

Technical University of Denmark



## **Integreret håndtering af vand og spildevand i København: Projekt A4** Integreret vandhåndtering i Singapore - Technical tour til Sydøstasiens "Waterhub"

**Rygaard, Martin; Albrechtsen, Hans-Jørgen; Binning, Philip John**

*Publication date:*  
2008

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Rygaard, M., Albrechtsen, H-J., & Binning, P. J. (2008). Integreret håndtering af vand og spildevand i København: Projekt A4: Integreret vandhåndtering i Singapore - Technical tour til Sydøstasiens "Waterhub". Kgs. Lyngby: Institut for Vand og Miljøteknologi, Danmarks Tekniske Universitet.

### **DTU Library**

Technical Information Center of Denmark

---

#### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

**Integreret håndtering af vand og spildevand i København**  
**Projekt A4**  
**April 2008**



Marina Reservoir, Singapore

**Integreret vandhåndtering i Singapore**  
**– Technical tour til Sydøstasiens "Waterhub"**

**Martin Rygaard**  
**Hans-Jørgen Albrechtsen**  
**Philip John Binning**

## Indhold

<b>1</b>	<b>BAGGRUND FOR STUDIETUREN .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>KORTE FACTS OM SINGAPORE.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>BESØGTE FACILITETER OG INSTITUTIONER.....</b>	<b>3</b>
3.1	PUBLIC UTILITIES BOARD OF SINGAPORE .....	3
3.2	NEWATER VISITOR CENTRE .....	5
3.3	MARINA BARRAGE (REGNVANDSRESERVOIR) .....	5
3.4	CHESTNUT WATER WORKS (KONVENTIONEL VANDFORSYNING) .....	7
3.5	NEWATER .....	8
3.6	DEEP TUNNEL SEWERAGE SYSTEM OG WATER RECLAMATION PLANTS .....	9
3.7	SINGSPRING AFSALTNINGSANLÆG (TUAS).....	11
<b>4</b>	<b>SAMARBEJDET MED INDUSTRIEN (WATERHUB, INDUSTRY NITE).....</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>DELEGATIONENS INDTRYK AF SINGAPORES VANDAKTIVITETER .....</b>	<b>12</b>
5.1	SPØRGSMÅL SOM ER AFDÆKKET AF STUDIETUREN .....	14
<b>6</b>	<b>REFERENCER.....</b>	<b>16</b>
<b>BILAG 1</b>	<b>PROGRAM FOR STUDIETUREN .....</b>	<b>17</b>
<b>BILAG 2</b>	<b>DELTAGERE FRA DANMARK.....</b>	<b>19</b>
<b>BILAG 3</b>	<b>LOKALE REPRÆSENTANTER.....</b>	<b>20</b>
<b>BILAG 4</b>	<b>VANDKVALITETSPARAMETRE.....</b>	<b>21</b>
<b>BILAG 5</b>	<b>BESKRIVELSE AF SINGAPORE (RYGAARD ET AL, 2007).....</b>	<b>22</b>
<b>BILAG 6</b>	<b>OVERSIGT OVER MATERIALE TILGÆNGELIGT PÅ PROJEKTHJEMMESIDEN .....</b>	<b>25</b>

## 1 Baggrund for studieturen

I samarbejde med DTU Miljø arbejder Københavns Energi på at opretholde et teknologisk beredskab for fremtidens vandhåndtering i København. Dette samarbejde er beskrevet i 3 tidligere udgivne rapporter A1-A3. Under arbejdet med rapporten A3 "Alternativ vandhåndtering og selvforsyning", Rygaard et al., (2007), fremstod Singapore som et unikt eksempel på en storbys integrerede håndtering af drikkevandsforsyning, spildevandshåndtering og bymiljø. Rapporten beskriver, hvordan Singapores vandindustri og forskning i vandteknologier har fået en central rolle på verdensplan, både som udvikler og aftager af avancerede vandteknologier. Singapores begrænsede udstrækning (øen er en smule større end Bornholm) og det store udbud af vandteknologier, giver en enestående mulighed for at kunne besøge fuldskalaanlæg indenfor en begrænset tidsramme. Et besøg giver også mulighed for diskussion med folkene bag teknologierne, og giver et førstehåndsindtryk af de reelle perspektiver for dansk vandforsyning i de teknologier, der anvendes i Singapore. Den tidligere beskrivelse af Singapores vandsystemer er medtaget i Bilag 5.

DTU Miljø har kunnet åbne døre for besøget via tætte relationer med en række nøglepersoner bag Singapores vandforvaltning. Således var studieturen en direkte konsekvens af KE's fortsatte ønske om at være forkant med den teknologiske udvikling og en invitation fra Public Utilities Board of Singapore's øverste leder Chief Executive Khoo Teng Chye.

Turen forløb i perioden 31. marts – 2. april 2008 og programmet omfattede besøg hos Public Utilities Board, Nanyang Technological University og Hyflux Corporation. Programmet findes i bilag 1.

## 2 Korte facts om Singapore

Singapore er 683 km<sup>2</sup> og huser 4.6 mio. indbyggere. Befolkningstætheden for landet er 6800 p/km<sup>2</sup>, ca. 10 % større end befolkningstætheden i København og Frederiksberg kommuner. Befolkningen er generelt veluddannet og der er tale om en velhavende ø-stat. Bruttonationalproduktet per indbygger er ca. 30 % højere end i Danmark (2007). Landet baserer sin økonomi på industri (33,7 %) og serviceydelser (66,3 %), hvilket er lig situationen i Danmark (CIA World Fact Book, 2008).

## 3 Besøgte faciliteter og institutioner

I det følgende præsenteres de besøgte faciliteter og organisationer. De nøglepersoner, der var værter ved besøgene er beskrevet i Bilag 3.

### 3.1 Public Utilities Board of Singapore

Public Utilities Board of Singapore (PUB) er en enhed under Ministry of the Environment and Resources. Til forskel fra situationen i Danmark, har Singapore samlet ansvaret for hele vandkredsløbet i én institution. PUBs 3300 medarbejdere er således ansvarlig for håndteringen af vandressourcer, afløb, spildevand og drikkevandsforsyning, med det erklærede mål at "...sikre en effektiv, tilstrækkelig og bæredygtig vandforsyning." (forfatternes oversættelse, Seah, 2008). Målet skal sikres gennem en integreret vandhåndtering, der baserer sig på en firstrengnet forsyningsstrategi og oparbejdelsen af en folkelig deltagelse i at spare på vand,

værdsætte vand og fornøjes ved vand, deraf sloganet: ”*Water for all: Conserve, Value, Enjoy*” (se også Figur 3.1).

De fire strenge i vandforsyningen er

- 1) Opsamling af regnvand (se Marina Barrage/Chestnut Waterworks).
- 2) Importeret vand fra Malaysia (Singapore har et vandværk liggende i Malaysia frem til 2061).
- 3) Recirkuleret spildevand (se NEWater og Deep Tunnel Sewage System).
- 4) Afsaltning af havvand (se SingSpring).

Singapores grundvand egner sig ikke til drikkevandsforsyningen, blandt andet fordi det er salt.

Sloganets ”*conserve*” følges op internt i PUB af et program til reducere af lækagespild. I 2007 var de nede på 4.4 % i Singapores vandforsyning. Udadtil arbejder PUB på at reducere vandforbruget gennem en prispolitik, der straffer højt vandforbrug i husholdningerne og som sikrer dækning af PUB’s omkostninger til drift af vand- og spildevandsforsyningen (Tabel 3.1).

”*Value, enjoy*” dækker indsatsen for at få folk til at tage ejerskab for vandet. Det er en strategi fra PUB at fortælle både medarbejdere og borgere at det ikke er PUBs vand, men *vores* vand, og derigennem få folk til at passe på vandet og tage ansvar for at holde det rent og reducere forbruget. For at få folk til at værdsætte vand gøres der en særlig indsats for at indbyde til aktiviteter omkring vand. Et stort projekt går ud på at omdanne afløbskanaler og vandreservoirer til grønne oaser i byen, der indbyder til folkelige aktiviteter (Figur 3.2).

De ”bløde” aktiviteter betales af særlige statsbevillinger og er således ikke en del af vandafgiften. PUBs integrerede vandforvaltning understøttes yderligere af en



**Figur 3.2.** Et ”*Active, Beautiful and Clean waters programme*” skal sikre offentligt ejerskab inddrage befolkningen i vandforvaltningen, (Seah, 2008).



**Figur 3.1.** Integreret vandhåndtering i Singapore (Seah, 2008).

**Tabel 3.1.** Vandafgifter i Singapore 2007 (Seah, 2008).

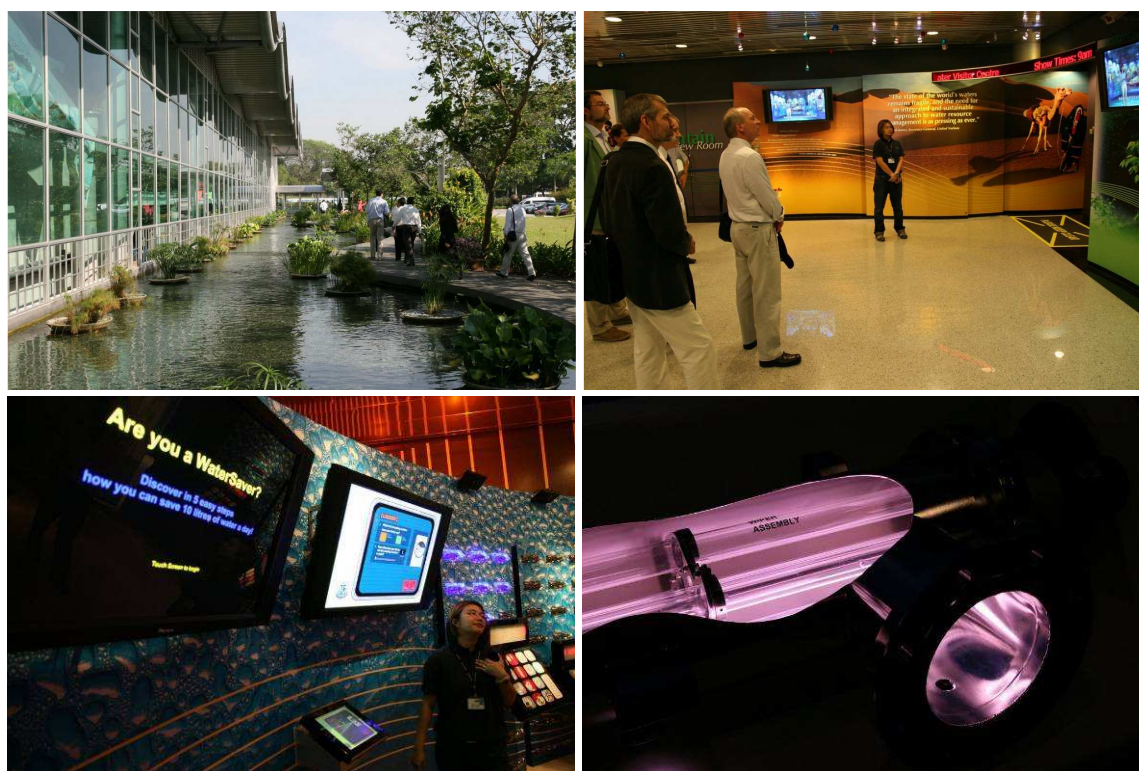
Afgifts-kategori	Husholdning	Øvrige
Forbrug (m <sup>3</sup> /måned)	1-40	>40
Vandpris (PUB, DKK/m <sup>3</sup> )	4,2	5,0
Vandafgift (Stat, %)	30	45
Total vandpris (DKK/m <sup>3</sup> )	5,5	7,3
Spildevandsafgift (DKK/m <sup>3</sup> )	1,1	1,1

bevilling på 250 mio. kr. i forsknings- og udviklingsmidler (Seah, 2008).

Der er således tale om et meget imponerende program for vandforvaltningen, der næsten dækker alle vandteknologier og mange bløde/socialle aspekter af vandets kredsløb. Programmet bakkes massivt op fra politisk side, både med nødvendige bemyndigelser til PUB, men også med store økonomiske investeringer.

### 3.2 NEWater Visitor Centre

Der er oprettet et særligt besøgscenter med henblik på at undervise og underholde folk omkring vandbesparelser og vandets kredsløb. Der er et særligt fokus på at forklare nødvendigheden og sikkerheden af det recirkulerede spildevand "NEWater". Det er målet at samtlige Singaporeanske børn besøger centret eller på anden måde er involveret i PUBs kampagneaktiviteter minimum én gang i løbet af 12 års skolegang. Centret er meget flot og bygget i sammenhæng med et fuldskala NEWater anlæg (Bedok, 27.000 m<sup>3</sup>/d). Efter en generel introduktion til vandforbrug og integreret vandforvaltning præsenteres de besøgende for processerne i NEWater produktionen. Farvestrålende animationer og gennemskårede membranmodeller forklarer ultrafiltrering, omvendt osmose og desinfektion. Der gøres meget ud af præsentere teknikkerne som avancerede state-of-the-art-løsninger (Figur 3.3).



Figur 3.3. NEWater Visitor Centre er omkranset af løbende vand og grønne bede (ø.tv.). Indenfor mødes man af farvestrålende videopræsentationer (ø.th.), interaktive præsentationer (n.tv.) og modeller af vandbehandlingsteknikker (UV-desinfektion, n.th.).

### 3.3 Marina Barrage (regnvandsreservoir)

Den første nationale vandhane er lokale regnvandsressourcer opsamlet i reservoirer, der opsamler regnvand fra halvdelen af Singapores areal. Inden 2011 forventes oplandet at være udvidet til 2/3 af øens areal (Seah, 2011). Det er forbudt at opsamle regnvand lokalt, da al nedbør, inklusiv afløb fra befæstede arealer og veje, fortrinsvis ledes til reservoirerne. Et kommende bygningsreglement vil muligvis ændre på dette

forbud (Ng, 2008). I forhold til opsamlingen af regnvand til drikkevandsbrug anses utætte kloaker som det største forureningsproblem. Marina Barrage er det 15. og nyeste reservoir i PUBs vandforsyning og betjener et opland på ca. 10.000 ha (Check, 2008). Ved hjælp af en barriere i en tidligere flodudmunding skal reservoirets 240 ha med tiden fungere som vandforsyning, afløbsreservoir og som et rekreativt element i byens centrum (Figur 3.4). Det sidste betegnes af PUB som et paradigmeskifte, da vandreservoirer traditionelt set er beskyttede anlæg, hvor der ønskes minimum belastning fra menneskelige aktiviteter (Chye, 2008b). PUB er således opmærksom på, at man andre steder i verden gør alt for at hindre aktivitet i og i nærheden af drikkevandsreservoirs, men vurderer, at for at få befolkningen til at 'bonde' til vandet for dermed at beskytte det, så er det vigtigt, at det er synligt, at det er et aktiv.

Barrieren er nu installeret og havvandet forventes skyllet ud indenfor et par år. Gennemsnitsdybden i reservoiret er 5 m. En mindre pumpestation ( $5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) skal pumpe vand til et opstrøms reservoir (Upper Pierce) ved Chestnut Water Works og samtidigt sikre en minimumsvandføring i en række afløbskanaler efterhånden som de omlægges til også at have rekreative formål (Figur 3.2). Et hurtigt overslag giver en gennemsnitlig opholdstid mindre end en måned.<sup>1</sup> Der gøres meget for at hindre stillestående vand, der bl.a. kan føre til myggeplage. Denne sammenkobling er også et led i Singapores forsøg på at optimere brugen af de femten reservoirer. På trods af øens beskedne størrelse falder regnen nemlig med stor variation over øen (Ng, 2008). Den store nedbørsmængde, kombineret med et fugtigt klima, gør at fordampning fra reservoirerne er af mindre betydning, mens evapotranspiration har væsentlig betydning (Ng, 2008).

### 3-in-1 Marina Barrage

Water supply Flood Control Lifestyle attraction



Figur 3.4. Marina Barrage (Seah, 2008).

<sup>1</sup> Forudsætning for opholdstiden: 240 ha, gennemsnitsdybde 5 m, udpumpning  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ikke taget højde for fordampning.

Reservoiret i Marina Barrage skal også fungere som afløbsbuffer ved ekstrem nedbør. En pumpestation med en kapacitet på  $280 \text{ m}^3/\text{s}$  er installeret til udpumpning til havet i tilfælde af sammenfaldende kraftig regn og højvande. Pumperne forventes i brug 2-3 gange per år. Designkriteriet er en 100 års regnhændelse uden oversvømmelse af de indre bydele. En bådehavn er flyttet ud af reservoiret for at reducere trafik og forurening af reservoiret. PUB nævner selv at de tilbageværende udfordringer er at opnå badevandskvalitet i reservoiret samt at kontrollere algevæksten (Chye, 2008b). PUB oplyser, at der er fjernet 1 m bundsediment fra havneområdet formentlig blandt andet for dermed at fjerne fx tungmetaller og PAH'er, og forventer at skulle oprense igen om 10 år. Sedimentet er dumpet i havet, da det ikke var særligt forurenede. Der er allerede taget tiltag til at vandtaxierne skal udskifte dieselmotorer til elektriske, og lignende tiltag vil nok følge – således vil der nok også blive stillet krav til bådmaling. PUB har hidtil ikke set problemer med algeopblomstring eller giftige alger i nogen af deres reservoirs, men Ng vurderer, at der er grund til at bekymre sig om reservoirets vandkvalitet og især algeopblomstring, da der ud over eventuel ophobning af næringsstoffer muligvis vil foregå udsivning af spildevand fra dele af den indre bys (Little India, Chinatown) gamle kloakledninger (Ng, 2008).

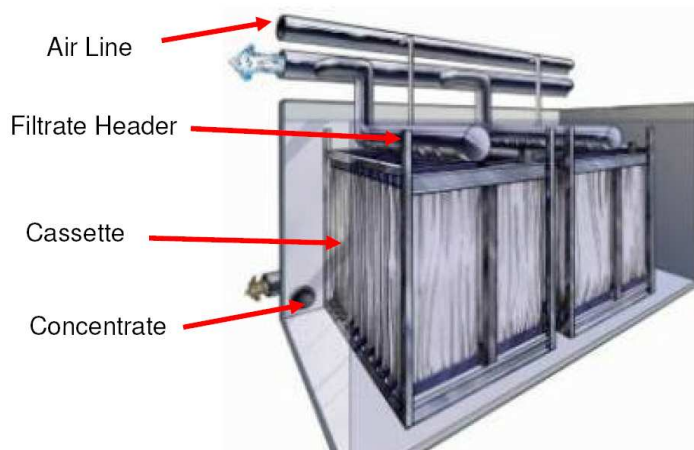
### 3.4 Chestnut Water Works (Konventionel vandforsyning)

Chestnut Water Works består af 2 parallelle anlæg. Det første er baseret på hurtig sandfiltrering, mens det andet og nyere anlæg benytter ultrafiltrering. Hvert anlæg har en kapacitet på ca.  $225.000 \text{ m}^3/\text{d}$ . Det forventes, at det traditionelle behandlingsanlæg (hurtig sandfiltrering) skal forbehandle vandet fra Marina Barrage (se ovenfor) inden det skal føres til reservoiret (Upper Pierce).

Til drikkevandsforsyningen benyttes for tiden kun ultrafiltreringsanlægget, der har et energiforbrug på  $0.4 \text{ kWh}/\text{m}^3$  (Figur 3.5). Værket trækker vand fra det nærliggende Upper Pierce Reservoir og modtager vandet, der importeres fra Malaysia.

Vandimporten stopper i 2011 - ca 5 % returneres til Malaysia og skyllevand (rejectvand ca. 5%) returneres til reservoiret. Trykket på membranerne er 0.35 bar, og lækage på membranerne anses ikke for at være et stort problem. Eventuelle brud på membranen detekteres hurtigt via overvågning af trykfaldet over membranen (et trykfald på  $<0.04$  kan detekteres, holding time  $> 10$  minutter). Fejlfrekvensen er ca. en cassette pr uge. Der tilsættes fluorid (0,5-0,7 mg/l), pH stabiliseres ved tilsætning af kalk (lime) og der tilsættes klor (4.5 mg/L,  $\text{NaClO}$ ) som oxidationsmiddel. Efter færdigbehandling af vandet er chlorindholdet 2-2,4 mg/L og der tilsættes ammoniak i forholdet Cl:  $\text{NH}_4$  i 1:4 for at sikre en bedre residualeffekt (pga. kloraminer). Klorindholdet måles manuelt hver dag. Udvalgte vandkvalitetsparametre er offentliggjort på PUB's hjemmeside (Bilag 4).

Vandet distribueres i et ledningsnet af cementforstærket stål og PE, mens husholdningsinstallationerne primært består af rustfrit stål eller PVC og i sjældnere tilfælde, kobber, men her bliver vandet grønt/blåt ved henstand (Guan, 2008).



Figur 3.5. Ultrafiltreringskassetter. (Guan 2008)



### 3.5 NEWater



Figur 3.6. Skærbillede fra præsentationen af NEWater rensningsprocesserne på NEWater Visitor Centre.

Singapore er ved at færdiggøre sit 5. anlæg til produktion af NEWater fra spildevand. NEWater-anlæggene modtager behandlet spildevand og renser vandet yderligere inden brug i vandforsyningen (Figur 3.6). Anlæggene har kapaciteter fra 22.000 til 54.000 m<sup>3</sup>/d, men udvidelser er på vej (Figur 3.8). Recirkuleret spildevand i form af NEWater udgør pt. 16 % af det samlede vandforbrug i Singapore, men forestående udvidelser af kapaciteten vil få andelen op på 30 % i 2010. Vandet leveres primært til industrien og det har vist sig nemmere at afsætte vandet end først antaget. Dette skyldes ikke mindst vandets høje kvalitet i forhold til industrielle processer, der kræver demineraliseret vand, men også udbredt distribution af NEWater i øens industriområder (Figur 3.8). Oprindeligt foretrak PUB at distribuere NEWater i PE rør, men stigende priser på PE rør har medført et skift til betonrør (Figur 3.7).

Der er endnu kun tale om en begrænset anvendelse af NEWater i den almindelige drikkevandsforsyning (ca. 1 %), og kun efter opblanding i de eksisterende regnvandsreservoirer. Opblandingen skyldes blandt andet hensynet til den folkelige accept og den ekstra barriere mod forureninger som en opblanding 10-100 gange vil udgøre i tilfælde af svigt i NEWater rensprocesserne.

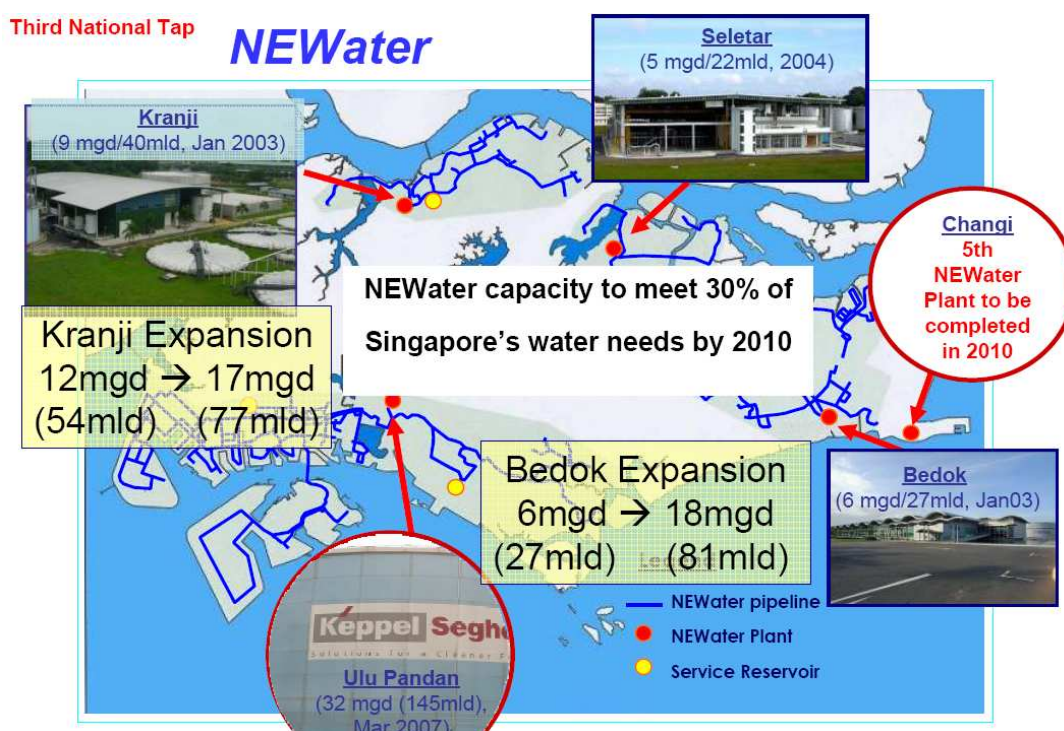
NEWater anlæggene er placeret i sammenhæng med spildevandsanlæg (Water Reclamation Plant), som det ses i tilfældet med det 5. anlæg, der bygges sammen med Changi Water Reclamation Plant. NEWater-anlæggene bygges under D.B.O.O. (Design Build Own Operate) kontrakter efter udlicitering fra PUB. Denne



Figur 3.7. Distribution af NEWater i betonrør. Her i forbindelse med afløbskanal.

udlicitering vurderer PUB som meget fordelagtig, da produktionsomkostningerne har vist sig væsentligt lavere, end hvad PUB selv vurderede muligt, og priserne er stadigt faldende (Seah, 2008).

NEWater er fordelagtigt i forhold til afsaltning, primært på grund af væsentligt lavere produktionsomkostninger, men dog har det været anset som essentielt at lanceringen af NEWater skete efter omfattende oplysningskampagner til befolkningen (Ng, 2008). Energiforbruget er omtrent 25 % af hvad, der kræves ved afsaltning af havvand (Tabel 5.1). Prof. Ng gør opmærksom på, at det er vanskeligt at sammenligne omkostningerne på grund af den kraftige udvikling i priserne de senere år. Produktionsomkostningerne på nye anlæg er som hovedregel billigere end tidligere anlæg. Omkostningerne for det første NEWater anlæg var ca. 6,5 kr./m<sup>3</sup> inklusiv investering og drift. Det oplyses, at en bog om NEWater-erfaringerne er på vej (Ng, 2008).



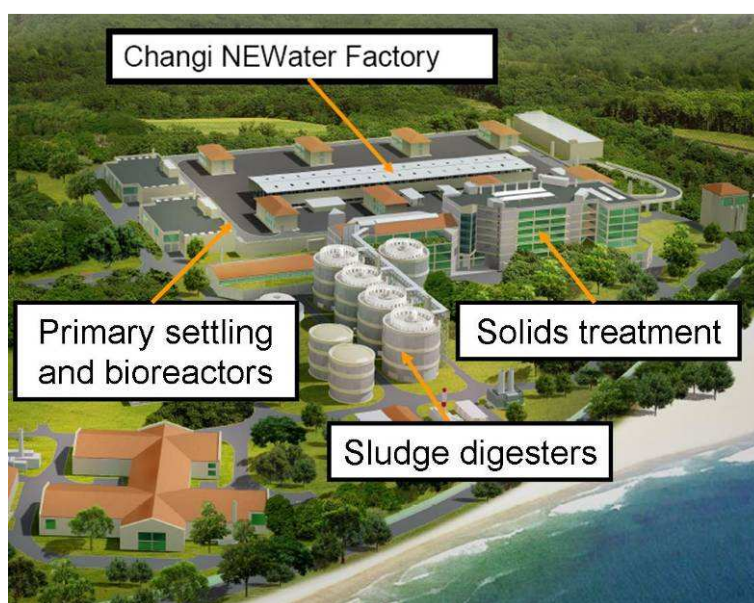
Figur 3.8. De 5 NEWater anlæg og deres placering i Singapore (Seah, 2008).

### 3.6 Deep Tunnel Sewerage System og Water Reclamation Plants

Siden slutningen af 1990'erne ledes alt husholdningsspildevand til kloak (Chye, 2008a). I dag ledes spildevandet til 6 rensningsanlæg via 3100 km kloak og 131 pumpestationer. De 6 rensningsanlæg er traditionelt opbygget med sekundær behandling (fjernelse af partikler og organisk materiale) i åbne bassiner. Dette kræver store arealer til anlæg og især til buffer-zoner, for at naboer ikke skal generes visuelt og af lugten. Høje grundpriser har gjort det attraktivt for PUB at skille sig af med pumpestationerne og begrænse de arealkrævende anlæg. I fremtiden vil alt spildevand ved gravitation blive ført via en tunnel 45-50 m under jordoverfladen til 2 centrale anlæg på henholdsvis øst- og vestsiden af øen. Tunnelerne er projekteret til at holde i 100 år. På de centrale anlæg pumpes spildevandet fra 40-50 meters dybde op til

overfladeniveau. Changi Water Reclamation Plant (800.000 m<sup>3</sup>/d) er det første af de to anlæg og forventes færdig i 2008 til en samlet pris af ca. 8 mia. DKK (Figur 3.9). Changi bygges som et lukket anlæg, med for-klaring og bioreaktorer delvist placeret i undergrunden. De lukkede tanke og bioreaktorer er forsynet med luftrensingsanlæg og med disse tiltag har det været muligt at reducere bufferzonen fra 1 til 0,5 km. Endeligt udføres slambehandling i rådnetanke, mens slampresser og centrifuger er placeret lagvis i en høj bygning. I alt forventes Deep Tunnel Sewerage System og de centrale rensningsanlæg at frigøre 161 ha til anden brug. Der er altså tale om en kraftig reduktion af PUB's "footprint". Centralisering strider imod PUBs øvrige aktiviteter, der søger at diversificere forsyningen, men det anses nødvendigt i effektiviseringen af spildevandshåndteringen. Spildevandet udledes til havet, ca. 5 km fra kysten. Siden projekteringen af spildevandsanlægget er det besluttet at placere et NEWater-anlæg som en ekstra etage oven på spildevandsanlæggets reaktionstanke (Figur 3.9).

For at sikre mod nedbrud og følgende oversvømmelse af spildevandstunnelen har Changi sit eget nødstrømsanlæg.



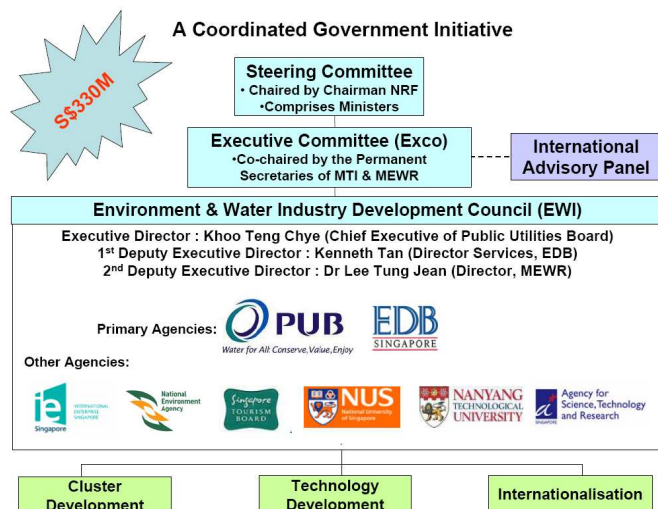
Figur 3.9. Tegning af den færdige Changi Water Reclamation Plant med det inkluderede NEWateranlæg (Chye, 2008a).

### 3.7 SingSpring afsaltningsanlæg (Tuas)

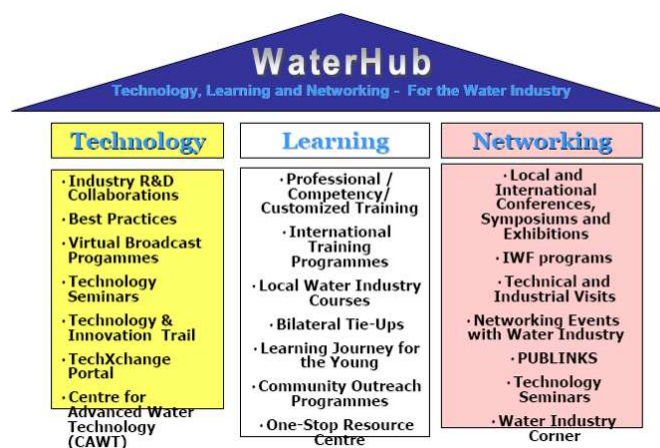
Singspring afsaltningsanlægget er Singapores første og Østasiens største afsaltningsanlæg (Hyflux, 2008). Anlægget, med en kapacitet på 136.000 m<sup>3</sup>/d, benytter omvendt osmose (RO) membraner og har kostet 720 mio. kr. PUB underskrev en 20-årig Build Own Operate kontrakt med Hyflux i januar 2003 og anlægget stod færdigt i september 2005. Kontrakten sikrer Hyflux en minimumbetaling svarende til 2,2 kr./m<sup>3</sup> for at opretholde kapaciteten på 136.000 m<sup>3</sup>/d. Dertil kommer en betaling på 0,65 kr./m<sup>3</sup> for den producerede vandmængde. Anlægget har en minimumskapacitet på 26.000 m<sup>3</sup>/d, men siden åbningen har anlægget kørt uafbrudt med fuld belastning, bortset fra planlagte vedligeholdelsesopgaver. Fødevandet hentes i strædet mellem Malaysia og Singapore i et område med restriktioner på skibsfarten. Membranerne forventes at kunne holde minimum 7 år. Der benyttes et system med to "passes", hvilket betyder at produktvandet passerer først en RO-havvandsmembran og dernæst en RO-brakvandsmembran for at sikre tilstrækkeligt lave ion-koncentrationer (særligt bor-koncentrationen) i produktstrømmen. Det tilbageværende tryk i koncentratet fra det første pass udveksles med fødevandet, hvorved der spares ca. 1 kWh/m<sup>3</sup> produkt og det totale energiforbrug er 3,9 kWh/m<sup>3</sup>. Det leverede vand remineraliseres til et niveau, der sikrer imod blandingsproblemer, når vandet møder det øvrige vand i drikkevandsforsyningen.

## 4 Samarbejdet med industrien (WaterHub, Industry Nite)

Regeringen i Singapore har valgt at kæde ø-statens ønske om at være uafhængig af vandimport sammen med et statsstøttet løft til den lokale vandindustri. Vandteknologi er således udvalgt som et af få strategiske industrielle udviklingsområder, som skal udgøre en væsentlig del af Singapores økonomi fremover. Udover at det lokale styre via PUB er blevet en stor aftager af den lokale vandteknologi, arbejdes der også målrettet mod at fremme vilkårene for den lokale forskning i vandteknologier og vandressourcer i både nationalt og internationalt perspektiv. Et miljø- og vandudviklingsråd råder over mere end 1 mia. kr. til at skabe faciliteter for vandindustrien og udvikle samarbejder på tværs af både forskningsinstitutioner og



Figur 4.1. Regeringens støtteordning til udvikling af den lokale vandindustri (Seah, 2008).



Figur 4.2. WaterHubs aktiviteter (Loong, 2008).

virksomheder (Figur 4.1). En særbevilling fra regeringen har betalt oprettelsen af WaterHub som en særlig underafdeling af PUB (Figur 4.2). WaterHub har som formål at blive et centrum for international viden om vandteknologier. Grundelementerne i dette centrum er undervisning af både akademisk og praktisk art (herunder løbende efteruddannelse af PUBs egne medarbejdere), netværksarrangementer for forskere og industri, og endelig egne forsknings- og udviklingsaktiviteter. F.eks arrangerer WaterHub Singapore Water Industry Nite, hvor PUB præsenterer kommende projekter for industrien og den lokale industri mødes for at høre om og diskutere fremtidige forretningsmuligheder. På 2<sup>nd</sup> Water Industry Nite 2008 fortalte PUB, at de ville vil fremlægge licitationstilbud på projekter af en forventet økonomisk størrelse på 3-4 mia. kr. i løbet af det næste halve år (Industry Nite, 2008).

PUB har herudover været aktive i at få IWA's regionale kontor til Singapore og landet finansierer en del af kontoret.

## 5 Delegationens indtryk af Singapores vandaktiviteter

Turen til Singapore havde et klart teknisk sigte, men PUB havde også mange forvaltningsmæssige tiltag at berette om, som det fremgår af ovenstående afsnit. Fra et dansk synspunkt var det især følgende iagttagelser, der gjorde indtryk ved besøgene til ovenstående aktiviteter.

- **Det går hurtigt og der bruges mange penge**

Der er stor villighed til at skabe ændringer og der er en bredt funderet opbakning af både politisk og økonomisk karakter. For eksempel er NEWater konceptet på mindre end 10 år vokset fra forsøgsstadiet til at være en del af ryggraden i Singapores vandforsyning. De lokale investeringer i vandteknologier er imponerende store i betragtning af landets størrelse. Det bemærkedes, at der også eksisterer en stor risikovillighed, idet projekter søsættes, selvom potentielt store problemer ses forude. Som eksempel ses milliardprojektet Marina Barrage, hvor der nemt forudses næringsstof- og saltophobning. Det er et potentielt problem, der endnu ikke er analyseret, men som der gives udtryk for nok skal løses, når/hvis det viser sig (Chye, 2008b). Således ses problemer tydeligt i et positivt lys som udfordringer, der igen giver muligheder for forskning og udviklingsaktiviteter.

- **Et fælles projekt**

Der er en udbredt korpsånd til at skabe forandringer i vandforvaltningen og udvikle vandteknologier. Vi har fået indtryk af et fælles projekt, der støttes af regering, PUB, universiteter og industrien, og alle aktører er med på store forandringer i Singapores vandforvaltning.

- **Fokus på kommercialisering**

Regeringens prioritering af den lokale vandindustri og de store nationale investeringer i vandteknologi er et tydeligt eksempel på den symbiose, der hjælper til at gøre Singapores vandindustri til en global aktør. Det lokale firma Hyflux bygger således afsaltningsanlæg i udlandet på baggrund af erfaringerne, der blev høstet i etableringen af Singspring-anlægget (Fei, 2008). Udviklingen kan umiddelbart minde om tiden, da den danske

vindmølleindustri, med baggrund i nationale investeringer, kunne etablere internationalt fodfæste.

- **Den primære drivkraft er et politisk ønske om at undgå vandimport**

Det har vist sig, at Singapore har været bevidst om at placere sig selv i en position, der påkrævede kraftige ændringer i landets vandforvaltning. Da Malaysia for nogle år tilbage forpassede en kontraktlig mulighed for at genforhandle vilkårene for vandeksporten, undlod Singapore at gøre nabolandet opmærksom på forholdet. Dette var ikke et godt udgangspunkt for kommende forhandlinger, da det var med til at understrege de to landes strid om vilkårene for vandimporten.

- **Vand er vigtigt**

Ovenstående politiske konflikt viser, at selvom der ikke er tale om en umiddelbar ressourceknaphed, kan vand hurtigt blive et meget vigtigt emne på tværs af landegrænser.

- **Den integrerede vandforvaltning styres af en samlet organisation**

I Singapore integreres mange elementer af vandforvaltningen. De bedste eksempler er genanvendelsen af spildevand og omdannelsen af afløbskanaler og reservoirer til rekreative elementer i byen. Organisationen af PUB som en samlet enhed, der er ansvarlig for problemformulering, beslutninger og udførelse af projekterne synes meget effektiv. Der fornemmes en virksomhedsånd, hvor medarbejderne på tværs af arbejdsområder har taget det samlede projekt til sig. Således er det ikke ualmindeligt, at PUB-medarbejdere referer til detaljer fra arbejdet i andre dele af organisationen, for eksempel når nødvendigheden af offentlig involvering i vandforvaltningen nævnes af folk i gang med den praktiske konstruktionen af Marina Barrage. PUB arbejder dog også bevidst med at dyrke denne virksomhedsånd (Chye, 2008b).

- **Omfattende international og nationalt netværk i forskningsmiljøet**

Investeringerne i vandinfrastruktur, udviklingen af den lokale vandindustri og ikke mindst etableringen af WaterHub har etableret et omfattende netværk i det internationale forskningsmiljø. Der er eksisterende samarbejder med mange førende universiteter og forskningsinstitutioner indenfor vandteknologi, -kvalitet og hydrologi i USA, Europa, Japan og Australien.

- **Reducering af arealforbruget – ”footprint”**

Flere af de besøgte projekter er præget af de høje grundpriser i Singapore og ofte bliver det nævnt, at en beslutning blev taget under hensyn til at reducere arealforbruget. Centraliseringen af spildevandshåndteringen er det tydeligste eksempel på denne udvikling.

- **Tostrengt forsyninger**

Umiddelbart synes de tostrengede forsyninger (drikkevand/NEWater og spildevand/regafløb) mere avancerede end forholdene i for eksempel Danmark. Dog må det bemærkes, at etableringen af Deep Tunnel Sewerage System formentlig har den konsekvens, at spildevandsstrømmen ikke vil blive opdelt i yderligere fraktioner i mange år fremover.

- **Vandet er kloreret**

Singapores drikkevandsforsyning er kloreret, hvilket er den væsentligste kvalitetsforskel i forhold til dansk vandforsyning. Kloringen udgør en ekstra hygiejnisk barriere, men har også en kraftig indvirkning på smagen.

- **Klimadebatten er fraværende**

Klimadebatten lader til at spille en begrænset rolle i PUBs projekter. Det kan selvfølgelig skyldes en klart defineret prioritering af vandforsyningsikkerhed, frem for øvrige hensyn. Aktiviteter for at nedbringe CO<sub>2</sub> emissioner er ved at starte op nu (Seah, 2008), men i lyset af de energikrævende aktiviteter (Tabel 5.1) og det forhold, at Singapores elforsyning er alene baseret på fossile brændsler<sup>2</sup>, kan der forudses store udfordringer med at opretholde de energikrævende aktiviteter, især afsaltning og NEWater uden store investeringer i fornybare energikilder.

**Tabel 5.1. Energiforbrug ved PUBs vandrensingsanlæg**

Proces	Energiforbrug	Reference
NEWater	<1 kWh/m <sup>3</sup>	Expert Panel Review, 2002
Spildevandsbehandling (Changi)	~0.4 kWh (for spildevandsbehandlingen, dertil kommer pumpning fra den dybe tunnel.)	Chye, 2008a
Konventionel vandforsyning (Chestnut Ave)	~0,4 kWh/m <sup>3</sup> (meget afhængig af produktionsstørrelse)	Guan, 2008
Afsaltning (Singspring)	3,9 kWh/m <sup>3</sup>	Hyflux, 2008

Til sammenligning oplyser KE at de bruger ca. 0.3 kWh/m<sup>3</sup> ved behandling af grundvand. Afsaltning af Østersøvand vil kræve omkring 2 kWh/m<sup>3</sup> (egne beregninger).

## 5.1 Spørgsmål som er afdækket af studieturen

De væsentligste mangler i vores forståelse af Singapores vandforvaltning er:

- Funktionen og størrelsen af de økonomiske støtteordninger.

Den samlede pris PUB betaler for produktionen af afsaltet vand på Singspringanlægget er 2,8 kr./m<sup>3</sup> heraf 0,65 kr./m<sup>3</sup> i variable omkostninger. Til sammenligning koster en kWh for en privatforbruger 0.76 kr. og altså mere end de variable omkostninger. Forklaringen må enten være, at Hyflux betaler en meget lav elpris, eventuelt støttet af statsligt tilskud, eller at eludgiften er delvist finansieret i grundprisen for det afsaltede vand (de 2,2 kr./m<sup>3</sup>).

- En overordnet vandbalance, næringsstof- og saltbalance

Af de tilgængelige informationer har det ikke været muligt at sammenstykke massebalancer for PUBs vandsystemer. Det kunne være interessant at få klargjort, hvor meget vand der tabes ud af systemet via fordampning og evapotranspiration, og hvor stor en del af vandforbruget, der distribueres på

<sup>2</sup> Singapores elforsyning i 2005: ca. 10 GWh fra olie og ca. 28 GWh fra gas (<http://data.iea.org>).

flaske. I forhold til Marina Barrage og recirkuleringen af vand mellem reservoirerne er det relevant at få indblik i risikoen for algeopblomstringer og saltophobninger som følge af det lukkede kredsløb.

- Strategien for integritetstest af membranelementer er uklar

På NEWater Visitor Centre fremstilles membranerne som perfekte. Spørgsmål til integritetstest af membranerne og risici ved brud på membranerne besvares med at membranerne ”testes og det er intet problem”, uden at gå i detaljer. Der er ikke fundet anledning til at anfægte sikkerheden i vandbehandlingen, men findes der en skemalagt strategi for vandsikkerheden (a la water safety plans), står denne endnu uklart for delegationen. Ligeledes er det uklart hvor god en generel drikkevandskvalitet, der opnås mht. fx spormetaller, organiske mikroforureninger eller patogener, samt i hvilket omfang, der forekommer uheld eller forureninger.



## 6 Referencer

Check, 2008 Fra besøg på Marina Barrage Project Site. Hovedvært: Mr. Lim Meng Check, PUB Catchment and Waterways department.

Chye, 2008a. Fra besøg på Changi Reclamation Plant. Hovedvært: Mr. Young Joo Chye, Deputy Director, PUB Best Sourcing.

Chye, 2008b. Fra besøg på PUB headquarters. Hovedvært: Khoo Teng Chye, Chief Executive of PUB.

Expert Panel Review, 2002. Singapore Water Reclamation Study, Expert Panel Review and Findings.

Fei, 2008. Fra besøg hos Hyflux Corporation. Hovedvært: Dr. Li Dong Fei, Vice President, SIP (Hyflux).

Guan, 2008. Fra besøg på Chestnut Ave Water Works. Vært: Ooi Keat Guan, general manager, Chestnut Ave Water Works.

Hyflux, 2008, Fra besøg på Singspring Desalination Plant. Hovedvært: Hyflux Representative (Navn ukendt) og Lee Mun Fong (PUB).

Industry Nite, 2008. Fra besøg på Singapore Water Industry Nite on 31st Mar 08.

Loong, 2008, Fra besøg på WaterHub. Hovedvært: Fong Han Loong, Senior Officer, PUB WaterHub.

Ng, 2008, Fra besøg hos Nanyang Technological University. Vært: Ng Wun Jern, Professor og direktør for Nanyang Environment & Water Research Institute.

Rygaard, M., Albrechtsen, H.-J., Binning, P.J. 2007 *Alternativ vandhåndtering og selvforsyning – International erfaringsopsamling*. Institut for Miljø & Ressourcer, DTU.

Seah, 2008 Fra besøg på NEWater Visitor Centre. Hovedvært: Mr. Harry Seah, Director, PUB Technology & Water Quality Office.

## Bilag 1 Program for studieturen

### Mandag 31 March 08

9.00 – 10.30am

- Arrival of delegation from Copenhagen Energy, DANVA and DTU Environment at NEWater Visitor Centre (Address: 20 Koh Sek Lim Rd and map enclosed, contact: Ms Noby Ang @ + 65 9730 5882)
- Guided tour and briefing on “Integrated Water Resource Management” by Director of Technology Office, Mr Harry Seah
- Expert Discussion on issues like strategic planning on the long term water supply plans, environmental impact, water quality and climate change studies (Participants: Dir Harry Seah, Deputy Director Ngaim Hai Guan, Deputy Director Chang Chian Wui, General Manager Chua Seng Chye)

10.30am

- Proceed to Changi Water Reclamation Plant (Address: Travel on Tanah Merah Coast Road towards Changi Naval Base and turn left to Changi Water Reclamation Plant access road, map enclosed, Contact: Mr Young Joo Chye @ + 65 97569320)

11.00 - 12.15pm

- Arrival of delegation at Changi Water Reclamation Plant
  - Welcome by Director (Water Reclamation Plants) Wah Yuen Long and Deputy Director Young Joo Chye
- Briefing on Deep Tunnel Sewage System (DTSS)
- Q & A
- Site Tour

1.00 – 3.00pm

- Lunch

3.00pm

- Proceed to PUB office at ENV Bldg (Address: 40 Scotts Road #22-01 Environment Building Singapore 228231, Contact: Ms Noby Ang @ +65 9730 5882)

3.30 – 4.30pm

- Arrival of delegation at PUB office
- Meeting with CE (PUB), Mr Khoo Teng Chye
- Short welcome and intro on PUB by Mr Khoo
- Presentation on “Future water & wastewater system in Copenhagen” by Copenhagen Energy (The current water management situation in Copenhagen, the future challenges Copenhagen is facing in meeting its water needs. Briefly present some preliminary thoughts on how to respond to these challenges.)
- Participants: CE, Director (Industry Development) Ng Han Tong, General Manager (SIWW) Michael Toh

7.00 – 9.30pm

Singapore Water Industry Nite (SWIN) at WaterHub jointly organized by PUB/EWI and Singapore Water Association (SWA)

Venue: WaterHub

Address: 80 Toh Guan Rd East

Programme

1900h Registration

1930h Presentation by Dr. Sze Tiam Lin, Senior Vice-President, Exploit-IP

Programme

1950h Update on Singapore International Water Week (SIWW) and Tender

Announcements by PUB

2020h Reception and Networking

2130h End of Event

Participants: Singapore Water Association (SWA) members, Water industry professionals, utilities, Academics, Knowledge & Research Institutes, Governments, Consultants & Contractors.

### Tirsdag 1 April 08

9.00 – 10.30am

- Arrival of delegation at Marina Barrage (Address: Marina South and map enclosed, contact: Mr Dave Toh @ +65 92475695)

- Welcome by Director 3PN Yap Kheng Guan and Deputy Director Lau Yew Hoong

- Briefing and tour of exhibition gallery
- Expert Discussion on drainage management, flood control, modeling and hydrology as well as public relations on NEWater acceptance
- Participants: Yap Kheng Guan, Lau Yew Hoong, Assistant Director Cheoh Bong Leng, Executive Engineer Dave Toh and Deputy Director Tan Tien Ser

10.30am

- Proceed to Chestnut Ave Water Works (Address: Chestnut Drive, off Upper Bukit Timah and map enclosed, Contact: Mr Chua Swee Hiang @ +65 9748 3539)

11.00 – 12.00pm

- Arrival of delegation at Chestnut Ave Water Works
- Briefing on Water Treatment Practices and site tour
- Welcome and brief by General Manager Ooi Keat Guan

12.30 – 2.00pm

- Lunch

2.00pm

- Proceed to Tuas Desalination Plant (Address: 90 Tuas South Ave 1, map enclosed and contact: Mr Lee Mun Fong @ +65 9112 1953)

2.30 – 3.30pm

- Arrival of delegation at Tuas Desalination Plant
- Welcome by Hyflux Management Staff and Deputy Director Lee Mun Fong (PUB)

3.30pm

- Proceed to WaterHub (Address: 80 Toh Guan Rd East, map enclosed and contact: Mr Tan Ban Thong @ +65 96280287)

4.00 – 5.15pm

- Arrival of delegation at WaterHub and Centre for Advanced Water Technology (CAWT)
- Briefing, WaterHub Tour and CAWT Laboratory Tour
- Welcome and brief by Manager Tan Ban Thong and Dr Gao Pingping (Microbiologist)

### **Onsdag 2 April**

9.30 – 11.00am

Nanyang Environment and Water Research Institute (NEWRI), Nanyang Technological University (NTU). Introduction to NEWRI by Prof. Ng. NEWRI is a research, development and education centre in environment and water technology opened in 2007. Main issues to discuss: what is NEWRI? Independent answers to critical questions about PUB's water management.

11.00 Lunch

3.00pm

Visit Hyflux. Hyflux is a company developing, designing, constructing and operating membrane facilities around the world. Claim to own the largest membrane research facilities in Asia (outside Japan). Main issues for discussion: what are the main challenges membrane technologies are facing at the moment? What are the future perspectives for membranes in water treatment?

3.00pm: Arrival At Hyflux building at Kallang Bahru..to be met on arrival.

3.05pm: 3.10pm: Introduction to Hyflux and our business models... Hyflux Corporate Video

3.15pm: Discussions

4.10pm: Departure

### **Onsdag 2 April**

Bestyrelsesmøde. Opsamling og evaluering af turen og planlægning af videre aktiviteter.

## Bilag 2 Deltagere fra Danmark

### Københavns Energi

**Jens Andersen**

Chef, Salg og teknisk service

[jean@ke.dk](mailto:jean@ke.dk)**Per Jacobsen**

Direktør, Vand og Afløb

[peja@ke.dk](mailto:peja@ke.dk)

### DANVA (Dansk Vand- og Spildevandsforening)

**Carl-Emil Larsen**

Direktør

[cel@danva.dk](mailto:cel@danva.dk)

### DTU Miljø, Institut for Vand og Miljøteknologi

**Mogens Henze**

Institutdirektør

Spildevand

[moh@env.dtu.dk](mailto:moh@env.dtu.dk)**Hans-Jørgen Albrechtsen**

Lektor

Mikrobiologi

[hja@env.dtu.dk](mailto:hja@env.dtu.dk)**Philip J. Binning**

Lektor

Hydrologi &amp; numerisk modellering

[pjb@env.dtu.dk](mailto:pjb@env.dtu.dk)**Martin Rygaard**

Ph.D.-studerende

System analyse, afsaltning

[mar@env.dtu.dk](mailto:mar@env.dtu.dk)

### Bilag 3 Lokale repræsentanter

Name	Title	Diskussionsemne ved møde
Young Joo Chye	Deputy Director, PUB Water Reclamation Department	Deep Tunnel Sewerage System / Chango Water Reclamation Plant
Khoo Teng Chye	Chief Executive, PUB	Fælles interesser for KE og PUB
Lim Meng Check	Deputy Director, PUB Catchment and Waterways Department	Marina Barrage
Ng Wun Jern	Professor på Nanyang Technological University og direktør for Nanyang Environment & Water Research Institute	Professor Ng har været uafhængig rådgiver på NEWater-projektet og medlem af det internationale ekspertpanel, der i sin tid godkendte og anbefalede brugen af NEWater i Singapores vandforsyning.
Wah Yuen Long	Director, PUB Water Reclamation Department	Deep Tunnel Sewerage System / Chango Water Reclamation Plant
Fong Han Loong	Senior Officer, PUB WaterHub	WaterHub
Freddy Soon	Senior Vice President, Hyflux, Group Communications & Relations	Hyflux activities, Host of Industry Nite
Harry Seah	Director, PUB Technology & Water Quality Office	PUB Master Plan, Integreret vandforvaltning.
Willy Yeo	Assistant Vice President, Hyflux CEO Office	Hyflux

## Bilag 4 Vandkvalitetsparametre

Vandkvalitetsparametre offentliggjort pr. 20. maj 2008 på

[http://pub.gov.sg/our\\_services/WaterWSHowBrought.aspx](http://pub.gov.sg/our_services/WaterWSHowBrought.aspx)

Singapore's water is moderately soft and is safe to drink straight from the tap. To ensure that your water supply is clean and safe, water samples are regularly collected and analysed chemically and bacteriologically at the Water Testing Laboratory. Samples of water at various stages of treatment at all waterworks, raw water from all sources, treated water from all service reservoirs and selected points in the distribution network are collected for daily or periodic analysis.

Tests are conducted to ensure that the quality of treated water is within the Guidelines for Drinking-Water Quality set by the World Health Organisation (WHO). The National Environment Agency also monitors the treated water quality. Some typical values for the treated water quality parameters can be found in the table below:

### Potable Water Quality (Typical Values)

Chemical & Physical Characteristics (In mg/l where applicable)	*Water from Choa Chu Kang & Bedok Waterworks	**Water from Other Waterworks	WHO Guideline Values (2004)
Colour (Hazen Unit)	< 5	< 5	15
Turbidity (NTU)	< 5	< 5	5
pH Value	7.0 - 9.0	7.0 - 9.0	@
Conductivity (umhos/cm)	250 - 550	80 - 300	@
Taste	Unobjectionable	Unobjectionable	Unobjectionable
Odour	Unobjectionable	Unobjectionable	Unobjectionable
Nitrate (as NO <sub>3</sub> )	0.5 - 7.0	0.5 - 15.0	50
Fluoride (as F)	0.5 - 0.7	0.5 - 0.7	1.5
Total Dissolved Solid	200 - 350	60 - 250	1000
Total Alkalinity (as CaCO <sub>3</sub> )	20 - 50	10 - 50	@
Total Hardness (as CaCO <sub>3</sub> )	50 - 100	20 - 100	@
Chloride (as Cl)	35 - 100	5 - 50	250
Sulphate (as SO <sub>4</sub> )	30 - 60	5 - 40	250
Phosphate (as PO <sub>4</sub> )	< 0.10	< 0.10	@
Silica (as SiO <sub>2</sub> )	1 - 10	3 - 12	@
Iron (as Fe)	< 0.04	< 0.04	0.3
Manganese (as Mn)	< 0.05	< 0.05	0.4
Copper (as Cu)	< 0.05	< 0.05	2
Aluminium (as Al)	< 0.10	< 0.10	0.2
Residual Chlorine (as Cl, Total) <sup>***</sup>	< 2.0	< 2.0	5.0
<b>Bacteriological Characteristics</b>	< 1	< 1	< 1
<i>E. Coli</i> (cfu/100 ml, 35°C, 24 hrs)			

@No guideline value

\* Raw water is drawn from estuarine reservoirs. The treated water is normally supplied to western and eastern parts of Singapore.

\*\* Raw water is drawn from upland reservoirs and rivers. The treated water is normally supplied to the rest of Singapore.

\*\*\* The residual chlorine present in tap water is in the form of chloramines or free chlorine.

Typical values for potable water are only guides and may vary with varying quality of raw water or change of source of water supply due to PUB's operational requirements. They are well within the WHO Guidelines for Drinking Water Quality. Customers will have to treat potable water further if they need water of higher quality for specific applications, such as for process use in factories. It is not necessary to treat potable water further for drinking purpose.

## **Bilag 5 Beskrivelse af Singapore (Rygaard et al, 2007)**

### **Området**

Asien, ca. 4,5 mio. mennesker på 683 km<sup>3</sup> (20 % større end Bornholm). Vandressourcerne er pt. Overfladevand fra Malaysia 33 %, eget opland 50 %, NEWater 7 %, afsaltning 10 %. (Baht, 2006)

### **Projekter**

*Nye termer:* Før hed det "wastewater" og "wastewater plants", nu hedder det "used water" og "water reclamation plants".

*NEWater:* Recirkulering af spildevand dækker fra år 2011 20 % af det samlede vandforbrug, heraf 1-2,5 % som drikkevand. Det, der ikke anvendes til drikkevand, bruges i industrien, ikke mindst øens vandintensive halvlederfabrikker.

*Regnvandsreservoirer:* ETabelring af reservoirer, der fra 2007 opsamler vand fra 2/3 af Singapores areal og med tiden vil opsamle vand fra 90 % af arealet. Et eksempel er Marina Barrage, der ved hjælp af en sluse vil opstuve regnvand i et havnebassin og beskytte vandet mod indtrængende havvand. Regnvandet ledes dertil i separat afløbssystem (PUB, 2006).

Se også Figurn næste side.

### **Tidsramme**

2000-2061.

### **Drivkræfter**

Politisk ønske om uafhængighed af vandimport fra Malaysia (MFA, 2003; Po et al., 2003 p.8; AEN, 2003).

### **Vandforbrug**

*Total:* Stigende fra ca. 438 mio. m<sup>3</sup>/år. (PUB, 2006; SS, 2006).

*Husholdning:* Ca. 55 % af totalforbrug, faldende fra ca. 150 l/p/d (PUB, 2006).

### **Årsag til forbrugstendens**

Vandsparekampagne, men stigende befolkningstal og økonomisk vækst (NEWater, 2006; Tortajada 2006).

### **Vandkvalitet**

NEWater's fysiske, kemiske og mikrobiologiske data opfylder "USEPA's National Primary & Secondary Drinking Water Standards" og ligeledes "WHO's Drinking Water Quality Guidelines" (Expert panel, 2002; PUB, 2006).

### **Økonomi**

Takst (husholdning): 6-8 kr./m<sup>3</sup> stigende med forbrug. Dækker produktion og distribution.

Produktion: Afsaltning 3-5 kr./m<sup>3</sup> (afhængig af energipriser) NEWater 1,2 kr./m<sup>3</sup> (Kolesnikov-Jessop, 2006; Tortajada 2006).

### Borgerinddragelse

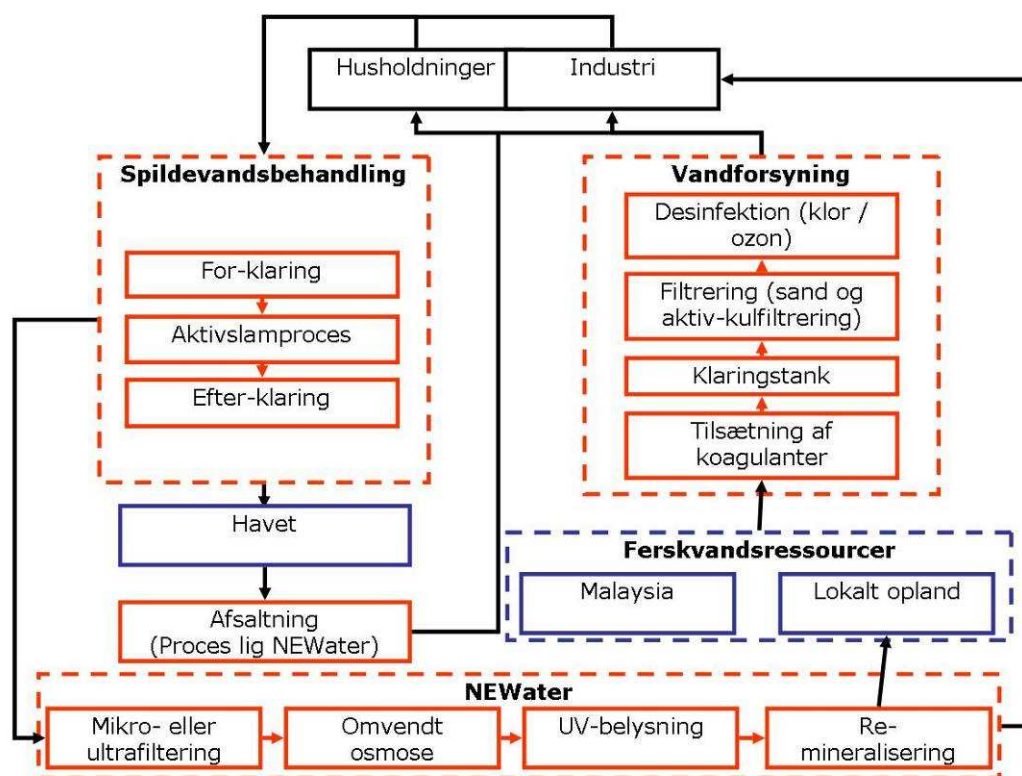
Massiv markedsføring af vandhåndtering via massemedier og besøgscentre. Opfordring og hjælp til at reducere vandforbrug (PUB, 2006; NEWater, 2006; Tortajada, 2006).

### Forbrugeraccept

Øget salg af flaskevand efter indførsel af NEWater i drikkevandsforsyningen (ca. 30 % indenfor det første år), men overvejende positiv modtagelse af NEWater-konceptet (AEN, 2003).

### Teknisk modenhed:

State-of-the-art løsninger på genbrug af spildevand og afsaltning i storskala (Baht, 2006; Kolesnikov-Jessop, 2006).



Vandkredsløbet i Singapore. Skitseret efter oplysninger fra (PUB 2006)

### Risici

2 års intensive observationer fandt ingen overskridelser af grænseværdier for 190 parametre i NEWater produktet, men uønskede stoffer er i enkelte tilfælde fundet i koncentrationer under grænseværdier sat af WHO i permeatet fra membranprocesserne, heriblandt trihalomethaner og formaldehyd (Expert panel, 2002; Ong, 2006).

### Miljøforhold

Energiforbrug ved produktion af NEWater  $<1 \text{ kWh/m}^3$  (Expert panel, 2002). Afsaltning  $4,1 \text{ kWh/m}^3$  (Water Technology, 2007)). Ellers ingen oplysninger om øvrige miljøforhold i de benyttede kilder.

### Forventninger til fremtiden



Vandplanen sigter mod en vandforsyning alene baseret på regnvand opsamlet fra eget opland, genbrugt spildevand og afsaltet havvand i år 2061 (PUB 2006).

### **Anbefalet læsning**

Tortajada (2006).

### **Vurdering**

Vandsituationen i den lille ø-stat Singapore er ekstrem, da landets areal (683 km<sup>2</sup>) kun er 20 % større end Bornholm, men huser omtrent 4,5 mio. indbyggere. Vandplanen er uden tvivl et ambitiøst forsøg på at hæve et stort byområdes selvforsyningsgrad. Der er tale om en integreret forvaltning af vandressourcen, hvor spildevand betragtes som en ressource frem for et affaldsprodukt.

Singapore er en god repræsentant for gruppen af cases med planlagt indirekte recirkulering af spildevand.

Recirkulering af spildevand gennem NEWater-konceptet og opfattelsen af spildevand som en ressource er meget relevant, da op i mod 2,5 % af drikkevandet og 20 % af det samlede vandforbrug forventes at komme fra genbrugt spildevand i 2011.

### **Konklusion**

Singapores vandforvaltning er vurderet internationalt interessant i forhold til kommunikationsdelen og de meget omfattende projekter omkring reservoirtabeling og NEWater-konceptet. Selve teknikken bag recirkuleringen af spildevand befinder sig på et avanceret stade, der dog ikke er unikt. Ideen med højtrenset spildevand går igen i flere af de her nævnte cases, mens den nærmest aggressive promovning af NEWater ikke ses i de andre tilfælde, hvor folk drikker recirkuleret spildevand. Andelen af recirkuleret spildevand i drikkevandsforsyningen er begrænset til 1 - 2,5 %, mens størstedelen leveres til industriel brug.

### **Referencer**

(AEN, 2003) Asian Economic News: FOCUS: Singapore pumps reclaimed water into reservoirs, Februar 10, 2003. Internetadresse: [findarticles.com/p/articles/mi\\_m0WDP/is\\_2003\\_Feb\\_10/ai\\_97399913](http://findarticles.com/p/articles/mi_m0WDP/is_2003_Feb_10/ai_97399913)

Baht, G. (2006) Best practice for maximizing use of recycled water – Singapore experience, Presentation 16 may, Hyflux™.

Expert panel (2002) Singapore water reclamation study. Expert review and findings. Fundet på [http://www.pub.gov.sg/NEWater\\_files/download/review.PDF](http://www.pub.gov.sg/NEWater_files/download/review.PDF)

Kolesnikov-Jessop, S. (2006) Singapore taps ocean for water and income, International Herald Tribune, 12 september 2006.

MFA (2003) Water issue is about sanctity of agreements, not about price alone, says Singapore Foreign Minister Prof. S JA Yakumar, Press release, Ministry of Foreign Affairs, Singapore 25. januar 2003.

NEWater (2006) NEWater hjemmeside: [http://www.pub.gov.sg/NEWater\\_files/index.html](http://www.pub.gov.sg/NEWater_files/index.html)

Ong (2006) Email-korrespondance med Prof. Choon Nam Ong, National University of Singapore, November 2006.

Po, M; Kaercher, J. D. & Nancarrow, B. E. (2003) Literature review of factors influencing public perceptions. CSIRO Land & water, Australia

PUB (2006) Public Utilities Board, Singapore. [www.pub.gov.sg/](http://www.pub.gov.sg/). Sidst besøgt december 2006.

SS (2006) Statistics Singapore: Yearbook of Statistics Singapore

Tortajada, C. (2006) Water Management in Singapore, Water Resources Development, vol. 22 (2) 227-240.

Water Technology (2007) Tuas Seawater Desalination Plant - Seawater Reverse Osmosis (SWRO), Singapore. Findes på [www.water-technology.net](http://www.water-technology.net). Sidst besøgt januar 2007.

## **Bilag 6 Oversigt over materiale tilgængeligt på projekthjemmesiden**

1. Visitkort
2. Billeder fra turen
3. PUB's præsentationer:
  - Integrated water resources management in Singapore
  - Deep Tunnel Sewerage System & Changi Reclamation Plant
  - Marina Barrage
  - Chestnut Ave Waterworks
  - WaterHub