

BARRIÄRTÄNKANDE VID EXTREMA FÖRHÅLLANDEN

Multiple barriers under extreme situations

av LENA FLYBORG och KENNETH M PERSSON

Avd f teknisk vattenresurslära, Lunds Tekniska högskola, Box 118, 221 00 Lund
e-post: lena.flyborg@tvrl.lth.se, lena.flyborg@hotmail.com, kenneth_m.persson@tvrl.lth.se



Abstract

The demand for water increases with population and economic growth. Water that in many cases not is available. Reclaimed water for irrigation has been used for a long time, but in urban areas with water scarcity, advanced treated wastewater has now become an alternative for production of potable water. Extreme situations demand ingenious solutions, solutions that in the future may viewed as obvious but which are controversial today.

Planned, direct or indirect, reuse of treated wastewater for production of potable water is a reality in many countries today. All these facilities, wherever in the world and irrespective of available resources, have designed their processes according to multiple barrier systems. There is no acceptance of any negative effect on health at any time, the process design must fulfil the high quality demands from the users.

Key words – Multiple barriers, indirect, direct, planned water reuse

Sammanfattning

Med befolkningsökning och ekonomisk tillväxt växer behovet av vatten, vatten som i många fall inte finns tillgängligt. Att återanvända renat avloppsvatten till bevattning är inget nytt. I urbana områden med vattenbrist har man nu också fått upp ögonen för återanvändning av avloppsvatten, som dricksvattenkälla. Extrema situationer kräver innovativa lösningar, lösningar som vi om några årtionden kanske betraktar som helt självklara, men det är de inte idag.

Planerad, direkt eller indirekt recirkulation av avloppsvatten sker idag på ett flertal ställen i världen. Det alla har gemensamt är multibarriärtänkandet att, oavsett vilka resurser som finns tillgängligt, se till att processutformningen i den avancerade reningen av avloppsvattnet motsvarar de högt ställda kraven hos användarna, det får inte vara förenat med en hälsorisk att dricka det recirkulerade vattnet.

Introduktion

Under de senaste 10–20 åren har intresset att utnyttja avancerat renat avloppsvatten som potentiell råvattenkälla ökat. Vid planerad indirekt eller direkt recirkulation av renat avloppsvatten är multibarriärer en viktig aspekt för att i så hög grad som praktiskt möjligt säkerställa att människor inte utsätts för mikrobiella eller kemiska hälsorisker. Multibarriärer innebär att det finns minst två reningssteg för avlägsnande av specifika ämnen. Om ett processteg skulle kollapsa finns det ytterligare minst ett processteg för att fånga upp en förorening. Risken att alla reningssteg ska kollapsa samtidigt minimeras med antal reningssteg samt att inom multibarriärkonceptet ligger en rigorös kontroll av vattenkvaliteten

efter olika reningssteg vilket även ger en högre säkerhet mot möjliga processproblem.

Då återanvändning är ett kontroversiellt ämne krävs att det råder en mycket öppen dialog mellan myndigheter, universitet, oberoende organisationer och invånarna som berörs. Genom att utforma processen med multibarriärer ges det tekniska skyddet till användarna.

Teoretisk bakgrund

Förutsättningen för planerad recirkulation av avancerat renat avloppsvatten är att det ska hålla 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. Då det inte finns några riktlinjer för planerad recirkulation har de flesta stater utgått från WHO Guidelines for Drinking Water Quality, USEPA National Drinking Water Standards samt riktlinjer för återanvändning av renat avloppsvatten till industri och jordbruk. Utifrån detta har varje enskild stat utformat sina egna mikrobiologiska, kemiska och estetiska riskbedömningar.

Myndigheternas uppgift är att skapa regler och kontroller som garanterar säkerheten för konsumenterna oavsett ursprung av råvattnet. Ett stort problem är att endast en bråkdel 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. En möjlighet som diskuteras 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).

Multibarriärerna innebär att det finns två, och i många fall tre eller fler, reningssteg i processen för avskiljande av föroreningar som kan vara skadliga eller estetiskt obehagliga för människor. Utgångspunkten för val av processutformning är reningskrav och möjligheten för de olika processtegen att klara dessa krav, enskilt och tillsammans med övriga processteg. För att verifiera, samt göra produktval, har det hittills varit praxis att bygga pilotanläggningar med långsiktiga försök.

Multibarriärer kan klassificeras i tre olika klasser; reningsbarriärer, strategiska barriärer och standby-system (Du Pisani, 2004);

1. Reningsbarriärer

Reningsbarriärer definieras som »kontinuerliga processer som ska reducera oönskade ämnen till en acceptabel nivå». Mikrobiologiska parametrar och organiskt material har ofta minst tre barriärer.

Exempel på reningsbarriärer;

Mikrobiologiska barriärer

Desinfektion (ozon, klor, UV-strålning)

Ultrafiltrering

Omvänd osmos (RO)

Barriärer för organiska ämnen

Oxidation (ozon, UV-strålning)

Aktivt kol

Ultrafiltrering

Omvänd osmos

2. Strategiska barriärer

Strategiska barriärer definieras som »aktiva handlingar utanför själva processen men som påverkar kvaliteten på det renade vattnet».

Exempel på strategiska barriärer;

- Industriellt avlopp renas separat
- Riktvärden och gränsvärden finns på utgående vatten från specificerade/varje reningssteg.
- Kontinuerlig mätning av inkommande och utgående vatten i de konventionella reningsstegen möjliggör åtgärder innan vattnet kommer till den avancerade reningen
- Biologiska dammar efter den konventionella reningen för naturlig avdödning av mikroorganismer
- Inblandning av det avancerat renade avloppsvattnet i råvattentäkt för naturlig avdödning av mikroorganismer
- Vid inblandning med annat vatten i råvattentäkt genomgår vattnet senare konventionell rening i vattenverk
- Hög frekvens av provtagningar samt on-linemätningar för säkerställande av processen

3. Stand-by system

Standby-system kan beskrivas som ett säkerhetssystem i händelse av att processproblem uppstår i verket eller att inkommande vatten har förhöjda mängder föroreningar vilket försvårar reningsprocessen.

Exempel på standby system;

- Möjligheten att vid för hög belastning kunna addera ytterligare ett processteg
- Extra kapacitet för olika reningssteg som kan sättas in vid tillfälliga processproblem, höga belastningar eller vid underhållsarbeten
- Vid överskridande av rikt- eller gränsvärden vid något processteg kunna stänga verket och cirkulera vattnet

Använda metoder

Det finns flera ställen i världen där återanvändning av renat avloppsvatten som dricksvattenkälla är väl utbyggt. Två av de mest kända är Windhoek, Namibia, där direkt recirkulation använts sedan 1968 samt Singapore som har indirekt recirkulation sedan 2002.

1. Windhoek, Namibia

Allmänt

Namibia (se figur 1) består till ca 80 % av ökenområden. 250 000 av landets drygt 2 miljoner innevanare bor i huvudstaden Windhoek som ligger i de centrala delarna.



Figur 1. Namibia.

De enda kontinuerligt flödande floderna finns längsmed de norra och södra gränserna, 700 och 900 km från Windhoek. I de centrala delarna av Namibia finns det enbart floder som uppstår vid kraftiga regn och varar i några dagar. Windhoeks vattenförsörjning bestod tidigare av kommunalt borrade brunnar från vilka man kan få 1,73 Mm³/år. Successivt byggdes ett antal dammar/reservoarer för att samla upp det vatten som faller några dagar per år.

1958 byggdes Goreangab dammen (3,6 Mm³) och ett ytvattenverk. Strax efter byggdes Gammams Water Care Work nedströms dammen. Då det beslutades att återanvända det renade avloppsvattnet till dricksvattenberedning avledde man industriellt avloppsvatten till en egen processlinje.

1968 byggdes en separat reningslinje till i ytvattenverket för att behandla det renade avloppsvattnet till dricksvatten och de två verken slogs ihop och blev Goreangab Water Reclamation Plant (GWRP). GWRP uppgraderades i flera omgångar fram till 1997 från 4300 m³/d till 7500 m³/d. Det avancerat renade vattnet blandades med ytvatten från andra verk och/eller grundvatten och levererades till konsumenterna. Ca 25% av det konsumerade vattnet bestod då av direkt recirkulerat avloppsvatten. Men den växande staden stod fortfarande i behov av ytterligare vatten. 2002 öppnades det nybyggda verket, New Goreangab Water Reclamation Plant (NGWRP). Maxkapaciteten för verket är 21000 m³/d, vilket utgör 35% av dricksvattenbehovet i staden.

Vid designen av det nya verket lades stor vikt vid att skapa multibarriärer. Eftersom det inte fanns några riktlinjer för kvaliteten av direkt recirkulation utgick man från dricksvattenbestämmelser och riktlinjer från WHO, Rand Water (Sydafrika), EU och Namibia (Lahnsteiner, 2007).

Multibarriärer och reningsprocess i New Goreangab Water Reclamation Plant, NGWRP

De strategiska barriärer som sattes upp för NGWRP är följande (Du Pisani, 2004, Lahnsteiner, 2007);

- Industriellt avlopp renas separat
- Rikt- och gränsvärden finns på utgående vatten från varje reningssteg. Provtagning var 4:de timme.
- Kontinuerlig mätning av inkommande och biologiskt renat vatten möjliggör åtgärder innan vattnet kommer till den avancerade reningen
- Det biologiskt renade vattnet leds till biologiska dammar för naturlig avdödning av mikroorganismer
- Kontinuerlig uppgradering av analysutrustning till eget laboratorium

Samt *stand-by system* (Du Pisani, 2004, Lahnsteiner, 2007):

- I händelse av vikande adsorptionsförmåga i GAC-steg kan tillsats av aktivt kol i pulverform göras
- Vid överskridande av rikt- eller gränsvärden vid något processsteg stängs in- och utgående vatten och vattnet cirkuleras i verket tills tillfredställande nivåer nås igen.

Vid val av process hade Windhoek 30 år erfarenhet av direkt recirkulation men man satte även upp en pilotanläggning med ozon och ultrafilter för att studera avskiljning av mikroorganismer och organiska ämnen, se tabell 1. Anläggningen drevs i 30 månader och beslut kunde tas på faktiska resultat (Du Pisani, 2004).

Reningsprocessen i New Goreangab Water Reclamation Plant i Windhoek, se figur 2, består av följande steg (Du Pisani, 2004, Lahnsteiner, 2007):

- Stand by: aktivt kol i pulverform, syra, polymerer
- Ozon
- Fällning och flockning *
- Flotation *
- Sand/antracit filter *
- Ozon
- Biologiskt aktivt kol (BAC)
- Granulärt aktivt kol (GAC) *
- Ultrafiltering
- Klorering *

* Processutformning vid Old Goreangab Water Reclamation Plant (OGWRP)

Tabell 1. Resultat från pilotanläggningen vid Old Goreangab Water Reclamation Plant mellan åren 1997–2000 (Lahnsteiner, 2003).

Parameters	Units	Raw Water (design values)	Treated water (guarantee value)	WHO Guidelines	EU Directive	Results ¹⁾
Physical & Chemical						
Turbidity	NTU	53	0,1	0,1 ²⁾	³⁾	0,08
DOC	mg/l	15	5			1,00
COD (dichromate)	mg/l	43	20			12,6
THM	µg/l	169	20	⁴⁾	100	11 ⁵⁾
Microbiological						
Giardia	per 100 ml	214	0 or log 6 removal			0
Cryptosporidium	per 100 ml	334	0 or log 6 removal			0
E. Coli	per 100 ml	20,347	0		0	0
Heterotrophic Plate Count (37°C)	per 1 ml	332,150	80			8
Elements						
Iron	mg/l	2,8	0,05		0,2	<0,05
Manganese	mg/l	0,9	0,005	0,4	0,05	<0,005

1) Median at Performance Test

2) Recommendation for Effective Disinfection

3) No Abnormal Change

4) Guidelines Values: Chloroform 0,2 mg/l, Bromoform 0,1 mg/l, Dibromochloromethane 0,1 mg/l, Bromodichloromethane 0,06 mg/l

5) Currently 4–6 mg/l have been accomplished

Reningsbarriärer i NGWRP består av

1. De *mikrobiologiska* reningsbarriärerna

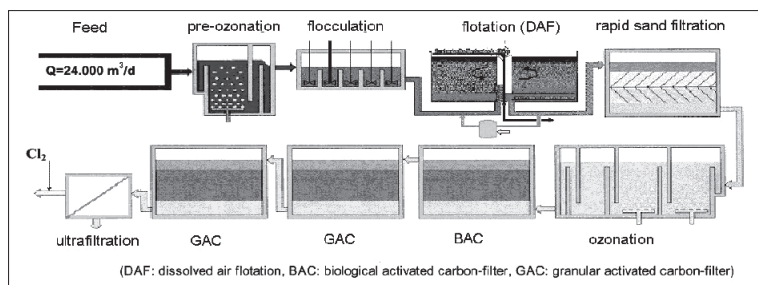
- Ozon
- Fällning, flockning och avskiljning med flotation
- Sand/antracit filter
- Ozon
- Ultrafiltrering
- Klorering

För-ozon, flockning, flotation och tvåmediafilter syftar främst i den mikrobiologiska barriären till att avskilja större organismer (protozoer och parasiter) samt organismer som fastnat på partiklar. Dessa barriärer betrak-

tas endast som partiella. Huvudprocesserna för avskiljning av mikroorganismer är ozon och ultrafiltreringen. Trots att det finns virus som är mindre än porstorleken på ultrafiltren (nominell 0,025–0,028 µm, *Norit 2003*) har kraven på utgående vatten hållits (tabell 2). Innan vattnet skickas ut för distribution kloreras det som sista barriär (Du Pisani, 2004, Lahnsteiner, 2007).

2. Reningsbarriärer för *organiskt material*

- Fällning, flockning och avskiljning med flotation
- Ozon
- BAC
- GAC
- Ultrafiltrering



Figur 2. Process vid New Goreangab Water Reclamation Plant (NGWRP) i Windhoek.

Tabell 2. Mikrobiologiska krav på utgående vatten från New Goreangab Water Reclamation Plant (NGWRP) (Du Pisani, 2006).

	Units	Target values (riktvärden)	Absolute values (gränsvärden)
Microbiological indicators:			
Heterotrophic plate count	Per 1 ml	80	100
Total coliforms	Per 100 ml	N/A	0
Faecal coliforms	Per 100 ml	N/A	0
<i>E. Coli</i>	Per 100 ml	N/A	0
Coliphage	Per 100 ml	N/A	0
Enteric viruses	Per 10 l	N/A	Greater of 0 per 10 l or a 4 log removal
Faecal streptococci	Per 100 ml	N/A	0
<i>Clostridium</i> spores	Per 100 ml	N/A	0
<i>Clostridium</i> viable cells	Per 100 ml	N/A	0
Disinfection by-products:			
Total trihalomethanes	µg/l	20	40
Biological indicators:			
Chlorophyll <i>a</i>	µg/l	N/A	1
<i>Giardia</i>	Per 100 l	Greater of 0 per 100 l or a 6 log removal	Greater of 0 per 100 l or a 5 log removal
<i>Cryptosporidium</i>	Per 100 l	Greater of 0 per 100 l or a 6 log removal	Greater of 0 per 100 l or a 5 log removal

2. Singapore

Allmänt

Singapore är ett örike med en yta av 700 km² och befolkningmängd på ca 4,3 miljoner. Singapore fick i början av 1990-talet hälften av sitt vatten från lokala avrinningsområden och resten importerades från Malaysia. Med den beräknade befolkningsökningen samt att importen av vatten kommer att minska från och med 2011 enligt avtal från 1961 tvingades man att hitta alternativa vattenkällor.

1998 startade ett samarbete mellan Public Utilities Board (PUB), miljöministeriet och National University of Singapore med målet att undersöka möjligheten att återföra renat avloppsvatten till vattenreservoarerna för senare dricksvattenproduktion, Singapore Water Reclamation Study (NEWater Study). Även i Singapore har man utgått från multibarriärresonemanget men här har man valt att använda enbart den senaste tekniken, mikrofiltrering, omvänd osmos och UV-strålning.

Multibarriärer och reningsprocess i NEWater anläggningarna

De strategiska barriärer (se figur 3) som sattes upp i Singapore (Singapore Water Reclamation Study, 2002, PUB, 2006);

- On-linemätningar efter varje reningssteg och provtagningar 3ggr/d för att kontrollera on-lineinstrumenten (Lim, 2005)
- Automatiskt varningssystem i händelse av onormala processvärden
- Inblandning av NEWater vatten och ytvatten i råvattentäkt varvid naturlig avdödning av mikroorganismer kan ske
- Råvattnet behandlas i konventionellt vattenverk

Och stand-by system;

- Extra membrankapacitet finns
- Automatisk stängning av inkommande och utgående vatten i händelse av extremt förhöjda processvärden

En pilotanläggning byggdes för att studera möjligheten av indirekt recirkulation och pågick i två år. Under försöken analyserades 190 parametrar varav de mikrobiologiska analyserna redovisas i tabell 3.

NEWater anläggningarna är i dag fyra till antal och producerar drygt 200 000 m³/d. Det avancerat renade avloppsvattnet går främst till industrin men 1 % leds till vattenreservoarer som dricksvattenkälla. Denna andel väntas öka till 2,5 % år 2011 (Khoo Teng Chye, 2006).

Reningsprocessen i Singapores NEWater anläggningar består av följande steg (Lim, 2005);

Tabell 3. Mikrobiologiska analyser i NEWaters pilotanläggning mellan 2000–2002 (Singapore Water Reclamation Study, 2002. Table 3.8 – Summary of NEWater microbiological results).

Parameter	Units	Mean	Min.	Max.	No. Samples	No. Detectable	No. Not Detectable
Faecal Coliforms	CFU/100mL	NC	ND	ND	99	0	99
Total Coliforms	CFU/100mL	NC	ND	ND	99	0	99
HPC	CFU/mL	5,2	1,1	80	97	80	17
Coliphage-Somatic*	PFU/100mL	NC	ND	ND	87	0	87
Coliphage-Male Specific*	PFU/100mL	NC	ND	ND	87	0	87
Enterococcus*	CFU/100mL	NC	ND	2,00E-01	99	1	98
<i>Clostridium perfringens</i> *	CFU/100mL	NC	ND	ND	91	0	91
<i>Giardia</i>	cysts/100L	NC	ND	ND	16	0	16
<i>Cryptosporidium</i>	oocysts/100 L	NC	ND	ND	17	0	17
<i>Enterovirus</i>	Present/Absent	Absent	–	–	21	0	21

* These parameters are additional to those listed in the USEPA and WHO standards/guidelines.

Note:

1. ND = Not Detectable. NC = Not Calculated
2. Arithmetic means are shown

- Mikrosil (0,3 mm)
- Klorering
- Mikrofilter (nominell porstorlek 0,2 µm)
- Klorering
- Omvänd osmos
- UV-strålning

Reningsbarriärer i NEWaterprocessen består av

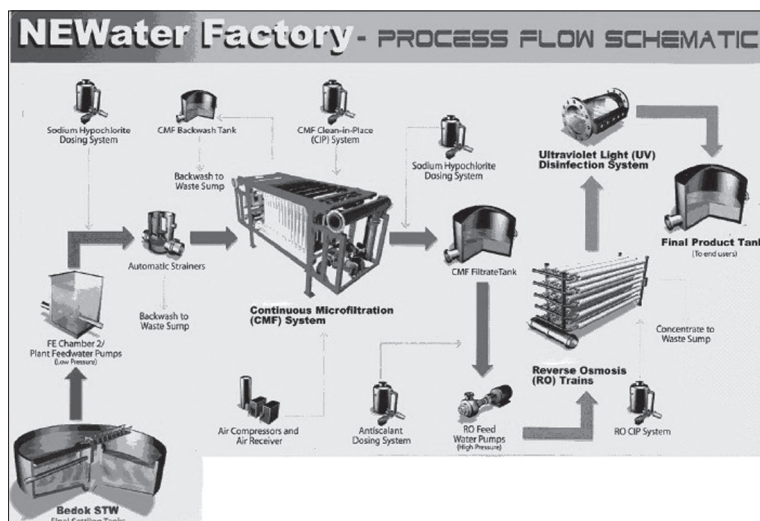
1. De mikrobiologiska reningsbarriärerna

- Kloreringssteg före och efter mikrofilter
- Mikrofilter
- Omvänd osmos
- UV-strålning

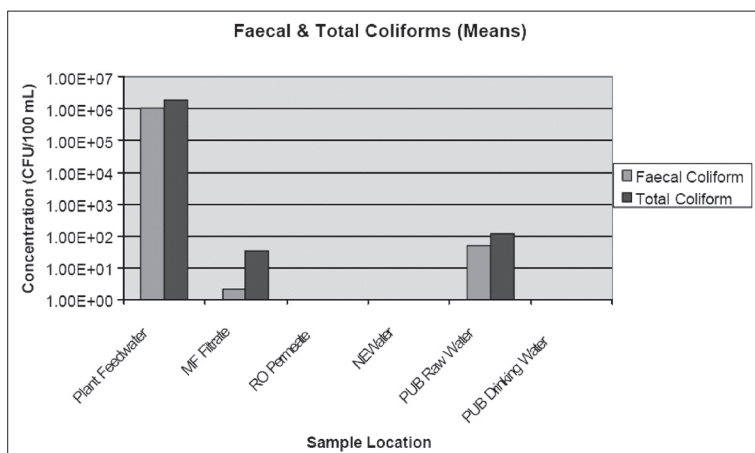
Klorering både före och efter mikrofiltret syftar till att dels avdöda mikroorganismer men även för att skydda membranerna mot fouling. Protozoer, bakterier och större virus avlägsnas i mikrofiltret och mindre virus i omvänd osmosanläggning. I teorin har nu alla organismer avlägsnats. Som sista reningsbarriär har NEWater anläggningarna UV-bestrålning för att avdöda virus som mot förmodan kan ha lyckats ta sig igenom processen.

2. Reningsbarriärer för organiskt material

- Mikrofilter
- RO
- Oxidation med UV-strålning



Figur 3. Processchema för NEWater anläggningarna i Singapore (Lim, 2005).



Figur 4. Fekala och totala antalet koliforma bakterier efter varje reningssteg i NEWaters pilotanläggning mellan åren 2000–2002. (Singapore Water Reclamation Study, 2002.)

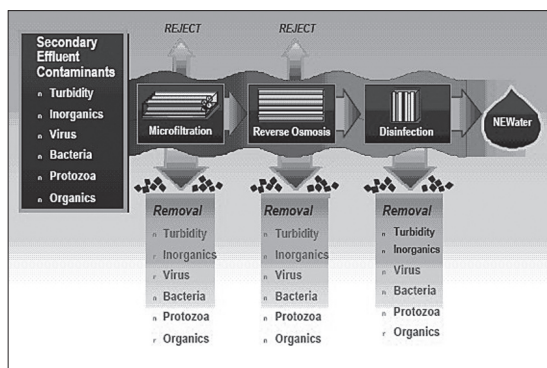
Diskussion

Då råvatten tas från en ytvattentäkt nedströms andra samhällen uppkommer oplanerad indirekt recirkulation. I dagsläget när fler och fler föroreningar släpps ut i våra vattendrag är multibarriärer kanske inte enbart en förutsättning för planerad recirkulation utan även av miljöhänsyn samt på grund av oplanerade recirkulation.

I Sverige har vi generellt ett mycket bra dricksvatten, 2005 förekom inga vattenburna sjukdomsutbrott och 2006 rapporterades två små vattenburna utbrott (*Livsmedelsverket, 2007*). Under åren 1980–2004 rapporterades 142 vattenburna utbrott med totalt 63000 sjukdomsfall i Sverige. I merparten av fallen har man inte kunna identifiera den sjukdomsalstrande mikroorganismen men den främst förekommande har varit *Campylobacter*. Oftast beror utbrotten inte på dålig avskiljning

av mikroorganismer i vattenverket utan på att avloppsvatten eller förorenat ytvatten har kommit in i dricksvattensystemet (*SMI, 2006*). Det största vattenburna utbrottet i Sverige inträffade 1988 då 11000 personer insjuknade efter en processstörning i ett vattenverk. Vattenverket hade då snabbfiltrering med efterföljande klorering. Vid övergången till datorstyrd drift slutade kloreringen fungera under en kortare period vilket orsakade sjukdomsutbrottet (*SMI, 2007*).

Planerad indirekt recirkulation av renat avloppsvatten används idag även i länder som USA och Belgien. Vid planerad recirkulation förutsätter man förekomst av patogena mikroorganismer varefter val av reningsmetoder och antal barriärer väljs för att garantera en viss kvalitet. Övervakningen av processen och vattenkvalitet är rigorös. I Windhoek har det inte förekommit något utbrott av vattenburen sjukdom eller hälsoeffekter som kan kopplas till 38 år av direkt recirkulation. Från det att OGWRP togs i drift 1968 har det gjorts kontinuerliga hälsokontroller och epidemiologiska undersökningar (*Van Leeuwen, 1996, Labnsteiner, et al., 2007*).



Figur 5. Avskiljning av föroreningar vid de olika reningsstegen i NEWater anläggningarna, Singapore. (Singapore Water Reclamation Study, 2002.)

Slutsatser

Singapore och Windhoek har i fullskala visat att det är tekniskt möjligt att producera dricksvatten av god kvalitet av avancerat renat avloppsvatten. Vitalt för fortsatta framgångar är:

- väl genomtänkta processutformningar bestående av många barriärer mot potentiellt hälsofarliga ämnen
- mycket höga kvalitetskrav och hög kontrollfrekvens
- ett stort engagemang från ansvariga myndigheter att hålla på de höga kraven
- en öppen dialog med allmänheten.

Uppskattningsvis lever idag 1/3 av världen befolkning i länder med vattenbrist. Denna siffra beräknas stiga till 2/3 år 2025 (*UN-Water, 2006*). Med tanke på detta och den tekniska utvecklingen kan vi förvänta oss att se fler och fler recirkulationsanläggningar.

Referenser

- Du Pisani, Petrus L – Surviving in an arid land: Direct reclamation of potable water at Windhoek's Goreangab Reclamation Plant, Arid Lands Newsletter No 56, November–December 2004
- Du Pisani, Petrus L – Direct reclamation of potable water at Windhoek's Goreangab Reclamation Plant, Desalination 188 (2006) 79–88
- J. Lahnsteiner, G. Lemepert – Water Management in Windhoek, Namibia, VA TECH WABAG GmbH, 2003
- J. Lahnsteiner, G. Lemepert – Water Management in Windhoek, Namibia, Water Science & Technology Vol 55 No 1–2 441–44, 2007
- Khoo Teng Chye speech by, Chief executive, Public Utility board Singapore, at the closing plenary session on 25 Aug 2006, World Water Week, Stockholm
- Lim Chiow Giap, Closing the Water Loop, International Desalination Association World Congress, Singapore September 11–16 2005
- Livsmedelsverket, Rapportering av dricksvattenkontrollen 2006, Rapport 17-2007
- Livsmedelsverket, Normerande inspektioner på vattenverk år 2004–2006, 2007
- Singapore Water Reclamation Study, Expert panel review and finding, June 2002
- SMI, Smittskyddsinstitutet, www.smittskyddsinstitutet.se/publikationer/smis-nyhetsbrev/epi-aktuellt/epi-aktuellt-2007/epi-aktuellt-vol-6-nr-22-31-maj-2007
- SMI, Smittskyddsinstitutet, www.smittskyddsinstitutet.se/sjukdomar/vattenburen-smitta, 2006
- Norit Membrane Technology B.V. New Goreangab Water Reclamation Plant, Windhoek, Namibia 2003
- Ong Hian Hai, Luc De Ryck, Water Reuse and Ulu Panda NEWater Project, International Desalination Association World Congress, Singapore September 11–16 2005
- S.L. Ong, L.Y. Lee, J.Y. Hu, L.F. Song, H.Y. Ng, A Holistic Approach Toward Overcoming Limited Water Resources Constraint, International Desalination Association World Congress, Singapore September 11–16 2005
- PUB, www.pub.gov.sg/NEWater 2006-02-06
- UN-Water, Coping with water scarcity, A strategic issue and priority for system-wide action, August 2006
- Van Leeuwen, J. – Reclaimed water – an untapped resource, Desalination 106 (1996) 233–240
- Water Environment Federation & American Water Works Association, Using Reclaimed Water to Augment Potable Water Resources, 1998