

SER VI BÖRJAN PÅ ÅTERANVÄNDNING AV RENAT AVLOPPSVATTEN FÖR BEREDNING AV DRICKSVATTEN?

Do we see the beginning of reuse of treated wastewater for potable use?

av LENA FLYBORG, KERSTIN HOYER och KENNETH M PERSSON
Avd f teknisk vattenresurslära, Lunds tekniska högskola, Box 118, 221 00 Lund
e-mail: lena.flyborg@tvrl.lth.se; kerstin.hoyer@gmail.com; kenneth_m.persson@tvrl.lth.se



Abstract

Involuntary or unconscious reuse of wastewater for potable use is reality all over the world. It is enough to have the intake to a water purification plant situated downstream of a waste water treatment plant in the same catchment area. Though conscious reuse has only existed to a limited extent, out of esthetical, ethical, economical or perhaps technical reasons. A new era was born with the opening of the new water purification plant in Windhoek, Namibia, in 1968, where wastewater is used directly for the production of drinking water. Since then several other cities have noticed this opportunity. This article illustrates the potential and possibilities that reuse of wastewater bring to cities with a growing need for fresh water. An idea study of how reuse of wastewater in Sweden could look like is presented for the circumstances in Malmö. Economically, reuse of water doesn't necessarily need to become more expensive than conventional production. The great challenges for those who would like to see increased hygienically safe and aware reuse of wastewater, are mostly on an ethical and psychological level. The yuck factor lies heavy on the ambitions of many to increase the extent of reuse of wastewater.

Key words – Water reuse, reverse osmosis, sustainable water

Sammanfattning

Ofrivillig eller omedveten återanvändning av avloppsvatten till dricksvatten sker i hela världen. Det räcker att intagsledningen till ett vattenverk ligger nedströms ett avloppsreningsverk i avrinningsområdet. Men medveten återanvändning har förekommit endast i begränsad omfattning, av estetiska, etiska, ekonomiska eller kanske tekniska skäl. Med driftsättning av Windhoeks nya vattenverk i Namibia 1968 inleddes en ny era där avloppsvatten tas tillvara direkt för dricksvattenberedning. Under åren har flera städer uppmärksammat denna möjlighet. I artikeln belyses potentialen och möjligheterna av återanvändning av avloppsvatten har för städer med allt större behov av färskvatten. En idéstudie av hur återanvändning av avloppsvatten i Sverige skulle kunna se ut redovisas för Malmös förhållanden. Ekonomiskt behöver återanvändning inte bli dyrare än konventionell produktion. De stora utmaningarna för dem som vill se ökad hygieniskt säker och medveten återanvändning av avloppsvatten ligger främst på det etiska och psykologiska planet. Äckelkänslan tynger ned mångas ambition att öka återanvändningsgraden av avloppsvatten.

1. Inledning

Vattenförsörjningen i utvecklingsländerna har varit ett problem sedan länge och är ett prioriterat arbetsområde inom Förenta Nationerna som har utlyst 2005–2015 till »International Decade for Action 'Water for Life'». Problem att lösa vattenförsörjningen börjar nu även att drabba västvärlden, framför allt i semiarida och arida områden.

För att frigöra dricksvatten till primära behov har sedan länge renat avloppsvatten återanvänts på många håll, även i mindre skala i Europa, till bevattning inom kommunal verksamhet (parker och andra grönområden inom kommunerna), jordbruk och företagsverksamhet (golfbanor, plantskolor). Även temperade områden i Europa, t.ex. Belgien och Nederländerna, har eller befaras få, problem att säkerställa vattenförsörjningen i framtiden. De befintliga vattenresurserna måste givetvis

användas mer effektivt. För att lösa dessa problem diskuteras åtgärder såväl på utbudssidan som på efterfrågsidan (vattenbesparing, avsaltningsanläggningar för saltvatten eller bräckt vatten, ökad utbyggnad av återanvändning av renat avloppsvatten. Se vidare Angelakis *et al.*, 2003).

Under de senaste 10–20 åren har intresset att utnyttja avancerat renat avloppsvatten som potentiell råvattenkälla ökat. I USA, Singapore, Namibia, Storbritannien och Belgien finns det redan idag planerad recirkulation av avancerat renat avloppsvatten som råvattenkälla. Trots att tekniken finns för att rena avloppsvatten till en bättre kvalitet än det naturliga råvattnet är det inte utan problem som ett projekt av detta slag kan drivas till sitt slut.

Vad är det då som stoppar oss från att använda denna teknik och skapa en stabil råvattentillförsel?

Blir kostnaderna för höga jämfört med andra nya råvattenkällor, är det en misstro till tekniken och myndigheter eller kanske inneboende mentala spärrar som gör att vi inte kan tänka oss att dricka ett vatten som vi med säkerhet vet har varit avloppsvatten? Vatten är en förnybar resurs och återanvänds kontinuerligt; det är bara en fråga om hur länge sedan vårt dricksvatten var avloppsvatten och vilket sätt vattnet i naturen har transporterats från en utsläppspunkt till en intagspunkt.

2. Bakgrund

2.1. Behov av nya vattenresurser

I områden med konstant eller återkommande vattenbrist har åtgärder som vattenbesparing via återanvändning av renat avloppsvatten till industri och jordbruket samt vattenbesparande åtgärder i hemmen, som minimal vattenanvändning i toaletter, tvättmaskiner och dylikt redan genomförts genom kampanjer och lagstiftning (t.ex. i Kalifornien). Trots att detta minskar utnyttjandet av råvatten räcker inte dessa åtgärder för den prognoserade befolkningstillväxten och den möjliga ekonomiska tillväxt som kan förväntas därav (California Department of Water Resources, Recycled Water Task Force, 2005). Ofta har man även i dessa områden redan utnyttjat möjligheterna att hämta råvatten från andra delar av landet till sin gräns. Indirekt recirkulation av renat avloppsvatten kan säkerställa vattenbehovet och har därför blivit mer och mer intressant.

I Europas tätbefolkade områden börjar problem med tillgängligt råvatten av god kvalitet uppenbara sig. Nederländerna är ett exempel. I landets östra delar används grundvatten som råvattentäkt och i de västra delarna ytvatten. Ytvattnet är generellt sett mer förorenat vilket ställer högre krav på behandling och grundvattennivåerna i de östra delarna sjunker på grund av det väl-

utbyggda dikes- och kanalsystemet i Nederländerna. Regn som faller hinner inte fylla på grundvattnet utan transporteras direkt ut i havet (Thomasson 2005). I Belgien har man, för att inte sänka grundvattennivån samt förhindra saltvatteninträngning, byggt en membranläggning i Torreele dit renat avloppsvatten från reningsverket i Wulpen pumpas. Vattnet genomgår mikrofiltrering (MF), kolfilter, omvänd osmos (RO) och desinfektion med UV-ljus varefter det infiltreras i sanddynerna till grundvattnet. Efter minst 40 dagars uppehållstid kan vattnet pumpas upp för produktion av dricksvatten (Wintgens *et al.*, 2004).

Sverige har gott om vatten och återanvändning av renat avloppsvatten pga. vattenbrist är inte generellt förekommande, men det finns områden även i Sverige som under sommarmånaderna kan drabbas av perioder av vattenbrist t.ex. skärgårdsöar eller Gotland.

2.2. Typer av återanvändning

Det är viktigt att skilja på olika typer av återanvändning av renat avloppsvatten;

- Direkt återanvändning
 - Avloppsvattnet renas upp till den kvalitet som anses nödvändigt beroende på användningsområde. Bevattning av golfbanor och dylikt kräver framför allt en säkerhet mot potentiella hälsorisker medan många industrier behöver dricksvattenkvalitet i ledningsnätet.
- Oplanerad indirekt recirkulation
 - Ett råvatten som tas in till ett vattenverk från en naturlig yt- eller grundvattentäkt som till viss andel består av renat eller orenat avloppsvatten. Detta inträffar då ett avloppsverks utsläppspunkt är lokaliserat uppströms ett råvattenintag.
- Planerad indirekt recirkulation
 - Det renade avloppsvattnet genomgår ytterligare avancerad rening och leds därefter medvetet till råvattenkällan som kan vara ett naturligt vattendrag, en vattenreservoar eller en grundvattentäkt där det blandas med befintligt råvatten. Kontinuerliga kvalitetskontroller efter varje reningssteg samt råvattentäkten genomförs och mängd tillfört avancerat renat avloppsvatten är oftast reglerat.
- Planerad direkt recirkulation
 - Det renade avloppsvattnet genomgår ytterligare avancerad rening och leds därefter direkt till vattenverket som råvatten alternativt direkt ut i ledningsnätet där det blandas med råvatten från annat håll.

Oplanerad indirekt recirkulation är ett faktum på ett stort antal platser, framför allt där råvattnet tas från floder nedströms andra samhällen. Så länge utsläppet av det renade avloppsvattnet är relativt oförorenat och det

handlar om små mängder utgör detta inget större problem. Men i tätbefolkade områden längs med ett flodsystem har det i städer långt nedströms upptäckts oönskade ämnen i dricksvattnet med ursprung från tidigare avloppsvatten, t.ex. Rhen (Tyskland och Holland) och Mississippi (New Orleansområdet); (Asano, 2001).

Oplanerad indirekt recirkulation är inte heller ovanligt i Sverige. Mälaren är råvattentäkt för ca 1,5 miljoner människor. Av den vattenmängd som dagligen lämnar Mälaren har ca 5 % sitt ursprung från kommunala avloppsreningsverk, dagvatten och industrier (Mälarens Vattenvårdsförbund, 2006). Mälardalens befolkning beräknas växa med drygt 10 % de närmsta 10 åren (Länsstyrelsen i Stockholms län, 2005) och med det belastningen på Mälaren. Det finns många andra vattensystem i Sverige som tjänar som både recipient för avloppsreningsverk och råvattentäkt. Det mest undersökta är väl Göta Älv.

Även i områden som inte lider av direkt vattenbrist kan det därför vara av intresse att studera reningsprinciperna av avloppsvatten till dricksvattenkvalitet. På samma sätt som vi i steg började rena avloppsvatten på grund av hälsorisker och miljövård kan det bli möjligt att vi måste förbättra vår rening för att kunna fortsätta använda ytvatten som råvattentäkter.

2.3. Anledningar till indirekt recirkulation

Det finns framför allt tre orsaker som har drivit utvecklingen mot planerad indirekt recirkulation av renat avloppsvatten som råvattenkälla trots att det i många fall inte var det primära syftet från början;

- **Vattenbrist**
Oftast har åtgärder som a) vattenbesparing inom hushållen och b) återanvändning av renat avloppsvatten till bevattning introducerats men behovet av vatten överstiger trots allt tillgänglig mängd.
- **Förbättra en grundvattentäkt**
Om en grundvattentäkt hotas av a) saltvatteninträngning kan det tillförda avloppsvattnet utgöra en barriär mot havsvattnet eller b) grundvattennivån faller till en nivå som anses oacceptabel.
- **Förbättra en ytvattentäkt/rekreativområde**
Om en råvattentäkt/rekreativområde innehåller höga mängder föroreningar, oavsett föroreningskälla, kan det bli fråga om att rena avloppsvattnet ytterligare för förbättra vattenkvaliteten.

Ytterligare underorsaker kan vara;

- **Miljökrav**
I de fall där myndigheterna sätter hårdare krav på minskade utsläppsmängder av specifika ämnen till recipienten.

- **Prissättning på vatten**
Då tillgången/tillgängligheten av råvatten minskar vid a) sjunkande grundvattennivå eller b) försämrade ytvattenkvalitet och kostnaderna att erhålla råvatten jämfört med återanvändning av renat avloppsvatten blir högt.

2.4. Risker med indirekt/direkt recirkulation av avloppsvatten

Förutsättningen för planerad recirkulation är att avancerat renat avloppsvatten ska hålla samma, eller högre, kvalitet än de krav som ställs på dricksvatten, vilket också är fallet i de existerande anläggningarna som är i drift. Ett stort antal ämnen och patogena mikroorganismer som finns närvarande i avloppsvatten är dock inte upptagna i dricksvattenstandarder och mäts därför inte.

Då ett råvatten tas från en ytvattentäkt är förekomsten av dessa ämnen sannolik, speciellt då vattendraget är nedströms andra samhällen. I USA förs potentiellt farliga ämnen och patogena mikroorganismer, som man vet eller misstänker kan finnas i vattentäkter, upp på »Drinking water Contaminant Candidate List». Ämnen på listan studeras närmare i avseende på hälsoeffekter och miljöpåverkan och kan därefter avföras alternativt listas som en parameter i dricksvattenkraven (WHO, 2003).

Myndigheternas uppgift är att skapa regler och kontroller som garanterar säkerheten för konsumenterna oavsett ursprung av råvattnet. Det största problemet är att endast ca 20 % av de organiska ämnena i ett avloppsvatten är kända och mätningar av specifika ämnen inte kan genomföras. Vid planerad recirkulation är det därför av största vikt att organiskt material avlägsnas i den avancerade reningen. En möjlighet som diskuteras för att minimera riskerna med okända organiska ämnen är att ställa höga krav på tillåten halt TOC (Total Organic Carbon) (Water Environment Federation & American Water Works Association, 1998).

Ofta är det sista reningssteget en UV- eller ozonbehandling för att oxidera potentiellt närvarande organiska föroreningar.

Undersökningar av hälsoeffekterna av planerad recirkulation är få i och med att dessa anläggningar ännu inte är vanligt förekommande. I Windhoek, Namibia har direkt recirkulation förekommit i sedan 1968. Det långtgående rena avloppsvattnet blandas med annat dricksvattenvatten (i förhållandet 1:3,5) för att sedan transporteras till konsumenterna. Undersökningar som har gjorts har inte påvisat några hälsoeffekter (Australian Academy of Technological Sciences and Engineering, 2004). I USA har det förekommit indirekt recirkulation genom grundvatteninfiltration i Whitter Narrows, Kalifornien, sedan 1962. Det uppumpade råvattnet består till 0–11 %

(mätperiod 1962–1977) av recirkulerat avloppsvatten. Även regnvatten och importerat råvatten når grundvattentäkten och undersökningar av dessa tre vatten samt grundvattnet har bland annat gjorts med avseende på mikroorganismer, möjliga oorganiska och organiska giftiga ämnen samt epidemiologiska undersökningar. Dessa undersökningar visade inte några effekter av påverkan på grundvattenkvaliteten eller någon hälsopåverkan på människor vars vatten innehöll recirkulerat avloppsvatten jämfört med en kontrollgrupp (Water Environment Federation & American Water Works Association, 1998). Då antalet undersökningar fortfarande är låg ställs det mycket höga, men inte omöjliga, krav på den avancerade avloppsreningen för att eventuella risker ska kunna minimeras.

Regler för hur indirekt återanvändning av renat avloppsvatten ska genomföras har utfärdats av bland annat WHO och U.S. Agency of Environmental Protection Agency (EPA). Arbete att få fram ett regelverk för planerad indirekt recirkulation för grundvatteninfiltration pågår i Kalifornien. Många av dessa regler kommer även att användas för indirekt recirkulation i ytvattentäkt. Den största osäkerheten vid planerad recirkulation är den möjliga förekomsten av ökända toxiska ämnen varför Kalifornien kräver rening med multibarriärer, kontroll av inkommande avloppsvatten och efter varje reningssteg samt en lång uppehållstid, minst 6–12 månader beroende på typ av vattentäkt och återföringsmetod till vattentäkten (City of San Diego, Water Reuse Study, 2005).

2.5. Allmänhetens uppfattning av recirkulation av avloppsvatten

De flesta människor är fullt medvetna om vattnets kretslopp och vi fascineras av att vi kanske dricker samma vatten som Julius Ceasar. Ändå har de flesta människor svårt att tänka sig att dricka vatten man vet har varit avloppsvatten, oavsett hur rent det är.

En teori som lagts fram för att förklara detta är lagen om smitta (the law of contagion). Ett neutralt föremål kan smittas med äckliga egenskaper genom beröring av ett föremål som framkallar äckelkänsla. Äckelkänslan överförs på det neutrala föremålet oavsett när och hur länge kontakten varit. Man känner en äckelkänsla (the yuck factor) av tanken på att äta eller dricka något som har blivit »smittad». Försökspersoner har förklarat att det fortfarande kan finnas spår, av exempelvis mikroorganismer, kvar på ytan av »smittad» föda men det förklarar inte allt. Det har gjorts ett flertal olika försök med föda som har varit i beröring med något som uppfattas som äckligt och det har visat sig att »the yuck factor» är så stark att den övervinner människans vetskap om att det inte är farligt, eller äckligt, att äta eller dricka den »smittad» födan.

Vid en undersökning gav man försökspersoner deras favoritsoppa och rörde därefter om med en nyinköpt kam. Även om det omöjligt kunde finnas några rester av mänsklig härkomst i soppan betraktades den som »smittad» och försökspersonerna vägrade äta. (Rozin & Fallon 1987). Så oavsett hur avancerad rening avloppsvattnet har passerat kan vattnet fortfarande uppfattas ha äckliga egenskaper eftersom det en gång kanske har varit i kontakt med mänsklig avföring.

Medvetenheten om psykologiska spärrar finns och i projekt med indirekt recirkulation undviker man att använda ord som kan kopplas till avloppsvatten. I Singapore kallas det recirkulerade vattnet för »NEWater» och i San Diego »repurified water» (Australian Water Association & CSIRO, 2004).

Flera opinionsmätningar har gjorts i Kalifornien i samband med att ett samhälle har diskuterat indirekt recirkulation. I många fall har stödet för politiken varit högt, 73 % i San Diego 1993 och 65 % i Los Angeles 2000 i andra fall tämligen lågt 46 % i Monterey. I de två förstnämnda undersökningarna ställdes även frågan om man själv skulle kunna tänka sig att dricka vattnet. Då sjönk stödet för projekten till 59 % i San Diego och 38 % i Los Angeles. I flera mätningar har man även funnit att förtroendet för tekniken och myndigheterna spelar stor roll. Två undersökningar gjorda i Orange County 1997 och 2000 och en i San Jose 1999 visade att anledningen till att de som motsatte sig indirekt recirkulation till 26–36 % var att de misströrde tekniken. Misströende mot tekniken, hälsofrågor och förtroendet för att organisationer och myndigheter skulle kunna driva en avancerad rening med avloppsvatten som ursprung upp till dricksvattenkvalitet motsvarade 88 % av anledningarna givna av dem som var motståndare i San Jose, 77 % i Orange County 1997 och 93 % 2000 (Marks, 2004).

Andra opinionsmätningar i USA visar att förtroendet för myndigheter generellt har minskat. Tron på att även den bästa tekniken skulle kunna avlägsna alla föröreningar och patogena mikroorganismer minskar även den. Trots att undersökningar i samband med recirkulation av avloppsvatten visar att förtroendet är stort för oberoende universitetsforskare i tekniska frågor och medicinskt kunniga i hälsofrågor litar man helst på sin egen bedömning av vattenkvaliteten. (Hartley T.W., 2006)

Trots detta har många av oss kravattnen som inte allt för länge sedan var avloppsvatten. Beskrivningar av vattnets väg genom ett samhälle utgår från stadens vattenbehov och användning, inte vattnets väg från nederbörd till havet. Stadens vattenbehov börjar oftast med intaget av råvatten, tranporten genom staden för att till slut släppas ut i ett annat vattendrag alternativt nedströms intagspunkten till vattenverket. Hur stor andel av vårt råvatten är renat avloppsvatten från andra samhällen uppströms?

3. Pågående & planerade projekt

3.1. Pågående projekt i världen

I takt med att vattenbristen ökar i världen, ökar intresset för att återanvända vatten. I tabell 1 listas några av de projekt vi hittat under arbetet med denna översikt.

3.2. San Diego

San Diego området är vattenfattigt och semiarid med en befolkning på ca 1,3 miljoner. Nära 90 % av råvattnet importeras från Coloradofloden och norra Kalifornien. Fram till år 2030 räknar San Diego med att befolkningens mängd i området kommer att öka med nära 50 % och orsaka en ökning av vattenförbrukningen med ca 25 % trots att man driver besparingsprogram (City of San Diego, Water Reuse Study, 2005).

I staten Kalifornien har återanvändning av renat avloppsvatten varit i bruk sedan början på 1900-talet och man har även under lång tid drivit de sk Conservation Programs, som syftar till att hushålla och återanvända så mycket som möjligt av vatten och energi. Detta har också varit högt prioriterat i San Diego sedan 80-talet. I ett domslut 1994 var San Diego tvingade till att år 2010 kunna producera och distribuera 45 MGD (ca 170 000 m³/d) avancerat renat avloppsvatten i separata ledningsnät ut till kunder för bevattning, toalettspolning mm. För detta byggdes två verk, North City Water Reclamation Plant (NCWRP) 1997 samt South Bay Water Reclamation Plant (SBWRP) 2002.

Under 1980-talet genomförde San Diego flera pilotförsök, Aqua programmen, för att rena avloppsvatten med membranfiltrering och akvatiska system för att framställa ett vatten med så höga kvalitetskrav hygieniskt och kemiskt att det skulle kunna ledas till en råvatten-täkt.

I och med de minskade möjligheterna till ökat vattenuttag från Coloradofloden och norra Kalifornien,

torrperioder och områdets möjligheter att växa påbörjade San Diego 1993 Repurified Water Project. Man tittade på möjligheten att avleda halva flödet ut från NCWRP för ytterligare rening för att därefter släppas ut i San Vicente reservoaren som är en av tre stora råvattenkällor till det största vattenverket i San Diego, Alvaro Filtration Plant, som producerar nära en tredjedel av San Diegos dricksvatten. Senare samma år påbörjades en kampanj för att informera och engagera invånarna.

Den föreslagna processen vid NCWRP skulle vara enligt nedan, med följande behandlingseffekter (McGuire Environmental Consultants, 2005);

- Mikrofiltrering (MF) eller ultrafiltrering (UF) – förbehandling av biologiskt renat avloppsvatten innan RO samt avlägsnande av större andelen av bakterier, protozoer samt virus (över 99 %).
- Omvänd osmos (RO) – avlägsnande av mikroorganismer, salter och merparten organiska ämnen
- Jonbytare – avlägsnande av möjligt kvarvarande molekyler av nitrat, nitrit, fosfat andra tvåvärdade joner samt organiskt material
- Oxidation med ozon – en ytterliggare barriär för att garantera elimineringen av mikroorganismer samt oxidering av möjliga kvarvarande okända organiska ämnen
- Klorering – Tillsats av klor i den 37 km långa ledningen till reservoaren. Kloreringen anses som säker i och med att det inte förekommer några mängder organiskt material i vattnet.
- Naturlig rening – 28 månaders uppehållstid i San Vicente reservoaren som en sista säkerhetsbarriär.
- Alvaro Filtration Plant – Vanlig behandling i vattenverket.

Projektet hade brett stöd från både myndigheter och invånare. San Diego ansåg nu att man hade det stöd man behövde och avbröt den aktiva kommunikationen med allmänheten för att ägna sig åt projektplaneringen.

Tabell 1. Några exempel på indirekt och direkt recirkulation.

Plats	Typ		Primär anledning
Whitter Narrows, Kalifornien, USA	Indirekt recirkulation	Grundvatteninfiltration	Tillskott råvattentäkt
West Basin, Kalifornien, USA	Indirekt recirkulation	Grundvatteninjicering	Saltvatteninträngning
Water Factory 21, Kalifornien, USA	Indirekt recirkulation	Grundvatteninjicering	Saltvatteninträngning
Upper Occoquan, Virginia, USA	Indirekt recirkulation	Ytvattenreservoar	Tillskott råvattentäkt
Las Vegas, Nevada, USA	Indirekt recirkulation		
Fred Harvey, Texas, USA	Indirekt recirkulation	Grundvatteninfiltration	Tillskott råvattentäkt
Scottsdale, Arizona, USA	Indirekt recirkulation	Grundvatteninjicering	Tillskott råvattentäkt
Windhoek, Namibia	Direkt recirkulation	Blandas med annat råvatten	Tillskott råvatten
Singapore	Indirekt recirkulation	Ytvattenreservoar	Tillskott råvattentäkt
Essex and Suffolk, GB	Indirekt recirkulation	Ytvattenreservoar	Tillskott råvattentäkt
Wulpen, Belgien	Indirekt recirkulation	Grundvatteninfiltration	Tillskott råvattentäkt

Under följande år genomfördes projektplanering och en miljökonsekvensbeskrivning som presenterades 1997. Vid det här laget hade projektledningen flyttat från dricksvatteningenheten inom San Diego till avloppsenheten som därefter fortsatte med arbetet att dimensionera anläggningen.

1998 började kritiska röster göra sig hörda, en valkampanj pågick och några kandidater började tävla om att beskriva projektet mer eller mindre kritiskt, media började kalla det för »toilet to tap» projektet, andra påstod att det var bara fattiga och minoritetsgrupper som skulle få vattnet trots att nästan hälften av San Diegos invånare skulle ta del av vattnet.

San Diego startade en stor kampanj för att försöka vända opinionen. Hälsovårdsmyndigheten i Kalifornien och County Grand Jury (ett medborgarforum vars form grundades i USA 1635) stödde fortfarande projektet. Men det var för sent och 1999 lade San Diego ned projektet. Man hade förlorat förtroendet hos befolkningen, kommunikationen mellan projektet och allmänheten hade brutit.

Orsakerna till projektets nedläggning kan vara flera men efter överföringen från vatteningenheten till avloppsenheten framstod projektet för många inte längre som en fråga om att lösa vattenbristen utan mer som ett försök att bli av med avloppsvatten. San Diego började nu arbeta på hur man maximalt kunde utnyttja renat avloppsvatten på andra sätt än som möjligt tillskott till råvattnet.

I och med att San Diego beräknas öka sitt vattenbehov med 25 % till år 2030 och möjligheterna till högre vattenuttag från Colorado floden och norra Kalifornien inte finns beslöt National Resources Committee 2003 att alla användningsområden för renat avloppsvatten skulle undersökas för att säkerställa vattenförsörjningen. 2004 utformade San Diego riktlinjerna för en nytt projekt som ska ligga till grund för politiker att kunna ta beslut som bygger på en opartisk, balanserad och lättförståelig teknisk studie över alla praktiskt möjliga projekt inom kommunen för återanvändning av renat avloppsvatten.

I den preliminära slutrapporten, Water Reuse Study 2005 Interim Report, undersöks fem alternativ för att ytterligare expandera direkt återanvändning och tre alternativ för indirekt recirkulation. I alla alternativ har man uppskattat de ekonomiska och praktiska möjligheterna, möjliga hälsorisker och miljömässiga aspekter.

I California Department of Water Resources' rapport, Water, Recommendations of California Recycled Water Task Force, påpekas att det hela tiden måste finnas en öppen och klar kommunikation med befolkningen under projektets gång för att det skall kunna genomföras. Detta har San Diego tagit på största allvar. Under hela utredningsperioden har befolkningen kunnat följa händelseförloppet på San Diegos hemsida. Där har fun-

nits, och finns idag eftersom projektet fortfarande drivs, rapporter, artiklar, och man har kunnat delta i en opinionsundersökning och mejla in frågor och synpunkter. Opinionsundersökningen visar att cirka 60 % är för indirekt recirkulation (personlig kontakt Water Reuse Study 2006). Allmänheten kan bjuda in föreläsare till sina skolor och föreningar som kan berätta om projektet och svara på frågor. Reaktionerna efter föreläsningarna har varit positiva och frågor och synpunkter har inte varit mot indirekt recirkulation. Men, det är först om ett politiskt beslut fattas för införande av indirekt recirkulation som man med säkerhet vet hur befolkningen reagerar (personlig kontakt Water Reuse Study 2006).

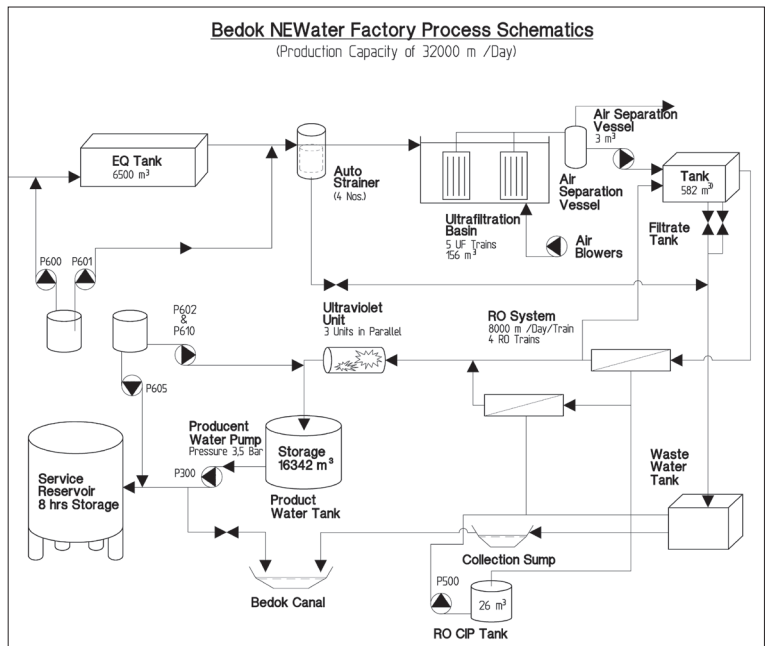
Projektet ska vara avslutat till våren 2006 då en slutgiltig rapport kommer att läggas fram.

3.3. Singapore

Vattenåtervinningsstudien Singapore Water Reclamation Study (NEWater Study) i Singapore började 1998 som ett samarbete mellan samhällsservicen Public Utilities Board (PUB) och ministeriet för miljö och vattenresurser med målet att undersöka möjligheten för användning av NEWater som ett tillskott till Singapores vattenresurser. Singapore får sitt vatten från två källor – Johor (Malaysia) och lokala avrinningsområden. 2002 konsumerades 80 miljoner liter vatten i Singapore och konsumtionen tio år senare beräknas till en tredjedel mer. Enligt ett avtal med Malaysia skall vattenuttaget från Johor till Singapore reduceras till år 2011, vilket medför ett kommande behov av alternativa vattenkällor i Singapore. Dessa skall täckas av avsaltning av havsvatten samt rening av spillvatten till dricksvattenkvalitet, såkallat NEWater.

Avloppsvattnet i Singapore genomgår först en konventionell rening till globalt erkända reningsstandarder. Spillvattnet genomgår sedan en utbredd rening med flera filtreringssteg och desinfektion innan det leds till industrikunder alternativt till råvattentäkten (se figur 1).

Det renade avloppsvattnet filtreras först i mikrofilter av hålfibertyp för att avlägsna bakterier och större mikroorganismer (upp till 0,2 μm). Även turbiditeten sjunker från 3–6 NTU1 till <0,1 NTU under mikrofiltreringen. Mikrofiltreringen tjänar som förbehandling till RO-processen för att förhindra igensättning av RO-membranen. En omvänd osmosanläggning renar vattnet från resterande föroreningar som virus och små rester av organiska ämnen som desinfektionsbiprodukter, aromatiska kolväten, pesticider, med mera och oorganiska ämnen som tungmetaller, nitrat, klorid, sulfat, med mera. Efter RO-steget är vattnet i stort sett rent. Av dess porer med en porstorlek på runt 0,0001 μm stoppas 95 % av TSS. Desinfektion sker efter omvänd osmos med hjälp av UV-strålning för att säkerställa kvaliteten



Figur 1. *Processchema NEWater.*

hos vattnet och förstöra virus eller bakterier som kan ha lyckats ta sig igenom processen. Efter eventuell pH-justering är vattnet nu färdig för distribuering.

Under membranfiltreringen tas inte bara föroreningar bort ur vattnet utan även mineraler. Det lättaste sättet att återföra dessa är genom blandning av NEWater i råvattentäkten varifrån det tas ut av PUB för rening till dricksvattenkvalitet. På detta sätt sluts vattenkretsloppet.

NEWater har visat sig ha en kvalitet jämförbart med kranvattnet som levereras av PUB. Halten föroreningar ligger något till långt under WHO-standarden (PUB, 2005).

3.4. Windhoek

I Windhoek, Namibia, har man erfarenheter av vattenåtervinning som går tillbaka så lång som till 1960-talet. Prognoser på en drastiskt växande befolkning mängd samt mycket begränsade vattenresurser kommande från floderna Orange River och Zambezi River, båda runt 700 km från staden Windhoek, ledde till beslutet om byggandet av vattenåtervinningsanläggningen Windhoek Water Reclamation Plant som byggdes 1968. Processen i Windhoek skiljer sig något från de flesta andra som först och främst består av olika membranprocesser. I Windhoek tas biologiskt renat avloppsvatten (aktivt slamprocessen) till följande reningssteg (Van Leeuwen, 1996):

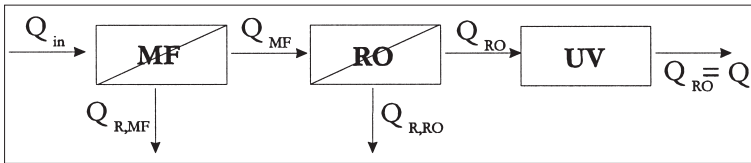
- koagulering med aluminium
- flotation
- sedimentering
- brytpunktsklorering
- sandfiltrering
- granulärt aktivt kol
- slutlig klorering
- distribution

Regelbundna studier av vattenkvaliteten har visat att inte heller detta vatten bär på någon hälsorisk då det dricks (Van Leeuwen, 1996).

På grund av en fortsatt växande befolkning uppgraderades Gorangabverket från år till år. Den sista uppgraderingen skedde år 1997. Efter denna uppgradering byggdes ett helt nytt reningsverk som startades år 2002 och kan leverera 21000 m³/d, vilket utgör 35 % av dricksvattenbehovet i staden (Du Pisani, 2004).

Det nya reningsverket använder sig av multibarriär-systemet som här redan har beskrivits i avsnittet om Singapore. Inte bara reningen sker i flera steg utan filosofin om flera hinder används även i kontroller, separat rening av industriellt vatten och blandningen av återvunnet dricksvatten med traditionellt reat dricksvatten så att dricksvattnet som når användaren alltid endast består av 35 % återvunnet vatten.

Reningsprocessen i den nya återvinningsanläggningen i Windhoek består av följande steg (Du Pisani, 2004):



Figur 2. Processchema över den möjliga reningsprocessen i Malmö.

- aktivt kol (om detta krävs)
- förozonering
- koagulation / flockulation
- dissolved air flotation (DAF)
- snabbt sandfilter
- ozonering
- biologiskt aktivt kol (BAC)
- granulärt aktivt kol (GAC)
- ultrafiltrering med membran
- klorering
- distribution

Även om tekniken finns för att rena avloppsvatten till dricksvattenkvalitet har man i Windhoek gjort erfarenheten att det största hindret är befolkningens acceptans att dricka renat avloppsvatten. Det krävs därför investeringar i kommunikationen med befolkningen av en stad som planerar att införa återvunnet avloppsvatten som dricksvatten. Dessutom måste omfattande kontroller göras av vattenkvaliteten inte enbart för att säkerställa ett hälsosamt vatten utan även för att säkerställa befolkningen att vattnet är säkert att dricka (Du Pisani, 2004).

Enligt Du Pisani har invånarna av Windhoek inte bara vants vid tanken att en del av deras dricksvatten är renat avloppsvatten utan har även utvecklat en viss stolthet över det faktum att deras stad är världsledande i direkt återvinning av vatten.

4. Återanvändning av spillvatten i Sverige?

4.1. Relevans av återanvändning

I ett land som Sverige kan det tyckas konstigt att diskutera recirkulation av avloppsvatten men det finns platser även här som har perioder av vattenbrist. Många av dessa områden är öar i våra skärgårdar men även Gotland som under sommarmånaderna har besök av många turister samtidigt som jordbruket kräver mycket vatten (Gotlands Kommun, 2005).

Andra orsaker till att börja recirkulera avloppsvatten kan vara farhågor om försämrade råvattenkvalitet och olyckor uppströms sitt eget råvattenintag. Återanvändning av avloppsvatten behöver inte heller alltid ha sin grund i brist på dricksvatten utan tekniken kan även vara

intressant vid rening av avloppsvatten för till exempel bevattning av parker eller jordbruk istället för återanvändning som dricksvatten.

4.2. En möjlig process

En idéstudie i form av en förprojektering av en reningsprocess liknande den i Singapore har gjorts för Malmö (Hoyer, 2005). Staden Malmö har en säkerställd vattenförsörjning men valdes för att undersöka möjligheten att försörja en svensk storstad med recirkulerat avloppsvatten. Processchema för den tänkta processen återfinns i figur 2.

Studien visar att en sådan reningsprocess är fullt möjlig att genomföra i Malmö till en rimlig kostnad.

4.3. Kostnader

I studien gjordes en kostnadsanalys som visar att en avancerad rening av renat avloppsvatten från Sjölundaverket upp till dricksvattenkvalitet skulle kosta cirka 1,60 SEK/m³. Kostnadsanalysen grundar sig på en datorsimulering av filtreringen med omvänd osmos och beräkningar i övriga processer (mikrofiltrering och desinfektion med UV-ljus). Vidare har frågor som beläggningsproblem på membran, kvalitetsfrågor och olika alternativ för distribution av det renade spillvattnet till användarna utretts och tagits med i kostnadsberäkningarna.

Processen är mycket lik NEWater-anläggningen i Singapore. Kostnaden är där cirka 0,5 \$US/m³ (muntlig uppgift Lim Chiow Giap, 2005). Kostnadsanalysen i Malmö ger alltså en god indikation av storleksordningen på kostnaderna. Vidare visar studien tydligt i vilka områden de stora kostnaderna ligger (se tabell 2), främst energi- och räntekostnader.

Tabell 2. Kostnader för membranläggningen i Malmö [SEK/m³].

Kapitalkostnad	0,50
Energi	0,53
Membran- och lampbyte	0,14
Rengörning	0,36
Kemikalier	0,0125
Personal	0,042
Total kostnad [SEK/m ³]	1,60

5. Diskussion

Många vattentäkter ligger placerade så att planerad indirekt återanvändning av renat avloppsvatten sker i praktiken. Med befolkningsstillväxt ökar behovet av dricksvatten och produktionen av avloppsvatten. Det kan bli en nödvändighet att, oavsett om vi direkt återanvänder det renade avloppsvattnet eller endast släpper ut det i recipienten, lägga till ytterligare reningssteg i våra avloppsreningsverk. En ökad beredning av avloppsvatten kan motivera återanvändning.

Med membrantekniken har man visat att avloppsvatten kan renas kostnadseffektivt till bättre kvalitet än vanligt dricksvatten. För urbana områden verkar därför konservatism och »the yuck factor» vara det som begränsar investeringar i beredning för ett slutet kretslopp. Förtroendet för tekniken och en öppen dialog med allmänheten är nödvändiga faktorer för att ändra på förutfattade meningar.

Ett eventuellt investeringsbeslut i en återvinningsanläggning måste givetvis föregås med många, tydliga och ärliga möten och kommunikationsaktiviteter med de presuntiva konsumenterna, så att ingen luras. Detta är en insats som tar tid och som måste få ta tid. Lärdomar från San Diego är värdefulla att dra om hur teknik och kommunikation måste gå hand-i-hand.

Konkreta demonstrationsanläggningar, vari hälsosamt och gott dricksvatten produceras kontinuerligt till allmän beskådan är säkert också nödvändiga. Det kräver förmodligen viss kommunikativ talang att berätta för människor att det vatten de dricker inte bara har druckits av Julius Caesar för 2000 år sedan, utan också av Göran Persson för 2 dagar sedan.

Referenser

1. Angelakis A.N. Bontox L. Lazarova V. *Challenges and perspectives for water recycling and reuse in EU countries*, Water Science and Technology Vol 3 No 4 pp 59–68, 2003
2. Asano, Takashi, *Water from (Waste)water – the dependable water resource*, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California at Davis. 11th Stockholm Water Symposium, August 12–18, 2001
3. Australian Academy of Technological Sciences and Engineering – *Water Recycling in Australia*, 2004
4. Australian Water Association & CSIRO, *Literature review of factors influencing public perceptions of water reuse*, 2004-04
5. California Department of Water Resources, Recycled Water Task Force, *Water Recycling 2030: Recommendations of California Recycled Water Task Force*, 2005-06
6. City of San Diego, Water Reuse Study 2005 Interim Report, 2005-06
<http://www.sandiego.gov/water/waterreustudy/involvement/ir2005.shtml>
7. Community Outreach Specialist/Speakers Bureau Coordinator Water Reuse Study San Diego, Lesley Robin – personlig kontakt
8. Du Pisani, Petrus L., (2004), *Surviving in an arid land: Direct reclamation of potable water at Windhoek's Goreangab Reclamation Plant*
9. Gotlands Kommun, *Vattenplan för Gotlands kommun*, 1996-10-14 reviderad 2005-02-14
10. Hartley T.W., *Public perception and participation in water reuse*, Desalination 187 (2006) 115–126
11. Hoyer, K., *Återanvändning av spillvatten som dricksvatten – en idéstudie om sydvästra Skåne*, examensarbete Lunds Universitet 2005
12. Jaimson, Jon, *Raw Sewage to reclaimed Water, The History Of Sewerage Systems In the Metropolitan San Diego – Tijuana Region*, Nimbus Press, 2002
13. Knight Merz, S. *Issues Associated with Potable Use of Sewage Effluent*, Hawkesbury-Nepean River Management Forum, January 2003
14. Lim Chiow Giap, *International Desalination Association World Congress on Desalination and Water Reuse*, September 11–16 2005, Singapore
15. Länsstyrelsen i Stockholms län, Statistik om Stockholms län och regioner, *Befolkningsprognos 2005 för perioden 2005-2014*
16. Marks, J. S., *Back to the future: Reviewing the findings on acceptance of reclaimed water*, Enviro 04 Convention & Exhibition Proceedings, number e4109, pages 1–13, Sydney, Australia, Mar. 28–Apr. 1 2004. Australian Water Association
17. McGuire Environmental Consultants, Inc, *Science, Technology, and Regulatory Issues Associated With Non-Potable and Indirect Potable Recycled Water Uses*, 2005-01-25
18. Mälarens Vattenvårdsförbund, 2006-02-06
www.vasteras.se/malarensvattenvardsforbund/forbund/forbundet.htm
19. NEWater, www.pub.gov.sg/NEWater, 2006-02-16
20. Rozin & Fallon, *A Perspective on Disgust*, Psychological Review 1987, Vol.94, No 1, 23–41
21. Thomasson, A. *Vatten på Holländskt vis – En studie av VA-verksamheten i Nederländerna*, VA Forsk rapport Nr 2005-01
22. Torreele Production Centre
<http://www.iuvva.be/page.jsp?id=39&parentId=34>
23. Van Leeuwen, J. Hans, (1996), *Reclaimed water – an untapped resource*, Desalination 106 233–240, Elsevier
24. Water Environment Federation & American Water Works Association, *Using Reclaimed Water to Augment Potable Water Resources*, 1998
25. WHO Regional Office for Europe, *State of the Art Report Health Risks in Aquifer Recharge Using reclaimed Water*, Unedited Final Draft 2003
26. Wintgens T., Melin T., Schäfer A., Khan S., Muston M., Bixio D., Thoeye C., *The role of membrane processes in municipal wastewater reclamation and reuse*, Desalination 178 2005 1–11

