http://www.sos.se/sosfs/2003_17/2003_17.pdf. Tillgängligt 2009-07-03.
- SMHI, Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (2008) Väderåret 2008, Väder och vatten, nr. 13, Norrköping.
- WHO, World Health Organisation (2005) Guidelines for drinking-water quality: Volume 1, Recommendations. Third edition. WHO, Geneva, 668 s.