

Uran i dricksvatten – reningsmetoder i praktiken

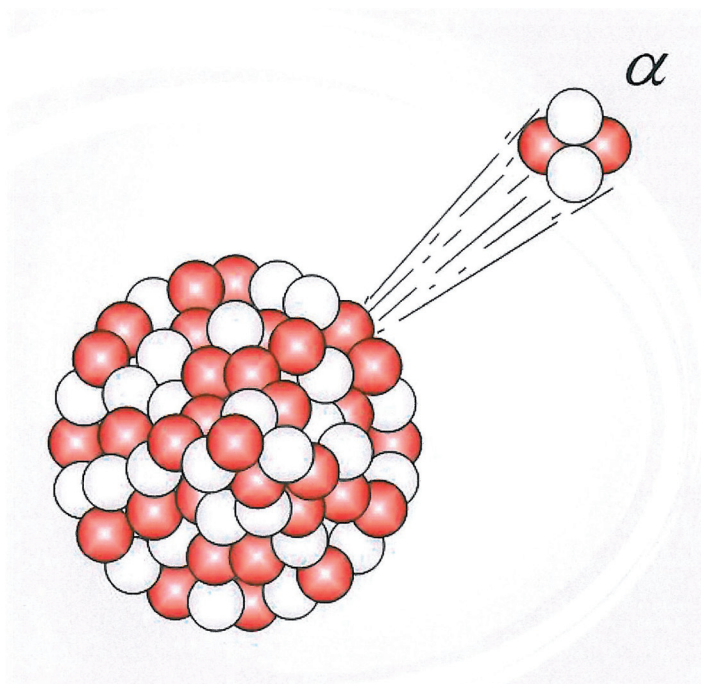
Caroline Ranelycke

Kenneth M Persson

Mikael Jensen

Inger Östergren

Philip McCleaf



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SV-Utveckling) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Ledningsnät
Avloppsvatten
Management

SV-Utveckling styrs av en kommitté, som utses av styrelsen för Svenskt Vatten AB. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

Agneta Granberg, ordförande	Göteborgs Stad
Carina Färm	Eskilstuna Energi & Miljö AB
Daniel Hellström, sekreterare	Svenskt Vatten
Margaretha Lindbäck	Luleå kommun
Charlotte Lindstedt	Göteborg Vatten
Kenneth M. Persson	Sydvatten AB
Lars-Gunnar Reinius	Stockholm Vatten AB
Mats Rostö	Gästrik Vatten AB
Bo Rutberg	Sveriges Kommuner och Landsting
Lena Söderberg	Svenskt Vatten
Ulf Thysell	VA SYD
Susann Wennmalm	Käppalaförbundet
Fred Ivar Aasand, adjungerad	Norsk Vann

Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan återopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 47 607
117 94 Stockholm
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se

Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Uran i dricksvatten – reningsmetoder i praktiken
Title of the report:	Uranium in drinking water – water treatment in practice
Rapportnummer:	2010-12
Författare:	Caroline Ranelycke och Kenneth M Persson, Sweco Environment; Mikael Jensen och Inger Östergren, Strålsäkerhetsmyndigheten samt Philip McCleaf, Uppsala kommun
Projektnummer:	28-107
Projektets namn:	Uran i dricksvatten – reningsmetoder i praktiken
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling, Sweco Environment
Rapportens omfattning	
Sidantal:	44
Format:	A4
Sökord:	Uran, jonbyte, membranfiltrering, omvänd osmos, adsorption, nanofiltrering, radioaktiva sönderfallsprodukter, gammastrålning, arbetsmiljö, avfall
Keywords:	Uranium, ionic exchange, membrane filtration, reverse osmosis, adsorption, nanofiltration, radioactive decay products, gamma radiation, working environment, waste
Sammandrag:	I rapporten sammanställs praktisk erfarenhet i Sverige om olika beredningsmetoder för att avlägsna uran från dricksvatten. Viktiga aspekter belyses i uransammanhanget såsom strålsäkerhet, säker arbetsmiljö samt avfall som uppkommer vid avskiljning av uran.
Abstract:	The report compiles practical experience in Sweden on which methods can be used to remove uranium from drinking water. The report also elucidates important aspects that need to be taken into consideration such as radiation safety, working environment issues and treatment of the produced waste.
Målgrupper:	VA-ingenjörer, konsulter, miljö- och hälsoskyddsinspektörer
Omslagsbild:	α -partikel lämnar urankärna. Andrea Wolde, Strålsäkerhetsmyndigheten, Solna
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2010
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB

Förord

Idag finns det inget gemensamt gränsvärde på högsta nivå av uran i dricksvatten inom EU, men WHO rekommenderar ett riktvärde på 15 µg/l. Livsmedelverket i Sverige har sedan år 2005 även rekommenderat detta riktvärde som en högsta tillåten halt uran i dricksvatten. Rekommendationen kommer troligen inom ganska snar framtid att omvandlas till ett gränsvärde. I storleksordningen 50–100 kommunala vattenverk berörs av rekommendationen och kommer att beröras av det framtida gränsvärdet. Ett stort antal kommuner kommer därmed att behöva kunskap och vägledning hur avlägsnande av uran i dricksvatten kan ske på bästa möjliga sätt.

I rapporten sammanställs praktisk erfarenhet i Sverige, för att komma närmare lösningen på hur uranhaltigt dricksvatten skall beredas för att bli tjänligt om gränsvärde införs av Livsmedelsverket. Två pilotstudier genomfördes med reningsmetoderna selektiv anjonbytare respektive omvänd osmos, där effektiviteten för avlägsnande av uran utreds närmre.

Rapporten belyser viktiga aspekter att ta hänsyn till uransammanhanget, så som exempelvis strålsäkerheten, vad som bör beaktas i driften av anläggningarna för säker arbetsmiljö samt hanteringen av avfallet som uppkommer vid avskiljningen av uran. Detta gjordes i ett nära samarbete med Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM).

Arbetet har bedrivits av Caroline Ranelycke och Kenneth M Persson, Sweco Environment, Malmö. Projektgruppen har bestått av Sweco, SSM, Skellefteå kommun, Simrishamns kommun, Uppsala kommun och Östersunds kommun. Strålsäkerhetsaspekterna är författade av Mikael Jensen och Inger Östergren på SSM och kompletterande information om Uppsala kommuns erfarenheter har författats av Philip McCleaf. Samtliga arbetsinsatser av projektmedlemmarna under projektiden är Sweco mycket tacksam för.

Innehåll

Förord.....	3
Sammanfattning.....	6
Summary.....	7
1 Syfte.....	8
2 Metod	9
3 Pilotstudier.....	10
3.1 Skellefteå	10
3.2 Simrishamn.....	14
4 Andra erfarenheter från Sverige	16
4.1 Östersund	16
4.2 Uppsala	17
5 Slutsatser	18
6 Att tänka på vid drift	19
6.1 Spolvattenhantering	19
7 Strålsäkerhet.....	21
7.1 Stråldoser i dricksvatten.....	21
7.2 Strålskydd	21
7.3 Arbetsmiljö	21
7.4 Regenerering	22
7.5 Avfallshantering.....	22
7.6 Transporter	22
7.7 Sammanfattning.....	23
Referenser	24
Bilagor	
Bilaga A Strålsäkerhetsmyndighetens mätningar	25
Bilaga B Varuinformationsblad Dowex Marathon A	28
Bilaga C Granbergsträsk's vattenverk – Vattnets kemiska sammansättning.....	30
Bilaga D Varuinformationsblad Dowex 1.....	32
Bilaga E Pilotstudier i Uppsala kommun	34

Sammanfattning

I tidigare SVU-rapport (Ahlquist m.fl. 2007) bedömdes metoderna jonbyte och membrantechnik ha störst potential för rening av uranhaltigt vatten. Tidigare erfarenheter från pilotstudier som genomförts i Uppsala och Enköpings kommun samt från praktiska erfarenheter i Östersund och Uppsala kommun i fullskala, antyder att dessa metoder skulle vara mycket effektiva för avlägsnande av uran. Utifrån tidigare studier på vattenverk genomfördes därför två pilotstudier; en studie med två olika anjonbytare, Dowex Marathon A och Dowex 1 på Granbergsträsk's vattenverk i Skellefteå kommun samt en studie med omvänd osmos på Borrbys vattenverk i Simrishamns kommun.

Av pilotstudierna utförda i samband med detta projekt och tillsammans med tidigare erfarenheter i Sverige, kan det konstateras att uranavskiljningen är mycket god för metoderna anjonbytare och membranfiltrering, samt att metoderna fungerar för att avlägsna uran. Anjonbyartekniken bedöms fungera för att avlägsna uran vid olika grundvattenkvaliteter. Också adsorptionsteknik som tillämpats i Östersund fungerar väl. Vid val av membranfiltrering vid hårt vatten är det viktigt att endera dosera beläggningshämmare före omvänd osmosanläggningen eller att sätta in avhärdning för att minska risken för kalkutfällningar på membranet.

Uran och dess radioaktiva sönderfallsprodukter måste beaktas ur avfallssynpunkt då uranfilter hanteras. Viktiga aspekter att ta hänsyn till är strålsäkerheten vid drift av anläggningarna för säker arbetsmiljö samt hanteringen av avfallet som uppkommer vid avskiljningen av uran.

Vid höga halter av något gammastrålande ämne i vatten kan strålmiljön behöva dokumenteras. Ingen kontinuerlig dosövervakning behövs om årsdosen inte förväntas överstiga 1 mSv. Arbetstagarna berörs inte av filtermassans alfastrålanden ämnen så länge filtret är intakt och tillslutet. Särskilda försiktighetsåtgärder i arbetsmiljön behöver därför vanligtvis inte vidtas. Om filtermassan behöver hanteras öppet bedöms gängse arbetsmiljöregler som huvudregel vara tillräcklig för strålskyddet. Granbergsträsk's vattenverk i Skellefteå kommun med uranhalter mellan cirka 20–40 µg/l och en anjonbytaranläggning som var i drift i 155 dagar utan regenerering, visade inga höga halter av gammastrålning utvändigt från reningsutrustningen.

Grundinställningen för naturligt förekommande uran i låga halter är att spolvatten, som uppstår exempelvis från regenerering eller backspolning, bör kunna ledas direkt till recipient.

Om den använda massan har medelvärde över 10 kBq/kg (800 ppm) uran-238 kan tillstånd eller dispens från SSM krävas; dels för deponeringen, dels för transport av farligt gods. Regenerering innan deponering av filtret är att föredra med hänsyn till avfallsproblematiken. Mätningar på jonbytemassorna i samband med pilotstudierna i Skellefteå tyder på att regenerering av massan med koksaltlösning kan reducera uranmängden ansamlad i massan till en storleksordning på 10 %. Regenerering omedelbart före tömning av förbrukad jonbytesmassa är således av stor vikt för filterhanteringen. Membran verkar inte ackumulera någon uran.

Summary

A previous SVU-report (Ahlquist et al. 2007) concluded that anionic exchange and membrane technology were the most promising methods for removing uranium from drinking water. Pilot studies conducted in the municipalities of Uppsala and Enköping, and results from full-scale operations in the municipalities of Uppsala and Östersund also indicate that these methods are suitable. Based on these results, two additional pilot studies have been conducted which are presented in this report. The first study at Granbergsträsk Water Treatment Plant in the municipality of Skellefteå used two anionic exchange resins. The second study at Borrby Water Treatment Plant in the municipality of Simrishamn utilized reverse osmosis.

The results from these pilot studies, combined with previous Swedish experience, show that anionic exchange and membrane technology using reverse osmosis are effective processes for removing uranium. Anionic exchange works well for water with different chemical properties and the same can be concluded for the adsorption method used in Östersund. If the membrane technology is used for hard water, it is important to either use an antiscalant before the water enters the reverse osmosis module, or to use a water softener to minimize the risk of limestone deposit on the membrane.

When handling the resin as a waste product, uranium and its radioactive decay products must be taken into consideration. A safe working environment and a correct treatment of the produced waste have to be secured.

At high levels of gamma radiation in drinking water, documentation of the radiation may be required. There are no requirements for continuous supervision of dosage if the annual dosage is below 1 mSv. The alpha radiation from the resin does not affect workers as long as the resin is intact and sealed. Particular precautionary measures in the working environment are generally not required. If the resin needs to be openly handled, standard working environment regulations are normally sufficient for radiation protection. At the Granbergsträsk Water Treatment Plant, with uranium levels of 20–40 µg/l and an anionic resin operating for 155 days without regeneration, there was no indication of raised gamma radiation outside the resin tank.

The general principle regarding water containing low levels of naturally occurring uranium is that water used for rinsing, for example from regeneration or back-flushing, can be lead directly to the receiving body of water.

If the used resin has a mean value above 10 kBq/kg (800 ppm) of uranium-238, a permit or exemption from the Swedish Radiation Safety Authority may be required, both for disposure as landfill and for transportation of the hazardous waste. Considering the waste management issue, the resin is preferably regenerated before it is disposed off. Analyses of the resins used in Skellefteå indicate that regeneration of the resin with a sodium chloride solution can reduce the load of uranium adsorbed in the resin by as much as 95 %. There are no indications of accumulated uranium in used membranes.

1 Syfte

Idag finns det inget gemensamt gränsvärde för uran i dricksvatten inom EU, men WHO rekommenderar ett riktvärde på 15 µg/l. Livsmedelsverket i Sverige har sedan år 2005 rekommenderat detta riktvärde som en högsta nivå för uran i dricksvatten. Rekommendationen kommer troligen inom ganska snar framtid att omvandlas till ett gränsvärde. Ett stort antal kommunala vattenverk berörs av rekommendationen och kommer att beröras av det framtida gränsvärdet. Ett stort antal kommuner kommer därmed att behöva kunskap och vägledning hur avlägsnande av uran i dricksvatten kan ske på bästa möjliga sätt.

Syftet med denna undersökning är att samla praktisk erfarenhet i Sverige, för att komma närmare lösningen på hur uranhaltigt dricksvatten skall beredas för att bli tjänligt om gränsvärde införs av Livsmedelsverket.

2 Metod

I tidigare SVU-rapport har redogjorts för uranmetallens vattenkemi (Ahlquist m.fl. 2007). Härav framgick bland annat att selektiv anjonbytare skulle kunna fungera väl som reningsmetod för uranhaltigt vatten. I rapporten framgick också att omvänd osmos kan fungera som reningsteknik. Utifrån tidigare studier på vattenverk har därför två pilotstudier genomförts; en studie med anjonbytare på Granbergsträsk's vattenverk i Skellefteå kommun samt en studie med omvänd osmos på Borrbys vattenverk i Simrishamns kommun. Vidare ingår sammanställning och utvärdering av den praktiska erfarenheten av uranrening från Uppsala och Östersunds kommun.

Tidigare erfarenheter från pilotstudier som genomförts i Uppsala och Enköpings kommun antyder att anjonbytare skulle vara mycket effektiva för avlägsnande av uran.

I Uppsala kommun genomfördes studier på två olika anjonbytare; Dowex 21K och Amberlite IRA 900Cl. Dessa testades i laboratorieskala samt under drift i vattenverket Björklunge under en testperiod på totalt cirka 2 år. Båda massorna var mycket effektiva för avlägsnande av uran. Studien fördjupade sig i frågeställningen avseende regenererings effekter på massans livslängd för att uppnå fortsatt effektiv rening av uran (Öhlund, 2007).

I Enköpings kommun på Munksundets vattenverk utfördes pilotstudier på tre olika metoder för att avlägsna uran från dricksvatten (VA-Ingenjörerna AB, 2007). Beredningsmetoderna adsorption med Uranex-filter, jonbytes-teknik med anjonmassa samt membranfiltrering med nanofilter studerades under cirka 5 månader. Hög uranreduktion (> 98–99 %) kunde registreras för samtliga metoder under hela testperioden, dock var effektiviteten marginellt sämre vid nanofiltrering. Ingen mättnad av Uranex och anjonbytar massan skedde under testperioden även om inga regenereringar utfördes. Gammastrålningen utvändigt från båda dessa filtermassor var så låg att inga särskilda åtgärder behövdes ur personalstrålskyddssynpunkt, men radioaktiviteten eller uranmängden i filtermassorna var hög (uran 27–40 g/kg massa). Med de höga uranmängderna klassas filtermassorna som farligt avfall enligt Avfallsförordningen. Som förväntat, visades inga mätbara halter av någon nuklid i membranfiltret.

I undersökningen över lämpliga metoder för att avlägsna uran är det även viktigt att belysa hanteringen av avfallet som uppkommer vid avskiljningen av uran. Avskiljningen innebär en anrikning av radioaktiva ämnen, vilket kan ställa ytterligare krav på hantering av massa/filter. Undersökningen belyser till viss del vad som bör beaktas i driften av anläggningarna för säker arbetsmiljö, men även alternativa tillvägagångssätt för att undvika uppkomsten av avfall som klassas som radioaktivt har undersökts. Detta gjordes i samarbete med Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) och redovisas i avsnitt 7 nedan.

I samband med detta SVU-projekt har SSM också undersökt förekomsten av uranets sönderfallsprodukter i inkommande och utgående vatten samt i massa/filter. Resultaten redovisas i bilaga A.

3 Pilotstudier

3.1 Skellefteå

I Skellefteå kommun finns 27 vattenverk som försörjer cirka 65 000 boende i kommunen. Granbergsträsk's vattenverk är ett av dem och försörjer cirka 80 personer. Vattenverket ligger i nordvästra delen av kommunen och får sitt vatten från en grundvattentäkt.

Det finns begränsad geologisk och hydrologisk data om tälkten. Utifrån en inventering om vattenverket som genomfördes år 1983, anger att brunnens djup är cirka 38 m och att vattenföringen sker i sprickigt berg. Brunnspumpen är nedsatt till 36 m djup.

Råvattnets beskaffenhet

Analyser på råvattnet till Granbergsträsk's vattenverk görs sällan utan främst finns data för utgående dricksvatten. Ett flertal utvidgade analyser på råvattnet har genomförts i samband med detta projekt.

Vattnet från Granbergsträsk's vattenverk kan karaktäriseras som ett mjukt och tämligen mineralfattigt vatten med pH under 7,5. Alkaliniteten i råvattnet är cirka 50 mg/l HCO_3^- .

I tabell 3-1 redovisas vattnets typiska beskaffenhet i råvattnet och i berett vatten på utgående ledning från vattenverket.

Tabell 3-1 Typisk beskaffenhet på råvatten och berett vatten, Granbergsträsk's vattenverk.

Analysparametrar	Råvatten	Utgående från vattenverk
Turbiditet, FNU	0,15	0,15
Färg, mg/l Pt	<5	<5
Kalcium, mg/l	22	22
Magnesium, mg/l	2,8	3,7
Järn, mg/l	0,02	<0,010
Mangan, mg/l	0,002	<0,002
Hårdhet total, °dH	3,4	3,9

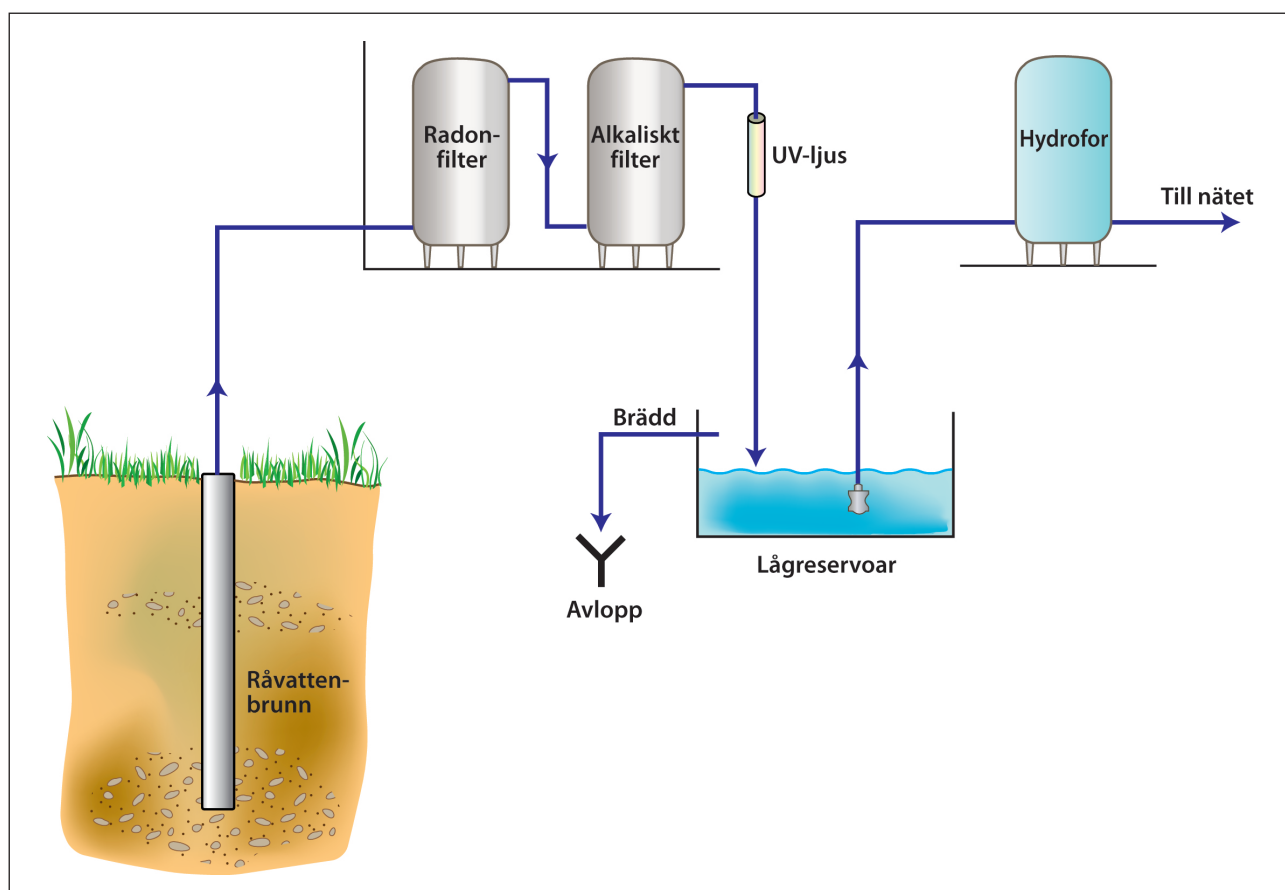
Från Granbergsträsk's vattenverk skickas årligen vattenprov för analys av uran och radon i utgående dricksvatten. Innan pilotstudie påbörjades, hade cirka 10 analyser av uranhalten i dricksvattnet de senaste åren genomförts vilka alla visade på en halt mellan 20–30 µg/l.

Dricksvattenberedningen i Granbergsträsk's vattenverk utgörs av radonfilter, alkaliskt filter och UV-anläggningen, se figur 3-1.

Berett vatten avrinner därefter till lågreservoaren och pumpas vidare via en hydrofor ut på distributionsnätet. Förbrukningen är cirka 5,7 m³/dygn.

Pilotstudien

Anjonbytaranläggningen bestod av 25 liter anjonbytar massa av typen Dowex Marathon A. Leverantören av anläggningen var HOH Vattenteknik i Malmö. Underleverantör av anjonbytar massorna var Dow Water & Process Solutions, Edegem, Belgien. Dowex Marathon A är mycket selektiv för



Figur 3-1 Schematisk bild över reningsstegen i Granbergsträsk's vattenverk.

att uppta uranyljoner. Den teoretiska kapaciteten för att binda uranyljoner är 1,3 eq/l, se varuinformationsblad i bilaga B. Andra joner som massan även är selektiv för och som kan konkurrera med uranyljonen är exempelvis jodid, sexvärdig krom som bikromat och perklorat.

Anjonbytaranläggningen sattes i drift 16 januari 2009. Avstängning av hela anläggningen skedde den 7 oktober 2009. Det innebär att anläggningen var i drift i totalt 265 dagar. Massan regenererades med koksalt 1 gång/vecka från uppstart t.o.m. 5 maj. Därefter producerades dricksvatten utan regenerering, i totalt 155 dagar.

Anjonbytaranläggningen installerades efter hydroforen. Ett delflöde passerade anjonbytaranläggningen fr.o.m. uppstarten, vilket var cirka 5,7 m³/dygn. Flödet ökades till 12 m³/dygn den 3 augusti 2009.

Regenereringen var flödesbaserad och genomfördes med tillförsel av saltlösning (NaCl). Vid regenereringen stängs flödet till anjonbytarens temporärt. Ett regenereringstillfälle tog cirka 2 h. Regenerering genomfördes utifrån tillverkarens rekommendation i driftinstruktion för anläggningen. Rekommendationerna var en regenerering inställd med ett flödesintervall på 20 m³. Saknas dricksvattenreservoar behöver två parallella jonbytare vara anslutna så att alltid minst en jonbytare kan avskilja uran före distributionen. Alternativt görs regenereringen nattetid med litet flöde.

Driften av anläggningen krävde inte något större underhåll under pilotstudien. När regenerering var inställd bestod översynen av att ha övervakning över att det var tillräcklig saltmängd samt vattennivå i salttanken.

Tillsyn av anläggningen skedde i genomsnitt 1–2 gånger/vecka. Inga tekniska problem förekom när regenereringen var avstängd. En regenerering förbrukade cirka 35–40 l saltlösning. Enligt instruktioner från leverantör av anläggningen skulle det alltid finnas olösta salttabletter i tanken.

Provtagning och analys av vatten genomfördes ungefär 1 gång/månad, med start 3 februari. Analys utfördes på råvattnet, vattnet före anjonbytaranläggningen och på vattnet efter att ha passerat anjonbytaranläggningen. Vatten från de olika processleden analyserades avseende uran samt ett flertal andra vattenkemiska parametrar.

Vatten från de tre olika processleden skickades även till SSM för analys och beräkning av uran och andra radioaktiva ämnen. Detta skedde tre gånger under pilotstudien; i samband med provtagningen i februari, maj och i september. Analys- och beräkningar utfördes på uran, radium-226 samt alla alfa- och betastrålande ämnen i råvattnet, vattnet före anjonbytar-massan och vattnet efter anjonbytar-massan.

Efter avstängning genomfördes mätning av gammastrålningen utvändigt på filtret för personalstrålskydd från anjonbytaranläggningen, radonfiltret och det alkaliska filtret. Innan påbörjade mätningar så utfördes mätning av bakgrundstrålningen. Mätning genomfördes därefter cirka 1 m samt cirka 0–0,10 m från respektive filter.

Efter avstängning av anläggningen i oktober genomförde SSM omfattande analys av cirka 1 liter av anjonbytar-massan för att få kunskap om halten av uran och andra radioaktiva ämnen som bundits in i massan under drifttiden.

3.1.1 Resultat och slutsatser

Analysresultaten visar att avskiljning av uran är mycket god. Redan i de befintliga beredningsstegen i Granbergsträsks vattenverk avskiljs en viss mängd uran, typiskt 8–21 %. Med uranhalter mellan 23–37 µg/l i råvatt-net avlägsnar anjonbytaranläggningen uran till halter under 0,3 µg/l. Den undersökta anjonbytarens Dowex Marathon A avlägsnar uran från vattnet upp till 98 %. Uranhalterna i råvattnet varierar under året med en minskning i juni–julimånad eller beror minskningen på provtagnings- eller analysfel.

Olika analys- och beräkningsmetoder har använts hos SSM (alfa-, beta- och gammamätningar) jämfört med det andra ackrediterade laboratoriefö-retaget (ICP-AES och ICP-SSMS). De olika analys- och beräkningsmeto-derna som använts ger liknande resultat.

Resultatet utifrån SSM:s analys och beräkningar på råvattnet respektive utgående dricksvattnet redovisas i bilaga A.

Övriga anjonhalter i vattnet före och efter jonbytaranläggningen har också jämförts. Därvid kan skillnader observeras för klorid, vätekarbonat (som alkalinitet) och sulfat. Dessa förändringar var tydliga då jonbytarens regenererades regelbundet, men blev mycket lägre när regenereringen upphörde. Detta kan bero på att massan tar upp även dessa joner. Då rege-nerering inte görs, blir massan marginellt mera selektiv och binder pro-portionellt mera uran istället för andra anjoner, jämfört med när massan regelbundet regenereras. Vattnets kemiska sammansättning avseende uran,

pH, konduktivitet, alkalinitet, nitrat, järn, klorid och sulfat i råvattnet, vatten före och efter anjonbytaranläggningen redovisas i bilaga C.

Flödesförändringar påverkade inte uranreningseffekten. Det gick att fördubbla flödet genom jonbytaren utan att minska uranavskiljningen.

Vid mätning av gammastrålning för personalstrålskydd var bakgrundstrålningen 0,08–0,10 $\mu\text{Sv/h}$. Mätning av gammastrålningen utvändigt från respektive filter visade att samtliga filters strålning på en meters avstånd hade en strålnivå på 0,10 $\mu\text{Sv/h}$, respektive 0,20–0,30 $\mu\text{Sv/h}$ på 0,10 meters avstånd, det vill säga endast 2–3 gånger högre än bakgrunds-nivån. Gammastrålningen från samtliga filter är låga och är likvärdig nivån som en bakgrundsstrålning i allmän kontorslokal.

Någon gammastrålning från jonbytaren kunde inte detekteras. Skulle råvattnet innehålla andra radioaktiva joner än uran kan möjligtvis gammastrålning förekomma. Förhållandena och tillvägagångssätten i denna pilotstudie visar att gammastrålningen är mycket låg vid användning av anjonbytar-tekniken. Andra vattenverk skulle dock kunna ha högre bakgrunds-nivåer, beroende på råvattenförhållanden m.m.

Ytterligare gammamätningar samt analysresultat på massan redovisas i bilaga A.

3.1.2 Fortsättning av pilotstudie

Anjonbytaranläggningen sattes i drift på nytt den 5 januari 2010 med en annan slags anjonbytar-massa, 25 liter av typen Dowex 1. Detta för att undersöka om funktionen av massan är lika bra som de som testats tidigare.

Leverantören av anläggningen var HOH Vattenteknik i Malmö. Underleverantör av anjonbytar-massorna var Dow Water & Process Solutions. Dowex 1 ska också vara mycket selektiv för att uppta uranyljoner. Den teoretiska kapaciteten för att binda uranyljoner är 1,4 eq/l, se varu-informationsblad i bilaga D. Driftsflödet var cirka 5,7 m^3/dygn , anläggning var inställd på regenerering men ändrades den 13 januari för att jämföra med den första etappens försök. En regenerering hann därmed ske.

Avstängning av hela anläggningen skedde den 23 april 2010. Det innebär att anläggningen var i drift i totalt 109 dagar, varav 101 dagar utan regenerering.

Provtagning och analys av vatten genomfördes ungefär 1 gång/månad, med start 19 januari. Analys utfördes på råvattnet, vattnet före anjonbytaranläggningen och på vattnet efter att ha passerat anjonbytaranläggningen. Vatten från de olika processleden analyserades avseende uran och konduktivitet, se bilaga C för analysresultat.

Analysresultaten som genomförts visar en mycket god avskiljning av uran, likvärdig som Dowex Marathon A.

Efter avstängning av anläggningen i april genomförde SSM gammamätning av cirka 1 liter anjonbytar-massan före samt efter regenerering för att få kunskap om halten av uran och andra radioaktiva ämnen som bundits in i massan under driftstiden. Resultatet utifrån SSM:s gammamätningar på massan redovisas i bilaga A.

3.2 Simrishamn

Simrishamn kommun utförde analyser av uranhalt av vattnet i kommunens vattenverk mars år 2005. Vid detta tillfälle uppvisade Borrby vattenverk en uranhalt på 30 µg/l.

Simrishamns kommun försörjer via Borrby vattenverk Borrby tätort, Blåstorp och Borrby tuvor med dricksvatten. Försörjningsområdet omfattar knappt 200 abonnenter. Normalleveransen från Borrby vattenverk är cirka 34 000 m³/år. Råvattnet till Borrby vattenverk hämtas från två grundvattenbrunnar av grusfiltertyp som är placerade utanför vattenverket. Den ena brunnen är 12 m djup och den andra är 11 m djup. I bägge brunnarna är pumparna nedsatta till 10 m djup.

Råvattnets beskaffenhet

Råvattnet i Borrby är generellt av god hygienisk kvalitet men innehåller järn och mangan i sådan omfattning att behandling är nödvändig. Vattnet är hårt med en hårdhet på 24°dH.

I tabell 3-2 redovisas vattnets typiska beskaffenhet i råvattnet och i berett vatten på utgående ledning från vattenverket.

Tabell 3-2 Typisk beskaffenhet på råvatten och berett vatten, Borrby vattenverk.

Analysparametrar	Råvatten	Utgående från vattenverk
Turbiditet, FNU	100	0,13
Färg, mg/l Pt	35	<5
Kalcium, mg/l		160
Magnesium, mg/l		6,8
Järn, mg/l	14	<0,05
Mangan, mg/l	0,37	<0,02
Hårdhet total, °dH		24

Beredningen av dricksvatten i Borrby vattenverk görs i två parallella filter, ett öppet och ett slutet, för reduktion av järn- och manganhalterna. Vattnet genomgår kontinuerlig desinfektion genom dosering av natriumhypoklorit. Någon avhärdning sker inte. Berett vatten avrinner till lågreservoaren som därifrån pumpas med högtryckspumpar ut på distributionsnätet.

Vattnet i Borrby är kalkrikt varför vi gemensamt i projektet tyckte det skulle vara intressant att undersöka hur en membranläggning påverkade vattnet gällande uranhalt samt övriga vattenkvalitetsparametrar. Membranseparation är intressant eftersom också andra joner avskiljs i anläggningen, till exempel kalcium.

Den 11 november år 2008 installerades en membranläggning typ RO400 från HOH Vattenteknik med omvänd osmosmembran på vattenverket i Borrby. Försöket genomfördes utan tillsats av belägningshämmare, vilket vanligen behöver användas i fullskaledrift för att förhindrar att kalcium och sulfat fälls ut på membranet. Anläggningen hade en uppstartsfas, därefter togs den första provtagningen av vattnet 2009-02-18. Vatten för provtagningen togs på råvattnet samt både före och efter att vattnet passerade filteranläggningen.

I samband med första provtagningen februari 2009 skickades vatten från de olika processleden till SSM för analys och beräkning av uran och andra radioaktiva ämnen.

3.2.1 Resultat och slutsatser

Omvänd osmos fungerar utmärkt för att avskilja uranjoner från vatten. Initialt gjordes konduktivitetsmätningar av permeatet, som visade att dess konduktivitet minskade kraftigt till mindre än 20 mikrosiemens/cm, vilket visar på en avskiljning av mer än 95 % uran. På grund av hårdheten är det viktigt att endera dosera beläggningshämmare före omvänd osmosanläggningen eller att sätta in avhårdning för att minska kalktillförseln till membranet. Vid försök utan beläggningshämmare visade sig membranet sätta igen kraftigt inom 3–4 veckors drift. Men avskiljningen med omvänd osmos fungerade väl fram till dess.

Beläggningshämmare som används för dricksvattenproduktion måste vara godkända av Livsmedelsverket. I bilaga 1 till dricksvattenföreskrifterna (SLV FS 2001:30) redovisas vilka beläggningshämmare som för närvarande är godkända som processkemikalier för användning vid dricksvattenberedning. Där anges också aktuella maximalt tillåtna doser. Det kan sägas att dessa är generöst satta i relation till vilken beläggningshämmardos som normalt brukar behöva användas.

Resultat avseende SSM:s analyser redovisas i bilaga A.

4 Andra erfarenheter från Sverige

4.1 Östersund

Östersunds kommun har sedan februari 2007 behandlat dricksvatten med ett adsorptionsfilter på Lillsjöhögens vattenverk för att avlägsna uran från vattnet.

Adsorptionsfiltret Uranex från leverantör Krüger används. Uranex bygger på adsorption som är specifik för uran. Ingen regenerering av filter sker, utan när filtret är mättat eller processen har stoppats på grund av risk för uppkomst av farliga stråldoser måste filtret bytas ut mot nytt material (Öhlund 2007).

Vattnet till verket tas från ett område där berggrunden består av grovkornig gnejsgranit och diabas. Vattenföringen är i sprickzonerna i dessa bergarter, framför allt i diabas, på ett djup mellan 80–120 m. Driftsflödet är cirka 15 m³/dygn och försörjer cirka 60 personer.

Råvattnets beskaffenhet

Analysen på råvattnet till Lillsjöhögens vattenverk görs sällan utan främst finns data för utgående dricksvatten. I tabell 4-1 redovisas vattnets typiska beskaffenhet i råvattnet och i berett vatten på utgående ledning från vattenverket. Råvattenanalyserna baseras på ett fåtal mätningar.

Tabell 4-1 Typisk beskaffenhet på råvatten och berett vatten, Lillsjöhögens vattenverk.

Analysparametrar	Råvatten	Utgående från vattenverk
Turbiditet, FNU	0,19	<0,10
Färg, mg/l Pt	<5	<5
Kalcium, mg/l	60	50
Magnesium, mg/l	1,9	2
Järn, mg/l	<0,010	<0,010
Mangan, mg/l	<0,002	<0,002
Hårdhet total, °dH	9	7,5

Reningsstegen i Lillsjöhögens vattenverk utgörs av radonstripper, järn- och manganfilter, adsorptionsfilter och UV-desinfektion.

Innan någon uranrening på vattenverket hade installerats var uranhaltarna i råvattnet mellan 90–180 µg/l och i dricksvattnet ungefär lika höga. Sedan adsorptionsfiltret installerades har uranhaltarna efter reningsstegen varierat mellan mindre än 0,05 µg/l upp till 0,9 µg/l. Avskiljningen av uran är mycket god vid användandet av filtret.

November 2008 mätte Östersunds kommun strålningen från Uranex-filtret i Lillsjöhögens vattenverk. På en meters avstånd var resultatet lika med bakgrundsstrålningen. De fick däremot ett något förhöjt värde från järn- och manganfiltret, vilket visade cirka 0,5 µSv/h. Detta beror troligen på att radium-226 har fastnat i filtret och att sönderfallsprodukter (radon och radondöttrar) har bildats.

Mikroorganismer verkar kunna tillväxa i Uranexfiltret. Vid mätningar i december kunde en ökning av 3d totalantal mikroorganismer indikeras i Lillsjöhögens vattenverk, från cirka 30 till mer än 300. Kanske sker samma anrikning av organiskt material som i aktivt kolfilter, vilket kräver uppmärksamhet från driftsansvariga.

4.2 Uppsala

Problem med förekomst av förhöjda uranhalter i dricksvattnet i Uppsala kommun uppmärksammades 2002. Uppsala kommun har därefter undersökt möjligheten av att avlägsna uran genom olika metoder.

Pilottester med nanofiltrering för uranborttagning på vatten från Störvreta och Björklinge har genomförts. Membranen var av modell TFC S-400 från Koch Membran Systems Inc med en membranyta på 152 m². Under testperioden var råvattenflödet 3,5 m³/h. Vidare doserades beläggningshämaren Ashland Ameroyal 363 för att minimera kalkutfällningar på membranytan.

Råvattnet i Störvreta och Björklinge har uranhalter på cirka 14 µg/l respektive cirka 49 µg/l. Efter avskiljning med membran var uranhalterna mindre än 0,5 µg/l respektive 0,6 µg/l. Avskiljningen av uran var därmed mycket god vid användandet av filtret. Under försökstiden var uranborttagningen mellan 96–99 %.

I Knutby vattenverk är nitratfilter med jonbytesmassa installerade; två stycken nitratfilter av modell Culligan Teko Ultra-Line HB-1 000 Special, med 1 000 l jonbytesmassa av modell HP 555 i vardera. Det normala vattenflödet i anläggningen är 18 m³/h och maxflödet är 25 m³/h. Regenerering genomförs med saltlösning efter en flödesvolym genom jonbytaren på 400 m³. Uranhalten i råvattnet är cirka 11 µg/l och efter passerat filtren så är uranhalten mindre än 0,5 µg/l. Filtrens avskiljning av uran är mycket god med en uranborttagning över 95 %. Jonbytarmassa kan ibland bli en grogrund för mikroorganismer. Men så var inte fallet i Knutby vid mätningar i januari 2010. Bakteriehalterna var omkring 10 CFU/ml för 3d och cirka 50 CFU/ml för 7d. Efter desinfektion med klor var uppmätta bakteriehalter nära 0 såväl för 3d som 7d.

Fördjupad redovisning av pilottesterna och dess resultat redovisas i bilaga E.

5 Slutsatser

Utifrån erfarenheter av fullskale- och pilotstudier i svenska vattenverk kan det konstateras att uranavskiljningen är mycket god för metoderna anjonbytare och membranfiltrering och att metoderna fungerar för att avlägsna uran.

Av pilotstudierna utförda i detta projekt samt tillsammans med tidigare erfarenheter i Sverige bedöms anjonbyartekniken fungera för att avlägsna uran vid olika grundvattenkvaliteter. Också adsorptionsteknik som tillämpats i Östersund fungerar väl.

Vid val av membranfiltrering vid hårt vatten krävs dock speciella driftmetoder som motverkar kalkutfällning. Detta kan göras genom tillsats av beläggningshämmare, förbehandling av vattnet genom jonbytesavhärdning, eller möjligtvis syratillsats till lågt pH (under pH 6) för att förhindra att kalk, kalciumkarbonat, fälls ut på membranen. En noggrann analys av råvattensammansättningen och hur membrantechniken påverkar jonsammansättningen behöver genomföras för varje dimensioneringstillfälle.

Om råvattnet endast har problem med höga uranhalter, bedöms anjonbytare den mest kostnadseffektiva metod att välja. För vatten där även andra joner behöver avlägsnas, bedöms membranfiltrering vara den mest kostnadseffektiva lösningen.

6 Att tänka på vid drift

Vid val av lämplig uranseparationsteknik behövs noggranna och representativa vattenanalyser av råvattnet tas fram. Helst bör uranhaltens mätas under ett helt år för att klarlägga om det sker årstidsmässiga variationer på grund av varierande grundvattennivå, olika redoxförhållanden och eventuellt varierande vattentemperatur. Såväl adsorptionsteknik, anjonbytare som membranteknik avskiljer uran till mycket låga halter. Det kan vara möjligt att behandla ett delflöde för reduktion av uran som sedan shuntas med övrigt vatten till en lämplig och tjänlig uranhalt i utgående dricksvatten.

Leverantörer behöver tillhandahålla svenskspråkiga drift- och skötselinstruktioner för anläggningen. Anvisningar på engelska med ett flertal facktermer kan vara problematiskt för dem som installerar anläggningen på plats respektive skall driva anläggningen.

Driftsledare på vattenverk med järn- och manganfilter ska ha i åtanke att vid förekomst av radium i vattnet, finns det risk för att radium fastnar och att sönderfallsprodukten radon bildas i dessa filter. I sådant fall är det därför viktigt att placera radonavsiljare som sista reningssteg.

Stora vattenflöden kan orsaka radioaktiva avlagringar i komponenter i anläggningen. En lösning på detta problem kan vara att byta ut komponenter efter viss drifttid. Tidsaspekten på hur ofta sådana byten kan vara nödvändiga beror på olika faktorer och har inte utretts närmre. Det är angeläget i allmänhet att vattnet renas från radioaktiva ämnen så att det bildas mindre aktiva avlagringar.

6.1 Spolvattenhantering

Grundinställningen för naturligt förekommande uran i låga halter är att spolvatten bör kunna ledas direkt till recipient. Argumentet för denna lösning är att naturligt förekommande uran i vattnet då bara kommer att flyttas från en vattentäkt till en annan, vilket normalt kan göras utan hinder, eftersom nettohalten i området i princip inte ändras.

Vid regenereringen av jonbytare leds i vissa fall detta regenereringsvatten till vanligt avlopp. Då följer uran och eventuellt andra radioaktiva ämnen som avskiljts i jonbytaren med avloppsvattnet. En fråga som dyker upp vid detta hanteringssätt, är var dessa ämnen hamnar i efterföljande process. I något fall har SSM observerat förhöjda halter i avloppsdiket nära vattenverk (SSI, 2005).

Uran samt andra radioaktiva ämnen är naturligt förekommande men det kan behöva undersökas om dessa ämnen ansamlas i större mängder vid regenereringar och i så fall var. Det regenererade vattnet kan i många fall gå genom avloppsreningsverk där exempelvis slamavskiljare förekommer. En frågeställning är om uran möjligen sedimenteras och hamnar i avloppsslammet. Avloppsslam bör i största möjliga omfattning återanvändas på jordbruksmark. Problem behöver inte uppstå då exempelvis det regenererade vattnet kan vara en mycket liten andel av det totala avloppsvattnet, eller om

totalhalten uran är låg i slammet. Icke desto mindre behöver denna fråga belysas före slutligt beslut om recipient. En beräkning av mängden uran som teoretiskt kan tillföras slammet kan lämpligen göras för att få en uppskattning av om uran i avloppsslam är ett problem.

7 Strålsäkerhet

Under projekttiden hade projektgruppen ett nära och mycket värdefullt samarbete med Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) för att konsultera expertkompetens i strålfysik, analysresultat och övriga viktiga aspekter som behöver belysas i uransammanhanget. Innehållet i avsnittet nedan har formulerats av SSM.

Vissa andra sönderfallsprodukter från uran-238, bland annat radium-226, kan också ha betydelse för SSM:s bedömningar och kan komma att regleras ytterligare i framtiden i ett kommande EU-direktiv. Några av dessa omnämns i SSM:s mätbilaga (bilaga A).

7.1 Stråldoser i dricksvatten

Uran filtreras ur dricksvatten för att undvika uranets kemiska och radiotoxiska effekter. Enligt Statens Livsmedelsverks föreskrift SLVFS 2001:30 om kvaliteten på dricksvatten finns ett gränsvärde avseende radioaktivitet för Total Indikativ Dos (TID) på 0,1 millisievert per år (mSv/år). En analysmetod för att kartlägga om dricksvattnet ger en stråldos överstigande 0,1 mSv/år är att göra en analys av totala alfahalten respektive totala betahalten. Om radioaktiviteten överstiger 0,1 Bq/l (alfa) respektive 1,0 Bq/l (beta) ska en nuklidspecifik analys genomföras. Livsmedelsverket kan ge råd om hur vattenverk skall göra då nuklidspecifik analys måste utföras.

7.2 Strålskydd

Strålskyddsaspekter som behöver belysas vid uranrening är strålskydd av individer ur allmänheten som konsument, personalstrålskydd för personer i arbete med vattenfilter samt strålskydd i samband med avfallshantering.

Urans sönderfallskedja innehåller bland annat radon som kan innebära strålskyddsproblem i samband med dricksvatten. Radon regleras i särskild ordning, SLVFS 2001:30.

Uranets radiotoxiska egenskaper utgör en mindre begränsning för dricksvattenkonsumtion än dess kemotoxiska, men uran och dess radioaktiva sönderfallsprodukter måste beaktas ur avfallssynpunkt då uranfilter hanteras.

7.3 Arbetsmiljö

Vid höga halter av något gammastrålände ämne i vatten kan strålmiljön behöva dokumenteras med hjälp av en utrustning som mäter gammastrålning. Enligt SSM:s föreskrift SSMFS 2008:51 (Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om grundläggande bestämmelser för skydd av arbetstagare och allmänhet vid verksamhet med joniserande strålning), behövs ingen kontinuerlig dosövervakning om årsdosen inte förväntas överstiga 1 mSv.

Med kunskap om gammastrålningen, kan beräkningar genomföras för att få uppskattning hur mycket strålning som en arbetande utsätts för, och vid behov minska strålningen. Kommunernas miljökontor liksom räddningstjänsten har tillgång till en gammamätare.

Arbetsdagarna berörs inte av filtermassans alfastrålanden ämnen så länge filtret är intakt. Särskilda försiktighetsåtgärder behöver därför vanligtvis inte vidtas. Om filtermassan behöver hanteras bedöms gängse arbetsmiljöregler (t.ex. skyddsmask och andra åtgärder såsom särskild ventilation vid damning) som huvudregel vara tillräcklig för strålskyddet.

Granbergsträskets vattenverk i Skellefteå kommun med uranhalter mellan cirka 20–40 µg/l och en anjonbytaranläggning som var i drift i 155 dagar utan regenerering, visade inga höga halter av gammastrålning utvändigt från reningsutrustningen.

7.4 Regenerering

Mätningar på jonbytesmassan i samband med pilotstudien i Skellefteå, tyder på att regenerering av massan med koksaltlösning kan reducera uranmängden ansamlad i massan till en storleksordning på 10 %. Regenerering är således av stor vikt för filterhanteringen. För redovisning av mätningar och resultat på anjonbytarmassan, se bilaga A.

7.5 Avfallshantering

Avlägsnande av spolvatten (exempelvis från regenerering eller backspolning) med uran som förekommit i vattnet på naturlig väg kan göras utan hinder.

En föreskrift om avfallshantering för naturligt förekommande radioaktiva ämnen håller på att utarbetas av SSM, som bland annat innehåller regler om friklassning för uranhaltiga produkter som deponeras på deponi. Förslaget avses att remitteras under år 2010.

Avfallsproblemet för uran i filter är begränsat för enskilda brunnar men behöver hanteras vid kommunala vattenverk då det där kan bildas större mängder uran. Om den deponerade massan har medelvärde över 10 kBq/kg (800 ppm) uran-238 kan tillstånd eller dispens från SSM behövas för deponeringen.

Det finns dock begränsad erfarenhet av deponering av vattenfilter. I dagens regelverk krävs test om lakbarheten av filter för bedömning om filter får deponeras på en soptipp för icke-farligt avfall istället för soptipp för farligt avfall. De kemiska förhållandena i vattenfilter med radioaktiva ämnen är av den typ att det är stor sannolikhet att de inte kan klassas som icke-lakbara. Deponering kan därför behöva göras på deponi för farligt avfall.

7.6 Transporter

Radioaktivt filtermaterial från vattenhantering utgör så kallad NORM (Naturally occurring radioactive material) som kan hanteras med undantag

för bestämmelserna om farligt gods om uranhalter inte överstiger 800 ppm (0,8 g/kg), det vill säga nästan 1 promille uran-238.

För avfall bestående av material med höga uranhalter gäller följande:

1. Bestämmelserna i lagen om farligt gods, ADR-S, måste följas om halten överstiger 800 ppm.
2. Naturligt uran kan, om ytan på kollit inte överstiger 5 µSv/h, transporteras som kategori UN 2910 (Radioaktivt ämne, undantaget kolli – begränsad mängd ämne) med ett relativt enkelt regelsystem. Avsändaren ska fylla i fraktsedel för farligt gods. Bestämmelserna framgår av bestämmelserna i ADR-S på Myndigheten för samhällsberedskapens hemsida.

Som noterades från pilotstudierna i Granbergsträsks vattenverk efter att anjonbytarmassan var i drift 155 dagar utan regenerering, innehöll massan 4,8 g/kg uran totalt.

Denna uranhalt skulle kräva två tillstånd enligt strålskyddslagen, dels för hanteringen och dels för transporten. Samma gäller om ett filter efter regenerering fortfarande har en halt av uran-238 överstigande 800 ppm. Såväl tillstånden som transporterna är förenade med kostnader för kommunen. Att regenerera med viss frekvens kan vara ett sätt att hålla nere uranhalten i jonbytesmassan. Eventuellt kan regenereringen också förbättras som nämns i bilaga A.

I Lillsjöhögens vattenverk i Östersund behandlas dricksvattnet med adsorptionsfiltret Uranex där ingen regenerering ska ske, utan när filtret är mättat eller processen har stoppats på grund av risk för uppkomst av farliga stråldoser ska filtret bytas ut mot nytt material. Leverantören, som i detta fall finns i Tyskland, erbjuder att ta tillbaka det använda filtret när det är aktuellt för byte. Vad för regelverk som gäller vid export för att genomföra regenerering eller byte är under utredning hos SSM.

En översiktlig bedömning av uraninnehållet i ett filter görs genom att ta hänsyn till uranhalten i råvatten och det konservativa antagandet att filtermassans kapacitet för att binda uranyljoner är 100 %. Denna bedömning bör alltid göras före transport.

7.7 Sammanfattning

Anjonbytare Dowex Marathon A och Dowex 1 renar vattnet med avseende på uran upp till ca 98 %. Regenerering innan deponering av filtret är att föredra med hänsyn till avfallsproblematiken. Vid ett försök på Granbergsträsks vattenverk regenererades jonbytaren efter 155 dagar utan regenerering och mindre än 10 % av uran med vissa sönderfallsprodukter fanns kvar i filtret. Vad som händer om filtret används igen och regenereras igen har inte undersökts.

På Borrbys vattenverk, där ett membranfilter användes, visade analyserna inga mätbara halter av uran eller andra nuklider.

Referenser

Ahlquist Marta, Ranelykke Caroline, Persson Kenneth M. (2007).

SVU Rapport nr 2007-12: Uranrening av dricksvatten. Svenskt Vatten AB, SVU. S.18–23.

SSI (Statens strålskyddsinstitut) (2005). SSI Rapport 2005:14: Mätningar av naturlig radioaktivitet i och från filter vid några vattenverk. SSI.

VA-Ingenjörerna AB (2007). Enköpings kommun Munksundets vattenverk Reduktion av uran från Grundvatten Förstudie samt Pilotförsök Slutrapport 2007-12-09. VA-Ingenjörerna AB.

Öhlund Frida (2007). Uran i dricksvatten – litteraturstudie om reningsmetoder samt pilotförsök med jonbytesteknik. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för markkemi och jordmånslära. (Examens- och seminariearbeten Nr 80).

Strålsäkerhetsmyndighetens mätningar

Uranets sönderfallsprodukter

Uranhalter i råvatten från borrade brunnar är normalt mer än 100 gånger högre än radiumhalter. Radium kan emellertid ibland ge upphov till beläggningar i rörsystem. Några andra långlivade radondöttrar är polonium-210 och bly-210. Dessa kan förekomma om det är förhöjda halter av radon i vattnet. De behandlas inte ingående här, men kan komma att regleras senare i ett kommande EU-direktiv.

SSM hade från början ett mer allmänt intresse av reningsprocessen så som förekomsten av andra nuklider än uran och av avfallsproblematiken. De uranmätningar som presenteras i tabellerna A-1-A-5 har tillkommit och utökats efterhand och en del slutsatser är därför mer hypotetiska och kvalitativa.

Mätningarna är utförda på SSM:s laboratorier.

Råvattnet och utgående vatten

Granbergsträsk vattenverk, Skellefteå kommun

Råvattnet i Granbergsträsk vattenverk visade förhöjda halter av totala betahalten respektive totala alfahalten, vilket innebär att nuklidspecifika analyser behövde göras. Den förhöjda betahalten kommer från en del radondöttrar och den förhöjda alfahalten kommer från urannukliderna. Efter en fungerande rening av vattnet (efter anjonbytaranläggningen) visade analyser och beräkningar på låg radioaktivitet i det utgående dricksvattnet. Halten av totala alfa- och betastrålade ämnen samt radium-226 var under dagens gränsvärde för tjänligt dricksvatten (SLVFS 2001:30).

Borrby vattenverk, Simrishamn kommun

SSM:s mätningar på uran och andra radioaktiva ämnen visade på mycket låga halter av nuklider i råvattnet, därav bedömdes inga behov finnas för fler mätningar under pilotstudien.

Analys av anjonbytesmassor – Granbergsträsk vattenverk

Anjonbytar massa Dowex Marathon A (Filter nr 1) och Dowex 1 (Filter nr 2)

Filter nr 1

Det genomfördes gammamätning på en del av filtermassan (ca 1 liter) innan regenerering, efter att massan varit i drift i 265 dagar varav 155 dagar utan regenerering.

1 l jonbytare väger ca 0,7 kg, total mängd 25 l motsvarar ca 18 kg.

Efter att massan varit i drift i 265 dagar, varav 155 dagar utan regenerering, uppmättes ca 59 000 Bq/kg av vardera uran-238 och uran-234 samt ca 3 000 Bq/kg av uran-235 (se tabell A-1). Summa uranaktivitet (U-238 + U-234 + U-235) i 1 kg filtermassa uppmättes till ca 120 kBq/kg som motsvarar en totalaktivitet från 18 kg på 2 MBq (från framför allt U-238 och U-234).

Detta ger 4,8 g uran/kg (nästan enbart från U-238), d.v.s. mellan 80–90 g uran totalt i filtret innan regenerering. Det är dubbelt så mycket som förväntas utifrån den mängd vattenvolym som har passerat filtret och de vattenanalyser på uranhalten som gjorts under försöksperioden, av både SSM och Alcontrol. Slutsatsen är att provmassan som har analyserats sannolikt inte är representativt, och att uranet i större utsträckning fastnar i den övre delen av filtret. (Det kan inte helt uteslutas att uranhalten i råvattnet har varit högre mellan provtagningarna.)

Gammamätning utfördes på en del av massan som utsatts för regenerering efter att massan varit i drift i 265 dagar varav 155 dagar utan regenerering. Efter regenerering fanns det mellan 5–10 % kvar av dessa urannuklider i provet som SSM analyserade (se tabell A-2), men det finns en osäkerhet i om det är samma förhållande i hela filtret.

Slutsatser från arbetet med Filter nr 1:

- Regenerering är värdefullt och tar bort största delen av uranet, i storleksordningen 90 %.
- Kan inte göra exakt uttalande om regenereringens effektivitet, bl.a. på grund av osäkerheterna.

Tabell A-1 och A-2 visar resultaten från gammamätningar på filter nr 1.

Tabell A-1 Gammastrålning från anjonbytarmassa Dowex Marathon A före regenerering på totalt 25 l.

	U-238 ¹ Bq/kg	± %	U-238 ² Bq/kg	± %	U-235 Bq/kg	± %
Medelvärde på tre analyser	58 667	3	63 667	16	3 050	2
Beräknad U-234 halt ³	ca 59 000					

Tabell A-2 Gammastrålning från anjonbytarmassa Dowex Marathon A efter regenerering på totalt 25 l.

	U-238 ¹ Bq/kg	± %	U-238 ² Bq/kg	± %	U-235 Bq/kg	± %
Medelvärde på tre analyser	4 850	4	4 450	16	188	3
Beräknad U-234 halt ³	ca 4 900					

¹ Utvärdering via Pa-234m och antagande om jämvikt i provet

² Utvärdering via Th-234 och antagande om jämvikt i provet

³ Antagande om jämvikt i provet

Filter nr 2

Gammamätningar har även gjorts före och efter regenerering på filtermassa Dowex 1, efter att massan varit i drift i 109 dagar varav 101 dagar utan regenerering.

De två proven (före omrörning av filtermassa), före och efter regenerering, visar på samma grad av effektivitet på regenerering, ca 95 %, som filter 1. Mindre än 10 % av uran återstår i proven. Samtidigt antar SSM att uranet inte sitter homogent i filtret, d.v.s. att proven inte representerar medelhalten i filtret, samt att regenereringsprocessen inte sker homogent i filtret. Tabellerna A-3 och A-4 visar gammastrålningen före och efter regenerering.

För att belysa uranets fördelning i filtret, analyserade SSM ett extra prov (representativt) som togs efter omrörning av hela filtermassan, efter regenerering. Gammastrålningen redovisas i tabell A-5 och visar ca 3 gånger högre uranhalt än det första regenererade (med antagande icke-representativa), från tabell A-4.

Slutsatser från filter nr 2:

- En jämförelse med råvatten (30 µg uran/liter, och 624 m³ vatten) ger ca 18 g eller 1 g/kg filtermassa. Det analyserade provet från övre delen av filtret var 3 (2,9) gånger så högt. Det antas då (med samma förbehåll som ovan för råvattenvariationer) att urankoncentrationer är högst i övre delen av filtret, d.v.s. den del som först möter råvattnet.
- Jämförelsen mellan de två proven på regenererad filtermassa i tabell A-4 och A-5 visar på en osäkerhet om var uranet fastnar i filtret, d.v.s. det kan antas att även regenereringen leder till en ojämn uranfördelning i filtret, eventuellt även med omfördelning, så att den nedre delen av filtret inte är helt regenererad. Det förmodas då att regenereringen inte har varit fullständig. Osäkerheten avseende regenereringens effektivitet är större för filter 1 än 2.

Tabell A-3 Gammastrålning från anjonbytarmassa Dowex 1 före regenerering.

	U-238 ¹ Bq/kg	± %	U-238 ² Bq/kg	± %	U-235 Bq/kg	± %
Medel på tre analyser	35 300	3	43 000	16	2 070	2
Beräknad U-234 halt ³	ca 36 000					

Tabell A-4 Gammastrålning från anjonbytarmassa Dowex 1 efter regenerering, inhomogent prov.

	U-238 ¹ Bq/kg	± %	U-238 ² Bq/kg	± %	U-235 Bq/kg	± %
Medel på två analyser	1 535	4	1 575	16	166	3
Beräknad U-234 halt ³	ca 1 600					

Tabell A-5 Gammastrålning från anjonbytarmassa Dowex 1 efter regenerering, homogent prov.

	U-238 ¹ Bq/kg	± %	U-238 ² Bq/kg	± %	U-235 Bq/kg	± %
Medel på två analyser	4 640	6	4 560	16	266	3
Beräknad U-234 halt ³	ca 4 700					

¹ Utvärdering via Pa-234m och antagande om jämvikt i provet

² Utvärdering via Th-234 och antagande om jämvikt i provet

³ Antagande om jämvikt i provet

Varuinformationsblad Dowex Marathon A

Product Information



DOWEX™ MARATHON™ A

A Uniform Particle Size, High Capacity, Strong Base Anion Exchange Resin for
Demineralization Applications

Product	Type	Matrix	Functional group
DOWEX™ MARATHON™ A	Type I strong base anion	Styrene-DVB, gel	Quaternary amine

Guaranteed Sales Specifications		Cl ⁻ form	OH ⁻ form
Total exchange capacity, min.	eq/L kgr/ft ³ as CaCO ₃	1.3 28.4	1.0 21.9
Water content	%	50 - 60	60 - 72
Uniformity coefficient, max.		1.1	1.1

Typical Physical and Chemical Properties		Cl ⁻ form	OH ⁻ form
Mean particle size†	µm	575 ± 50	610 ± 50
Whole uncracked beads	%	95 - 100	95 - 100
Total swelling (Cl ⁻ → OH ⁻)	%	20	20
Particle density	g/mL	1.08	1.06
Shipping weight, approx.	g/L	670	640
	lbs/ft ³	42	40

Recommended Operating Conditions

- Maximum operating temperature:
 - OH⁻ form 60°C (140°F)
 - Cl⁻ form 100°C (212°F)
- pH range 0 - 14
- Bed depth, min. 800 mm (2.6 ft)
- Flow rates:
 - Service/fast rinse 5 - 60 m/h (2 - 24 gpm/ft²)
 - Backwash See figure 1
 - Co-current regeneration/displacement rinse 1 - 10 m/h (0.4 - 4 gpm /ft²)
 - Counter-current regeneration/displacement rinse 5 - 20 m/h (2 - 8 gpm /ft²)
- Total rinse requirement 3 - 6 Bed volumes
- Regenerant:
 - Type 2 - 5% NaOH
 - Temperature Ambient or up to 50°C (122°F)
for silica removal

† For additional particle size information, please refer to Particle Size Distribution Cross Reference Chart (Form No. 177-01775).

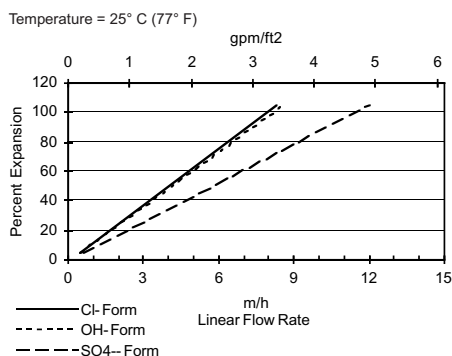
Typical Properties and Applications

DOWEX™ MARATHON™ A anion exchange resin is specifically designed to give high throughput and economical operation in primary demineralizer beds. Because of its uniform particle size, this resin offers a number of economic advantages over conventional (polydispersed) resins. The small uniform bead size of DOWEX MARATHON A resin results in rapid exchange kinetics during operation, more complete regeneration of the resin, and faster, more thorough rinse following regeneration. It can be used for all types of water but especially for waters that have a high percentage of silica and carbon dioxide.

Packaging

25 liter bags or 5 cubic feet fiber drums

Figure 1. Backwash Expansion Data

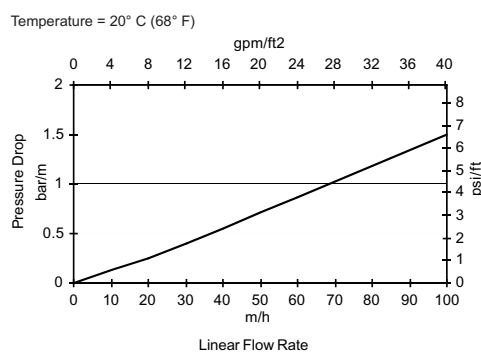


For other temperatures use:

$$F_T = F_{77°F} [1 + 0.008 (T_F - 77)], \text{ where } F \equiv \text{gpm/ft}^2$$

$$F_T = F_{25°C} [1 + 0.008 (1.8T_C - 45)], \text{ where } F \equiv \text{m/h}$$

Figure 2. Pressure Drop Data



For other temperatures use:

$$P_T = P_{20°C} / (0.026 T_C + 0.48), \text{ where } P \equiv \text{bar/m}$$

$$P_T = P_{68°F} / (0.014 T_F + 0.05), \text{ where } P \equiv \text{psi/ft}$$

Note: These resins may be subject to drinking water application restrictions in some countries: please check the application status before use and sale.

DOWEX™ Ion Exchange Resins

For more information about DOWEX resins, call the Dow Water Solutions business:

North America: 1-800-447-4369
 Latin America: (+55) 11-5188-9222
 Europe: (+32) 3-450-2240
 Pacific: +60 3 7958 3392
 Japan: +81 5460 2100
 China: +86 21 2301 9000
<http://www.dowex.com>

Warning: Oxidizing agents such as nitric acid attack organic ion exchange resins under certain conditions. This could lead to anything from slight resin degradation to a violent exothermic reaction (explosion). Before using strong oxidizing agents, consult sources knowledgeable in handling such materials.

Notice: No freedom from any patent owned by Seller or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuring that Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Seller assumes no obligation or liability for the information in this document. NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.



Granbergsträsks vattenverk

– Vattnets kemiska sammansättning

Tabell C-1 Vattnets kemiska sammansättning i råvattnet, före vattnet passerat anjonbytarfilter samt efter vattnet passerat anjonbytarfilter (Dowex Marathon A).

Datum	Processsteg	Uran-238 µg/l	pH ---	Konduk- tivet mS/m 25°C	Alkalini- tet mg/l HCO ₃ ⁻	Nitrat mg/l	Järn mg/l	Klorid mg/l	Sulfat mg/l
2009-02-03	Råvatten	31	6,7	18	50	10	<0,01	15	7,6
	Före	27	8,1	19	59	10	<0,01	15	7,4
	Efter	0,08	5,8	22	1,2	<2,2	<0,01	60	<1,0
2009-03-03	Råvatten	28	6,8	18	50	9,7	0,037	14	7,5
	Före	28	8	19	66	10	<0,01	15	8,2
	Efter	0,16	6,6	22	8,5	4,9	<0,01	53	<1,0
2009-03-31	Råvatten	37	6,8	18	55	9,7	<0,01	15	8
	Före	30	8	19	61	10	<0,01	16	8,1
	Efter	0,27	6,9	22	21	4,4	<0,01	55	<1,0
2009-05-05	Råvatten	24	6,9	15	42	8,9	<0,01	9,9	7,2
	Före	26	8	17	57	8,9	<0,01	11	7,5
	Efter	0,05	7,4	20	17	8	<0,01	44	<1,0
2009-06-02	Råvatten	11	6,7	15	49	8,9	0,038	11	7,3
	Före	21	7,9	17	57	9,3	<0,01	11	7,5
	Efter	<0,01	8	17	59	10	<0,01	11	5,9
2009-06-30	Råvatten	13	6,8	12	40	8,4	0,025	6,3	6,7
	Före	26	8	16	58	8	<0,01	10	7,2
	Efter	0,01	8	16	56	8	<0,01	10	7,7
2009-08-03	Råvatten	34	6,7	14	49	8,9	0,021	10	7,5
	Före	27	8,1	16	58	8,4	0,021	10	7,4
	Efter	<0,01	8	16	53	9,3	0,018	11	8,1
2009-09-01	Råvatten	36	6,9	15	44	8	<0,01	10	7,4
	Före	30	8,1	16	54	8	<0,01	10	7,3
	Efter	<0,01	8,1	16	52	8	<0,01	10	7,7
2009-10-05	Råvatten	33	6,8	16	53	8	0,02	10	7,3
	Före	-	-	-	-	-	-	-	-
	Efter	<0,01	7,9	17	60	8	<0,01	10	7,6

Tabell C-2 Vattnets kemiska sammansättning i råvattnet, före vattnet passerat anjonbytarfilter samt efter vattnet passerat anjonbytarfilter (Dowex 1).

Datum	Processteg	Uran-238 µg/l	Konduktivitet mS/m 25°C
2010-01-19	Råvatten	28	16
	Före	26	17
	Efter	<0,01	17
2010-02-15	Råvatten	30	16
	Före	29	18
	Efter	0,02	18
2010-03-16	Råvatten	30	17
	Före	29	-
	Efter	0,011	17
2010-04-14	Råvatten	27	16
	Före	31	18
	Efter	<0,01	18

Varuinformationsblad Dowex 1

Product Information



DOWEX™ 1

High Capacity Strong Base Anion Exchange Resin for Regenerable and Non-Regenerable Applications

Features

- Selective removal of uranium, perchlorate, hexavalent chrome and iodine.
- Non-selective removal of common anions such as nitrate, sulfate and chloride.
- NSF/ANSI 61 approved for drinking water.

Product	Type	Matrix	Functional group
DOWEX™ 1	Type I strong base anion	Styrene-DVB, gel	Quaternary amine

Guaranteed Sales Specifications		Cl ⁻ form
Total exchange capacity, min.	eq/L kgr/ft ³ as CaCO ₃	1.4 30.6
Water content	%	43 - 48
Bead size distribution [†]		
> 1,200 µm, max. (16 mesh)	%	2
< 300 µm mm, max. (50 mesh)	%	1
Whole uncracked beads, min.	%	90
Crush strength		
Average, min.	g/bead	350

Typical Physical and Chemical Properties		Cl ⁻ form
Particle density	g/mL	1.10
Shipping weight	g/L lbs/ft ³	705 44

Recommended Operating Conditions

- Maximum operating temperature:
OH⁻ form 60°C (140°F)
Cl⁻ form 100°C (212°F)
- pH range 0 - 14
- Bed depth, min. 450 mm (1.5 ft)
- Service flow rate 15 - 20 BV/hr
- Non-selective nitrate service regenerant:
Type 7 - 10% NaCl
Temperature Ambient or up to 50°C (122°F)

[†] For additional particle size information, please refer to Particle Size Distribution Cross Reference Chart (Form No. 177-01775)

Typical Properties and Applications

DOWEX™ 1 resin is a high quality anion resin with very good mechanical and chemical resistance. It meets NSF/ANSI Standard 61 for use in drinking water.

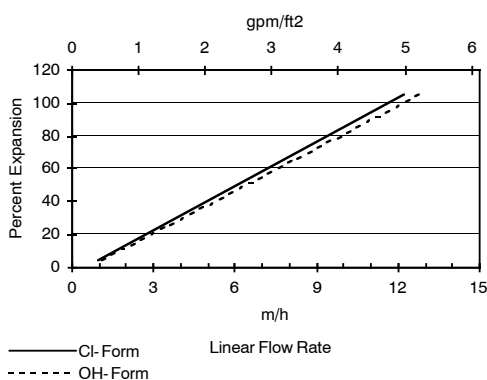
Uranium, perchlorate and hexavalent chrome bind very tightly to DOWEX 1, so regeneration results in significant volumes of waste. Dow recommends disposal of the resin once it is loaded.

Packaging

5 cubic foot fiber drums and 1,000 liter super sack

Figure 1. Backwash Expansion Data

Temperature = 25° C (77° F)



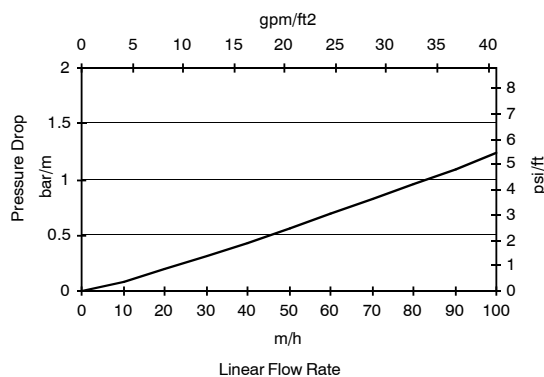
For other temperatures use:

$$F_T = F_{77^\circ\text{F}} [1 + 0.008 (T_{\circ\text{F}} - 77)], \text{ where } F = \text{gpm/ft}^2$$

$$F_T = F_{25^\circ\text{C}} [1 + 0.008 (1.8T_{\circ\text{C}} - 45)], \text{ where } F = \text{m/h}$$

Figure 2. Pressure Drop Data

Temperature = 20° C (68° F)



For other temperatures use:

$$P_T = P_{20^\circ\text{C}} / (0.026 T_{\circ\text{C}} + 0.48), \text{ where } P = \text{bar/m}$$

$$P_T = P_{68^\circ\text{F}} / (0.014 T_{\circ\text{F}} + 0.05), \text{ where } P = \text{psi/ft}$$

DOWEX Ion Exchange Resins
For more information about DOWEX resins, call the Dow Liquid Separations business:

North America: 1-800-447-4369
Latin America: (+55) 11-5188-9222
Europe: (+32) 3-450-2240
Pacific: +60 3 7958 3392
Japan: +813 5460 2100
China: +86 21 2301 9000

<http://www.dowex.com>

Warning: Oxidizing agents such as nitric acid attack organic ion exchange resins under certain conditions. This could lead to anything from slight resin degradation to a violent exothermic reaction (explosion). Before using strong oxidizing agents, consult sources knowledgeable in handling such materials.

Notice: No freedom from any patent owned by Seller or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuring that Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Seller assumes no obligation or liability for the information in this document. NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.



Pilotstudier i Uppsala kommun

Erfarenheter från Uppsala kommun – utanborttagning med jonbytare

Bakgrund

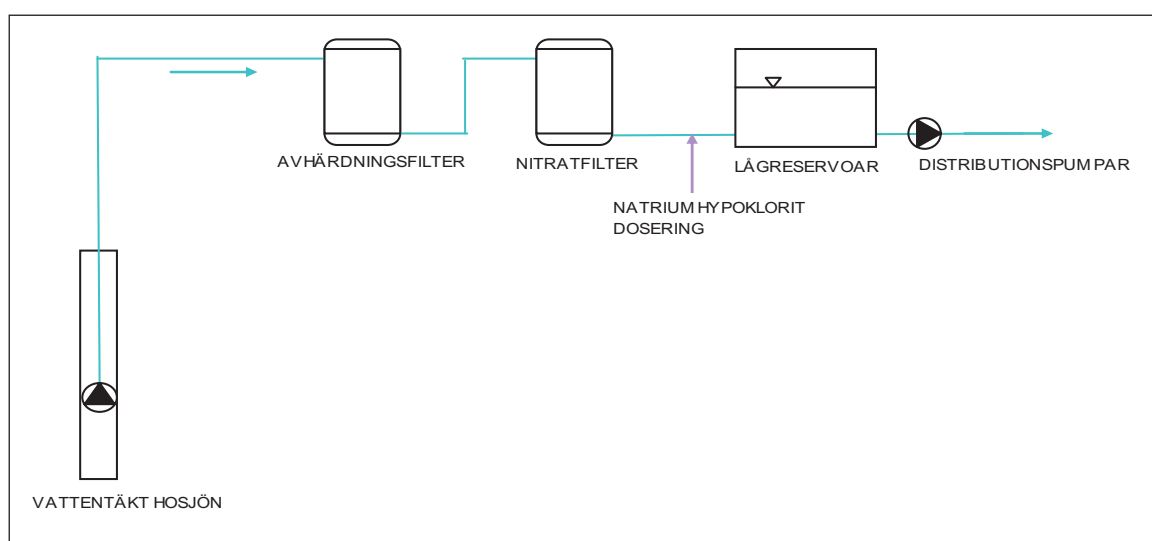
Kommunen driver Knutby vattenverk som har en produktionskapacitet av 600 m³/dygn och en behandlingsprocess med avhärdningsfilter, nitratfilter och klorering. Processen har varit i drift från och med år 2001. Eftersom nitratfiltren har en anjonmassa sker borttagning av nitrat och andra negativt laddade joner, till exempel uran-238. Borttagning av uran-238 genom nitratfiltret i Knutby vattenverk konstaterades vid den första provtagningen och analys av uran som genomfördes år 2002. Uranborttagningen har även bekräftats vid senare provtagningar.

Jonbytesfilter

I Knutby vattenverk är nitratfilter med jonbytesmassa installerade; två stycken nitratfilter av modell Culligan Teko Ultra-Line HB-1 000 Special, med 1 000 l jonbytesmassa av modell HP 555 i vardera. Anjonbytesmassan har varit i drift sedan år 2001.

Det normala vattenflödet i anläggningen är 18 m³/h och maxflödet är 25 m³/h. Regenerering genomförs med saltlösning efter en flödesvolym på 400 m³.

Ett processschema över Knutby vattenverk visas i figur E-1.



Figur E-1 Processchema för Knutby vattenverk.

Råvattnet

Råvattnet pumpas upp från Hosjöns vattentäkt som är anlagd i Hosjönåsen, vilken är en del av Stockholmsåsen. Två brunnar används, djup 9,5 m respektive 6,0 m. Brunnarnas konstruktion är rörfilterbrunnar.

I området kring vattentäkten är berggrunden sönderbruten av spricksystem i olika riktningar. Längs en av dessa sprickor har Hosjöåsen bildats. Berggrunden består huvudsakligen av diorit och leptitgnejs. Jordarterna består av isälvsmaterial eller morän. Grundvattenbildning sker huvudsakligen av infiltrerad nederbörd inom infiltrationsområden. Vid tillfällen då grundvattennivå blir lägre än sjöns vattenyta, kommer grundvattenbildningen att ske genom infiltration av vatten från sjön till åsen genom det isälvsmaterial som har direkt förbindelse med sjön.

Tabell E-1 Median-, max- och minvärden för råvattenkvaliteten till Knutby vattenverk vid uranprovtagningar.

Parameter	Enhet	Median	Min	Max
Alkalinitet	mg/l HCO_3^-	286	284	297
Kalcium	mg/l	101,5	99,7	105
Klorid	mg/l	8,3	7,1	11
COD _{Mn}	mg/l O_2	1,7	1,5	2,2
Fluorid	mg/l	0,35	0,31	0,4
Järn	mg/l	0,025	<0,02	0,025
Konduktivitet	mS/m 25°C	59	58,4	60,1
Magnesium	mg/l	8,6	8,3	9,6
Mangan	mg/l	<0,005	<0,005	<0,005
Natrium	mg/l	8,35	7,9	8,6
Ammoniak	mg/l	<0,04	<0,04	<0,04
Nitrit	mg/l	<0,007	<0,007	<0,007
Nitrat	mg/l	25	23	25
pH	---	7,4	7,3	7,4
Sulfat	mg/l	55	49	63
Temperatur	°C	6,5	6	7,5
Turbiditet	FNU	0,1	<0,1	0,29
Färg	mg/l Pt	7,5	<5,0	7,5
Uran-238	µg/l	11	9,7	11,9

Resultat

Tabell E-2 Median-, max- och minvärden för vattenkvaliteten efter nitratfilter och avhärtningsfilter på Knutby vattenverk vid uranprovtagningar. Uranprovtagning har utförts vid fyra tillfällen, 1 gång 2002, 2 gånger 2009 och 1 gång 2010.

Parameter	Enhet	Median	Min	Max
Alkalinitet	mg/l HCO_3^-	333,5	289	358
Kalcium	mg/l	22,6	6,3	44,9
Klorid	mg/l	20,5	9,8	26
COD _{Mn}	mg/l O_2	<1,0	<1,0	<1,0
Fluorid	mg/l	0,395	0,38	0,41
Järn	mg/l	<0,02	<0,02	<0,02
Konduktivitet	mS/m 25°C	59,1	51,2	61,8
Magnesium	mg/l	4,85	<2	10,9
Mangan	mg/l	0,005	<0,005	0,1
Natrium	mg/l	107,45	69,4	139
Ammoniak	mg/l	<0,04	<0,04	<0,04
Nitrit	mg/l	<0,007	<0,007	<0,007
Nitrat	mg/l	3	2,6	3,6
pH	---	7,45	7,4	7,5
Sulfat	mg/l	16	5,8	61
Temperatur	°C	6,5	6	7,5
Turbiditet	FNU	<0,1	<0,1	<0,1
Färg	mg/l Pt	5,0	<5,0	5,0
Uran-238	µg/l	<0,5	0,0377	<0,5

Borttagning av uran-238 var över 95 % baserad på provtagningarna.

Erfarenheter från Uppsala kommun – uranborttagning med nanomembranfiltrering

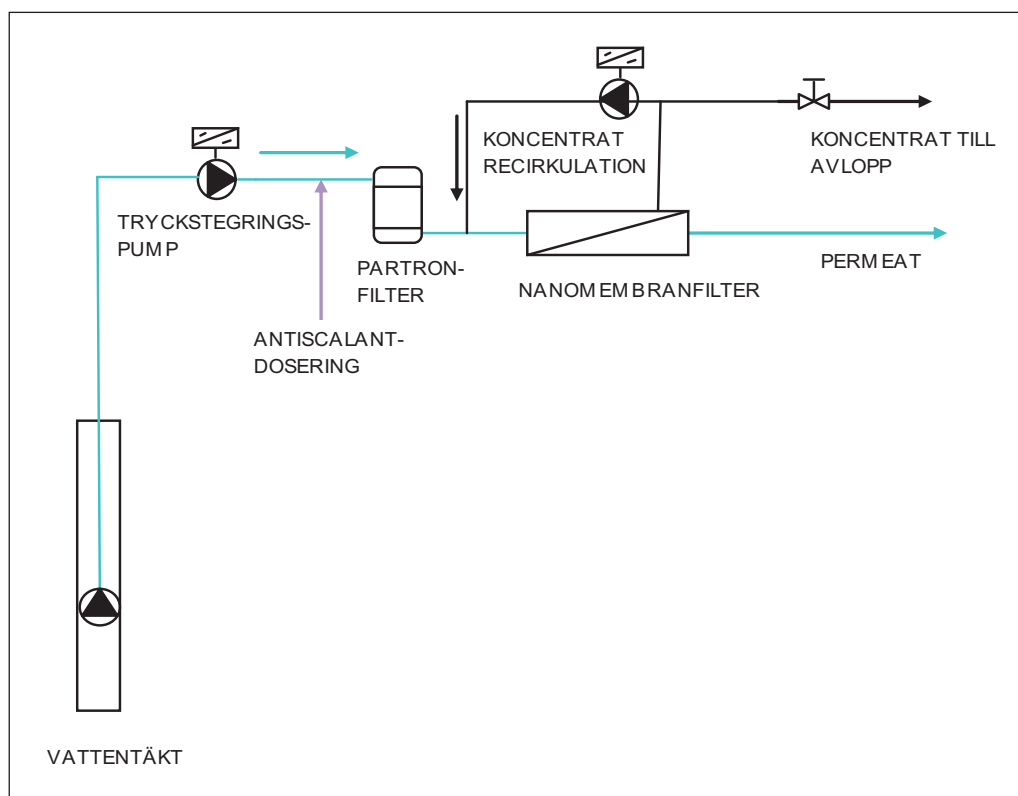
Bakgrund

Uppsala kommun har genomfört tester i pilotskala av nanofiltrering för uranborttagning på vatten från Störvreta och Björklinge under en sammanlagd drifttid på 197 dagar. Målet var att undersöka möjligheterna att åstadkomma en bättre vattenkvalitet när det gäller vattnets hårdhet samtidigt som uranhalten sänks till tillfredsställande nivåer.

Pilotanläggningen

Pilotanläggningen, som levererades av Björksrostfria AB, bestod av fyra seriekopplade 8-tums membran med koncentratrecirkulation. Membranen var av modell TFC S-400 från Koch Membran Systems Inc. med en membranarea på 152 m². Under testperioden var råvattenflödet 3,5 m³/h samt en dosering med antikoagulationsämnet Ashland Ameroyal 363 (1,2 g/cm³, pH 6,5).

Ett processschema över nanomembranfilteranläggningen visas i figur E-2. Bilder på pilotanläggningen visas på sida 10 och 11 (Bild E-1-E-4).



Figur E-2 Processchema över nanomembranpilotanläggning.

Storvreta

Råvattnet

Råvattnet till pilotanläggningen pumpades från två brunnar vid Kull-Gränby och Östa vattentäkter. Brunnarna är anlagda i Vattholmaåsen som på den aktuella sträckan följer Fyrisåns dalgång. En infiltrationsanläggning vid Husby hjälper till att hålla grundvattennivå uppe genom att pumpa vatten in från Fyrisån upp till Vattholmaåsen. Hela Vattholmaåsen är hydrauliskt sammanhängande och i förlängningen står den också i förbindelse med Uppsala-åsen.

Åsen, som huvudsakligen består av sandigt och grusigt material, sträcker sig under den omgivande leran. Vissa partier med morän finns också i åsens närhet. Grundvattenbildningen inom infiltrationsområden sker till störst delen i åsen och i moränområdena.

Brunnen vid Kull-Gränby är 17,5 m djup och brunnskonstruktionen är en rörbrunn med formationsfilter. Vid Östa är brunnsdjupet 10,3 m och brunnens konstruktion är en grusfilterbrunn.

Tabell E-3 Median-, max och minvärden för råvattenkvaliten till pilotanläggning i Storvreta under försökstiden.

Parameter	Enhet	Median	Min	Max
Alkalinitet	mg/l HCO_3^-	298	292	304
Kalcium	mg/l	95,5	91,6	97,8
Klorid	mg/l	18	16	19
COD _{Mn}	mg/l O_2	1,2	1	1,2
Fluorid	mg/l	0,36	0,34	0,44
Järn	mg/l	0,03	<0,02	0,082
Konduktivitet	mS/m 25°C	57,1	53,8	58,4
Magnesium	mg/l	8,2	7,9	8,6
Mangan	mg/l	0,006	<0,005	0,011
Natrium	mg/l	11,4	10,7	12
pH	---	7,3	7,3	7,4
Sulfat	mg/l	22,5	21	25
Turbiditet	FNU	0,28	0,26	0,29
Färg	mg/l Pt	7,5	5	10
Uran-238	µg/l	14	12	15

Råvattnet var klorerat med natriumhypoklorit 0,05 mg/l Cl_2 innan pumpning till pilotanläggningen. Efter försöket i Storvreta visade det sig att pilotmembranen hade skadats av det klorhaltiga vattnet.

Pilotstudier

Pilotstudierna pågick i 118 dagar från och med 2009-04-17 till och med 2009-08-13. Två driftsfall testades:

Fall 1 – råvattenflöde 3,5 m³/h och 80 % permeatutbyte under cirka 18 dagar från och med 2009-04-17 med två provtagningar. Membrantrycket var mellan 5,3 och 5,8 bar. Ingen membrantvätt eller patronfilterbyte utfördes.

Fall 2 – råvattenflöde 3,1 m³/h och 90–94 % permeatutbyte under cirka 100 dagar från och med 2009-05-05 med nio provtagningar. Membrantvättning utfördes 2009-05-20 på grund av högtryckfall genom membranen där membrantryck nådde cirka 7,0 bar. Efter tvättning var membrantrycket stabilt mellan 5,3 och 6,0 bar. Membrantvätt utfördes igen 2009-06-22 när membrantrycket uppnådde 6 bar. Ett patronfilter byttes 2009-07-27.

Resultat

Tabell E-4 Medianvärden för permeatvattenkvaliteten efter nanomembranpilotanläggning i Störvreta under försökstiden.

Parameter	Enhet	80 % permeatutbyte Median	90 % permeatutbyte Median
Alkalinitet	mg/l HCO ₃ ⁻	52,6	107
Kalcium	mg/l	16,3	32,4
Klorid	mg/l	7,3	11,5
COD _{Mn}	mg/l O ₂	<1,0	<1,0
Fluorid	mg/l	<0,20	0,21
Järn	mg/l	<0,02	<0,02
Konduktivitet	mS/m 25°C	14,1	23,7
Magnesium	mg/l	<2	2,4
Mangan	mg/l	<0,005	<0,005
Natrium	mg/l	6,4	8,6
pH	---	6,5	6,9
Sulfat	mg/l	<3,0	<3,0
Turbiditet	FNU	<0,10	0,11
Färg	mg/l Pt	7,5	6,1
Uran-238	µg/l	<0,5	<0,5

Borttagning av uran-238 var under försökstid över 96 %. Som framgår av tabell E-4 var halten uran-238 stabil i permeatvattnet trots att alkalinitet- och kalciumjonhalter i permeatet steg cirka 100 % när permeatutbytet justerades från 80 % till 90 %.

Tabell E-5 Median-, max- och minvärden för vattenkvaliteten för koncentratvatten från nanomembranpilotanläggning i Störvreta under försökstiden.

Parameter	Enhet	Median	Min	Max
Alkalinitet	mg/l HCO_3^-	1 970	1 170	2 160
Kalcium	mg/l	627,5	395	693
Klorid	mg/l	68	42	87
COD _{Mn}	mg/l O_2	7,9	5,8	11
Fluorid	mg/l	1,5	0,61	2,3
Järn	mg/l	0,02	<0,02	0,021
Konduktivitet	mS/m 25°C	273,5	180	303
Magnesium	mg/l	59	34,8	60,5
Mangan	mg/l	<0,005	<0,005	<0,005
Natrium	mg/l	34,05	25,3	37,8
pH	---	7,8	7,7	7,9
Sulfat	mg/l	200	120	230
Turbiditet	FNU	0,24	<0,1	0,57
Färg	mg/l Pt	22,5	15	30
Uran-238	µg/l	130	75	150

Som framgår av tabell E-5 ökade halten av uran-238 från 75 µg/l till 150 µg/l i koncentratvattnet som förväntat när koncentratvattenflödet minskades, d.v.s. när permeatutbytet justerades från 80 % till 90 %.

Björklinge

Råvattnet

Råvattnet pumpades upp från två brunnar vid Sandvikens vattentäkt. Vattentäkten är en grundvattenakvifär där bergrunden består huvudsakligen av granit som är genomskuren av flera spricksystem. Berget är täkt av tunna lager morän.

Brunnarnas djup är 11,0 m och brunnskonstruktion är en rörbrunn med formationsfilter.

Tabell E-6 Median-, max- och minvärden för råvattenkvaliteten till pilotanläggning i Björklinge under försökstiden.

Parameter	Enhet	Median	Min	Max
Alkalinitet	mg/l HCO_3^-	320	317	327
Kalcium	mg/l	110	106	114
Klorid	mg/l	53	49	55
COD _{Mn}	mg/l O_2	<1,0	<1,0	<1,0
Fluorid	mg/l	1,1	1	1,1
Järn	mg/l	0,02	<0,02	0,02
Konduktivitet	mS/m 25°C	71,4	64	73,4
Magnesium	mg/l	9,65	9,4	10
Mangan	mg/l	0,005	<0,005	0,013
Natrium	mg/l	22,3	21,3	23,6
pH	---	7,4	7,3	7,5
Sulfat	mg/l	27	25	31
Temperatur	°C	7,5	7	8
Turbiditet	FNU	0,1	0,1	1
Färg	mg/l Pt	5	5	7,5
Uran-238	µg/l	45,5	42	51

Pilotstudier

Pilotstudierna pågick i 79 dagar från 2009-11-30 till 2010-02-17.

Tre driftsfall testades:

Fall 1 – råvattenflöde 3,5 m³/h och 70 % permeatutbyte i cirka 16 dagar från och med 2009-12-07 till 2009-12-23 med två provtagningar. Membrantrycket var stabilt mellan 5,7 och 5,9 bar.

Fall 2 – råvattenflöde 3,5 m³/h och 80 % permeatutbyte i cirka 35 dagar från 2009-11-30 till 2009-12-07 och från 2009-12-23 till 2010-01-20 med fyra provtagningar. Membrantrycket var stabilt mellan 6,5 och 6,8 bar.

Fall 3 – råvattenflöde 3,5 m³/h och 90 % permeatutbyte i cirka 28 dagar från 2010-01-20 till 2010-02-17 med fyra provtagningar. Membrantrycket var stabilt mellan 7,4 och 7,8 bar.

Ingen membrantvättning utfördes och ett patronfilter byttes ut.

Resultat

Tabell E-7 Medianvärden för permeatvattenkvalitet efter nanomembranpilotanläggning i Björklinge under försökstiden.

Parameter	Enhet	70–72 % permeatutbyte Median	80–82 % permeatutbyte Median	87–90 % permeatutbyte Median
Alkalinitet	mg/l HCO_3^-	34,75	40,6	61,65
Kalcium	mg/l	10,9	14	19,9
Klorid	mg/l	13	17	22,5
COD _{Mn}	mg/l O_2	<1,0	<1,0	<1,0
Fluorid	mg/l	0,2	0,2	0,245
Järn	mg/l	<0,02	<0,02	0,02
Konduktivitet	mS/m 25°C	12,35	14,4	20,6
Magnesium	mg/l	<2	<2	<2
Mangan	mg/l	<0,005	<0,005	<0,005
Natrium	mg/l	9,3	11,1	14,55
pH	---	6,45	6,5	6,6
Sulfat	mg/l	<3,0	<3,0	<3,0
Temperatur	°C	7,5	7,5	7,5
Turbiditet	FNU	<0,1	<0,1	<0,1
Färg	mg/l Pt	<5,0	5	5
Uran-238	µg/l	0,6	0,6	0,85

Borttagning av uran-238 var under hela försökstiden över 98 %.



Bild E-1 Nanomembranpilotanläggning med råvatteninlopp, tryckstegringspump, doseringspump för antikoagulationsämne, tvättvattentankar, permeatutlopp och koncentratutlopp.

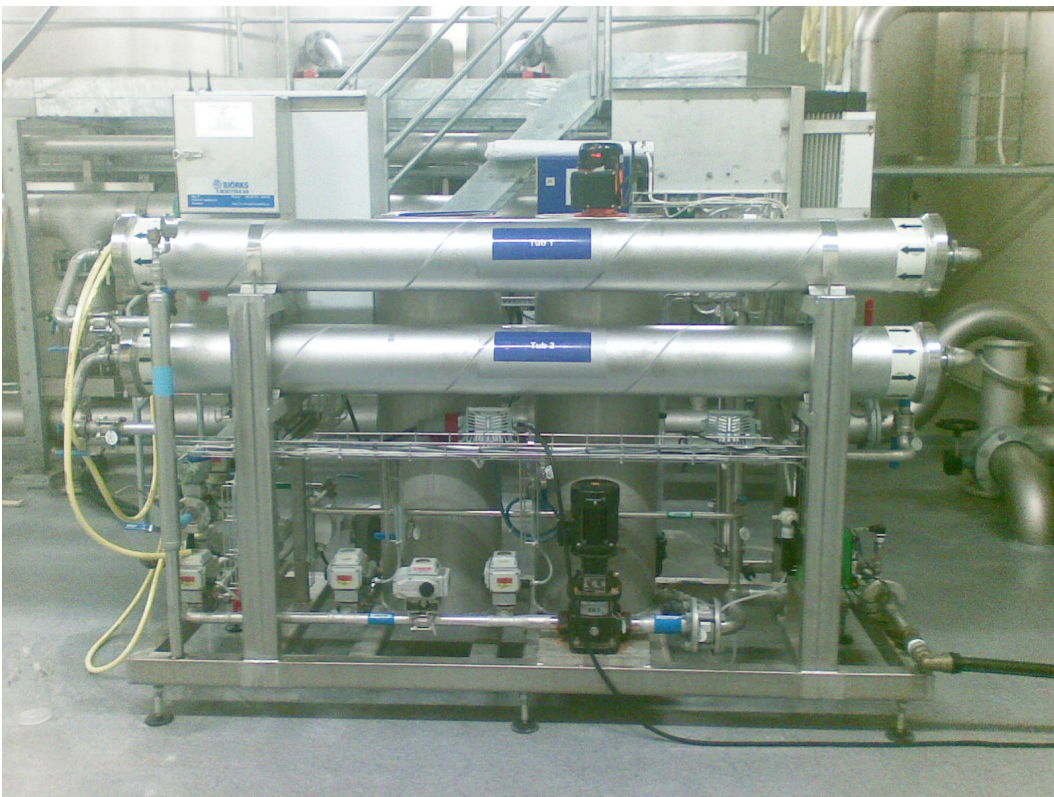


Bild E-2 Nanomembranpilotanläggning med råvatteninlopp, recirkulationspump av koncentrat och två 8-tums trycktuber.



Bild E-3 Nanomembranpilotanläggning med automatiskåp, permeatutlopp och koncentratutlopp.

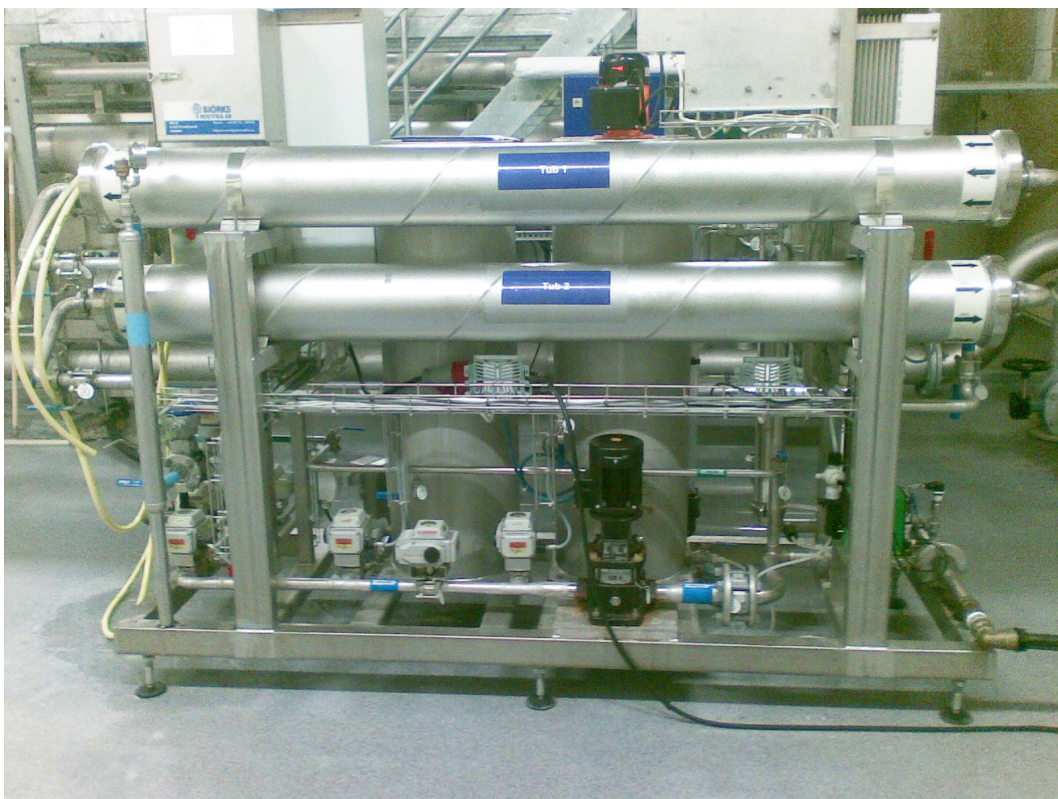


Bild E-4 Nanomembranpilotanläggning med två seriekopplad 8-tums trycktuber och recirkulationspump.



Box 47607, 117 94 Stockholm

Tel 08 506 002 00

Fax 08 506 002 10

E-post svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se