

Avhårdning av dricksvatten

– tillämpning i Sverige

*Torsten Hedberg
Mark de Blois*



VA-Forsk

VA-Forsk är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna, vilket är unikt på så sätt att statliga medel tidigare alltid använts för denna typ av verksamhet. FoU-avgiften är för närvarande 1,05 kronor per kommuninnevånare och år. Avgiften är frivillig. Nästan alla kommuner är med i programmet, vilket innebär att budgeten årligen omfattar drygt åtta miljoner kronor.

VA-Forsk initierades gemensamt av Kommunförbundet och Svenskt Vatten. Verksamheten påbörjades år 1990. 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
Avloppsvattenrening
Ekonomi och organisation
Utbildning och information

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

Ola Burström, ordförande
Roger Bergström
Bengt Göran Hellström
Staffan Holmberg
Pär Jönsson
Peeter Maripuu
Stefan Marklund
Peter Stahre
Jan Söderström

Skellefteå
Svenskt Vatten AB
Stockholm Vatten AB
Haninge
Östersund
Vaxholm
Luleå
VA-verket Malmö
Sv kommunförbundet

Asle Aasen, adjungerad
Thomas Hellström, sekreterare

NORVAR, Norge
Svenskt Vatten AB

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

VA-Forsk
Svenskt Vatten AB
Box 47607
117 94 Stockholm
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
E-post svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se

Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Avhårdning av dricksvatten – tillämpning i Sverige
Title of the report:	Drinking water softening
Rapportens beteckning Nr i VA-Forsk-serien:	2003-35
ISSN-nummer:	1102-5638
ISBN-nummer:	91-89182-99-5
Författare:	Mark de Blois, Torsten Hedberg, institutionen för VA-teknik, Chalmers tekniska högskola
VA-Forsk projekt nr:	95-102
Projektets namn:	Avhårdning och dess anpassning till svenska vattenverk – Handbok
Projektets finansiering:	VA-Forsk
Rapportens omfattning Sidantal:	90
Format:	A4
Sökord:	Avhårdning, dricksvatten, hårt vatten, hårdhet
Keywords:	Softening, drinking water, hard water
Sammandrag:	Rapporten ger en översikt över problem som hårt vatten ger upphov till och beskriver de olika metoder, kemiska och fysikaliska, som kan användas för att avhärda vattnet. Vattenkemiska begrepp och kemiska reaktionsformler och konsekvensen av dessa diskuteras.
Abstract:	The report gives an overview of the practical problems hard water may give and describes different chemical and physical processes, that can be used for water softening. The water chemistry of the softening process and its consequences are discussed.
Målgrupper:	Kommuner, konsulter, myndigheter
Omslagsbild:	Avhärdningsanläggning Noordbergum, företag: Vitens, Friesland, Nederländerna, källa: Henk Brink, KIWA
Rapporten beställs från:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2003
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB

SAMMANFATTNING

Det finns ungefär 90 vattenverk, enligt Vattenbeskaffenhet 1989, i Sverige som har hårt vatten. Vatten betraktas som hårt om totalhårdheten är högre än 60 mg Ca/l ($> 8.4 \text{ }^{\circ}\text{dH}$) eller om vätekarbonathalten är högre än 120 mg/l. Vattenverk med hårt vatten finns framför allt i södra Sverige, Skåne, runtom Uppsala, Öland och Gotland. Man kan minska hårdheten genom central avhärdning dvs vattnet avhärdas på vattenverket innan det distribueras.

I Sverige tillämpas central avhärdning i mycket få fall, trots att det finns flera fördelar med central avhärdning. Dessa fördelar är:

- minskning av kopparkorrosion så att kopparhalten i dricksvatten och avloppsslam sjunker;
- mindre utfällning av kalciumkarbonat i varmvattenberedare vilket ger minskat slitage och en lägre energiförlust;
- lägre dosering av tvål och tvättmedel;
- högre komfort för konsumenterna;
- minskning av antalet hushållsjonbytare, som är relativt dyra och inte alltid hygieniskt pålitliga.

För att reglera avhärdningen i Sverige på ett bra sätt bör man först titta på de dricksvattennormer som är viktiga för avhärdning. Just nu finns det inget samband mellan normer för kalcium, vätekarbonat, och pH trots att de i verkligheten är kopplade genom kalkkolsyrajämvikten.

På de få ställen i Sverige där central avhärdning tillämpas använder man starka katjonbytare (kalcium byts mot natrium) som inte ger särskilt bra vattenkvalitet. Vattnets natriumhalt ökar och i vissa ledningsmaterial kan korrosionen öka. Ett alternativ är att använda svaga katjonbytare i vilka både kalcium och vätekarbonat tas bort, dessutom blir pH-värdet efter luftning högre. Svaga katjonbytare ger bättre vattenkvalitet och ur korrosionssynpunkt bättre vatten, men problemet med att ta hand om den saltlösning som uppstår efter regenerationen gäller också för denna jonbytare.

De senaste 20 åren har olika tekniker utvecklats som ger en bättre vattenkvalitet och som dessutom är bättre för miljön:

- kristallisering i en fluidiserande bädd;
- CARIX-processen;
- membrantekniker.

Alla dessa processer ger en höjning av pH (CARIX-processen och membranteknikerna först efter luftning) och en minskning av kalcium- och vätekarbonathalten.

Vid de sista två processerna får man dessutom en minskning av andra ämnen. I CARIX-processen är det framför allt sulfat som också tas bort. Membranteknikerna minskar innehållet av alla ämnen i vattnet.

Både CARIX-processen och membranteknikerna är dock fortfarande mycket dyrare (exploateringskostnaderna för båda är ca 3 kr/m³) än kristalliseringsprocessen (exploateringskostnaderna är ofta mindre än 1 kr/m³). Därför bör man i de flesta fall välja kristallisering i en fluidiserande bädd om man tänker avhärda vatten. Vill man förutom avhärdning också ta bort andra ämnen kan man ta CARIX-processen och membrantekniker under övervägande.

Kristallisering kan ske antingen med kalk eller med lut (soda är inte vanligt och förhöjer natriumhalten mycket). Valet beror på råvattensammansättningen. Vid användning av kalk sjunker vätekarbonathalten (alkaliniteten) två gånger så mycket som kalciumhalten, medan vid användning av lut sjunker kalcium- och vätekarbonathalten ungefär lika mycket.

Kristalliseringsreaktorn kan placeras på olika ställen i vattenverket.

FÖRORD

En studie om avhärdning av dricksvatten med inriktning på de svenska förhållandena genomfördes 1995 vid Chalmers tekniska högskola, institutionen för VA-teknik och finansierades av VA-Forsk. Denna rapport färdigställdes hösten 1995 men publicerades aldrig p.g.a. att den ansågs för avancerad.

I praktiken har det nu visat sig att det finns ett stort behov av kunskap om avhärdningsteknik i Sverige och rapporten kan därför vara värdefull i synnerhet som en handledning på svenska saknas helt.

Mark de Blois kommer från Holland där central avhärdning tillämpats sedan cirka 30 år tillbaka. 1995 hade han som konsult arbetat med olika avhärdningsanläggningar i Holland. Hans erfarenheter av detta område passade alltså bra för denna studie.

Denna rapport var den första rapport som Mark skrev på svenska varför små språkfel kan finnas även om de flesta togs bort av Britt-Marie Wilén. Hon rättade varje sida med stort tålamod.

Medförfattaren och handledaren till projektet är professor Torsten Hedberg, som har en livslång arbetserfarenhet av dricksvattenbehandling och korrosionsrelaterade frågor.

Andra som har bidragit till rapporten är:

- Henk Brink (KIWA NV) för information om avhärdning i Holland.
- Wolfgang H. Höll (Forschungszentrum Karlsruhe) för information om CARIX-processen
- Alla kommuner som har medverkat i enkäten som genomfördes för att kartlägga vattenverk med hårt vatten i Sverige.

Bifogad rapport är den ursprungliga versionen från 1995 och vissa delar är inte helt uppdaterade längre. Eftersom utvecklingen har gått framåt sedan rapporten skrevs borde egentligen en ny, uppdaterad handbok om avhärdning framställas.

Mark de Blois

Torsten Hedberg

Göteborg i maj 2003

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	1
2	BEGREPP OCH TEORI	2
2.1	Hårdhet och totalhårdhet	2
2.2	Alkalinitet eller m-tal	3
2.3	Aciditet eller p-tal	3
2.4	Bufferkapacitet	3
2.5	Jämvikt i dricksvatten	4
2.6	Mättnadsindex (SI)	6
2.7	Övermättad kalciumkarbonat	6
2.8	Aggressiv kolsyra	6
3	BAKGRUND TILL AVHÄRDNING	7
3.1	Minskning av kopparkorrosion	7
3.2	Hushållsjonbytare	8
3.3	Utfällning av CaCO_3 i varmvattenberedare	8
3.4	Förbrukningen av tvål och tvättmedel	8
3.5	Övriga grunder	8
3.6	Avhärdning och hälsa	8
4	SITUATIONEN I SVERIGE	10
4.1	Riktlinjer och normer angående hårdhet	10
4.2	Vattenverk i Sverige med hårt vatten	13
4.3	Resultat av enkäten bland vattenverk med hårt vatten	17
5	JONBYTE	20
5.1	Princip och teori	20
5.2	Stark jonbytare (Natrium-kalcium jonbytare)	22
5.3	Svag katjonbytare	23
5.4	Anjonbytare	24
5.5	CARIX-jonbytare	24
6	KEMISKA METODER	27
6.1	Princip och teori	27
6.2	Utfällning	28
6.3	Kristallisering	29
7	MEMBRANTEKNIKER	39
7.1	Princip och teori	39
7.2	Hyperfiltrering	44
7.3	Nanofiltrering	46
7.4	Elektrodialys	46

8	FÖR- OCH NACKDELAR MED DE OLIKA METODERNA	48
8.1	Förbehandling.....	48
8.2	Efterbehandling	49
8.3	Hjälpämnen	50
8.4	Automatiserbarhet	50
8.5	Avfallsprodukter.....	51
8.6	Kvalitet dricksvatten	51
8.7	Korrosion.....	52
8.8	Hälsa och magnesium.....	54
8.9	Kostnader	54
9	SLUTSATSER.....	57
10	LITTERATUR.....	59
Bilaga 1	Totalhårddheten i °dH beroende av kalcium- och magnesiumhalten uttryckt i mg/l eller mmol/l	
Bilaga 2	Hårt vatten i Sverige: enkätfrågorna	
Bilaga 3	Hårt vatten i Sverige: VAV-statistik och resultat från enkäten	
Bilaga 4	Sambandet mellan kemikaliedosering och Ca-halt, m- och p-tal	

1 INLEDNING

I Sverige finns hårt dricksvatten på många ställen. Framför allt i södra Sverige är vattnet hårt. Det finns flera nackdelar med hårt vatten:

- kopparkorrosion: hårt vatten har i genomsnitt ett lågt pH-värde och en hög vätekarbonathalt och därmed hög halt fri kolsyra, varigenom kopparrör korroderar relativt snabbt. Detta ger höga kopparhalter i dricksvatten och i avloppsslam;
- utfällning av kalciumkarbonat i varmvattenberedare. Detta ger extra slitage och energiförlust;
- en högre dosering av tvål och tvättmedel;
- lägre komfort för konsumenterna.

För att undvika ovanstående nackdelar installerar många konsumenter hushålls-jonbytare, trots att de är relativt dyra och inte alltid hygieniskt pålitliga. Mycket bättre och billigare är det dock att avhärda dricksvattnet centralt på vattenverken.

Central avhårdning tillämpas redan på många ställen i utlandet, t ex Holland, Tyskland, Amerika. Det finns olika metoder för central avhårdning:

- kemiska metoder (utfällning och kristallisering);
- jonbyte (svaga och starka jonbytare samt CARIX-processen, Carbon dioxide Regenerated Ion eXchange resins);
- membrantechniker (hyperfiltrering, nanofiltrering och elektrodialys).

De flesta av de här teknikerna är lämpliga för avhårdning.

I denna rapport beskrivs de tekniker som är de viktigaste för central avhårdning. Först ges en teoretisk inledning och bakgrund i kapitel 2 och 3. I kapitel 4 beskrivs situationen i Sverige. Därefter beskrivs de olika metoderna och deras för- och nackdelar i kapitel 5 tom 8.

2 BEGREPP OCH TEORI

2.1 Hårdhet och totalhårdhet

Begrepp

Med ett vattens hårdhet avses vattnets halt av kalcium och magnesium. Ofta tar man bara hänsyn till vattnets kalciumhalt. Hårdheten kan uttryckas i olika enheter:

- mg kalcium/l;
- mmol kalcium/l,
1 mmol Ca/l motsvarar med 40 mg Ca/l;
- meq kalcium/l,
1 meq Ca/l motsvarar med 20 mg Ca/l eller 0,5 mmol Ca/l;
- °dH: tyska hårdhetsgrader,
1 °dH motsvarar med 10 mg CaO/l;
- °fH: franska hårdhetsgrader,
1 °fH motsvarar med 10 mg CaCO₃/l;
- °UK eller °US: hårdhetsgrader från Storbritannien och Förenta Staterna.
1 °UK/°US motsvarar med 1 mg CaCO₃/l.

I tabell 2.1 presenteras enheterna och de tillhörande omräkningsfaktorer.

Tabell 2.1 Hårdhetsenheter och omräkningsfaktorer

enhet	mg/l	mmol/l	meq/l	°dH	°fH	°UK/°US
mg/l	1	0,025	0,05	0,14	0,25	2,5
mmol/l	40	1	2	5,6	10	100
meq/l	20	0,5	1	2,8	5	50
°dH	7,14	0,18	0,36	1	1,79	17,9
°fH	4	0,1	0,2	0,56	1	10
°UK/°US	0,4	0,01	0,02	0,056	0,1	1

Totalhårdheten är den totala halten av kalcium och magnesium uttryckt i tex mmol/l. För totalhårdheten kan man också använda de olika enheterna i tabell 1. En tabell för beräkning av totalhårdheten i °dH beroende av kalcium- och magnesiumhalten är given i bilaga 1.

Analys

Totalhårdheten mäts vanligtvis genom en analys av kalcium- och magnesiumhalten med hjälp av atomabsorptionspektrofotometer. En annan analysmetod är kompleximetrisk titrering med EDTA-lösning.

2.2 Alkalinitet eller m-tal

Begrepp

I dricksvatten är alkaliniteten summan av hydroxid-, vätekarbonat-, och två gånger karbonatkoncentrationen minus vätejonkoncentrationen, enligt formel:

$$\text{Alkalinitet} = \text{HCO}_3^- + 2 \text{CO}_3^{2-} + \text{OH}^- - \text{H}_3\text{O}^+ \text{ (mmol/l)}$$

När pH är mindre än 8,3 är alkaliteten i det närmaste lika vätekarbonathalten.

Analys

Man brukar mäta alkaliniteten genom titrering med syra. Då är alkaliniteten lika med mängden syra (mmol/l), som behövs för att sänka pH-värdet från det ursprungliga pH-värdet till 4,4. Vid detta pH-värde är HCO_3^- och CO_3^{2-} fullständigt omvandlade till CO_2 .

2.3 Aciditet eller p-tal

Begrepp

Aciditeten i dricksvatten är summan av hydroxid- och karbonatkoncentrationen minus väte- och kolsyrakoncentrationen. Enligt formel:

$$\text{Aciditet} = \text{CO}_3^{2-} + \text{OH}^- - \text{H}_3\text{O}^+ - \text{CO}_2 \text{ (mmol/l)}$$

Analys

Man brukar mäta aciditeten genom titrering med syra eller lut. Då är aciditeten lika med mängden syra eller lut (mmol/l), som behövs för att sänka eller att höja pH-värdet från det ursprungliga pH-värdet till pH till 8,3. Vid detta pH-värde är CO_2 och CO_3^{2-} fullständigt omvandlade till HCO_3^- . När man använder lut är aciditeten negativ.

2.4 Bufferkapacitet

Begrepp

Bufferkapaciteten är det antal mol av en stark syra eller en stark bas som, när det tillsätts en lösning, ger en enhetsförändring av pH-värdet.

Bestämning

Bufferkapaciteten är lutningen på tangenten till en titreringskurva, som beskriver sambandet mellan pH-värdet och mängden syra eller lut, som tillsatts lösningen.

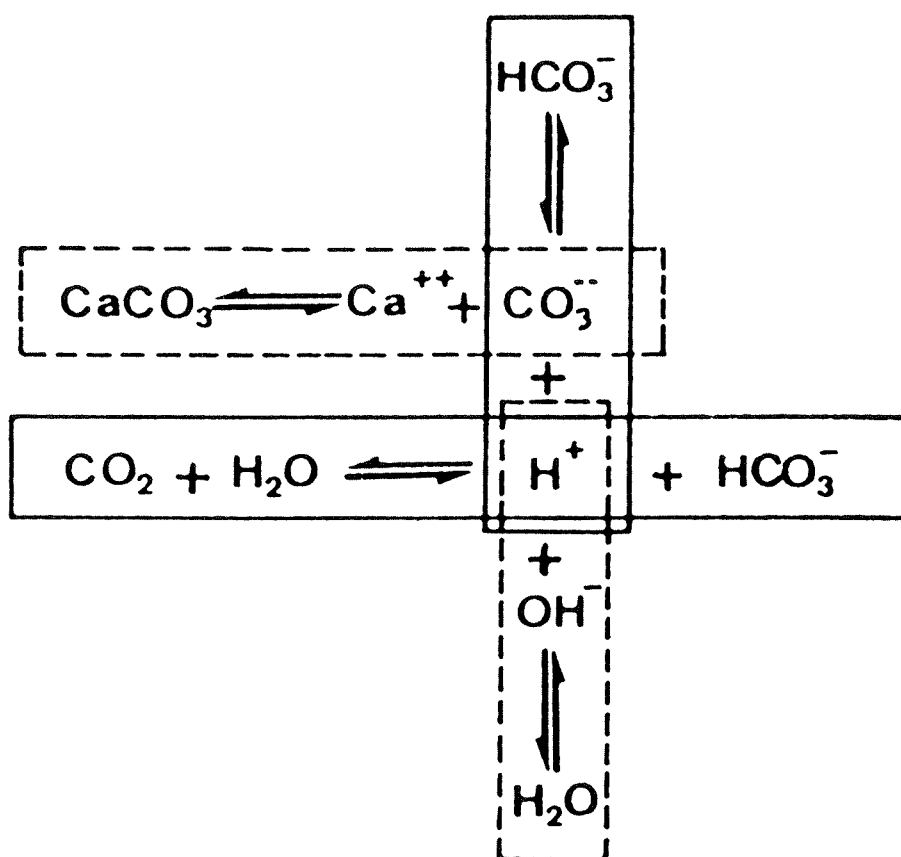
2.5 Jämvikt i dricksvatten

Bufferkapaciteten, pH-värdet och alkaliniteten i dricksvatten påverkas framför allt av kalk-kolsyrajämvikten. I kalk-kolsyrajämvikten är följande reaktionsformler av betydelse (pK-värdena (jämviktskonstanterna) gäller vid en temperatur av 20 °C):

H_2O	$< >$	$\text{H}^+ + \text{OH}^-$	pK (-log K) 14
$\text{H}_2\text{CO}_3 (\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O})$	$< >$	$\text{HCO}_3^- + \text{H}^+$	6,4
HCO_3^-	$< >$	$\text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+$	10,3
$\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$	$< >$	$\text{CaCO}_3 (\text{s})$	

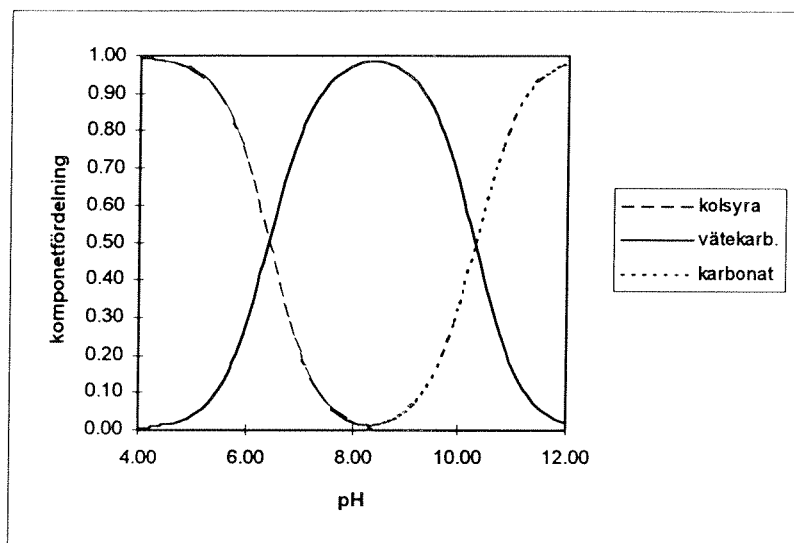
Löslighetsprodukten för CaCO_3 vid 20 °C ges som:
 $[\text{Ca}^{2+}] [\text{CO}_3^{2-}] = 4,6 \times 10^{-9} \text{ (mmol}^2/\text{l}^2\text{)}$

Sambandet mellan ovannämnda jämvikter illustreras i figur 2-1.



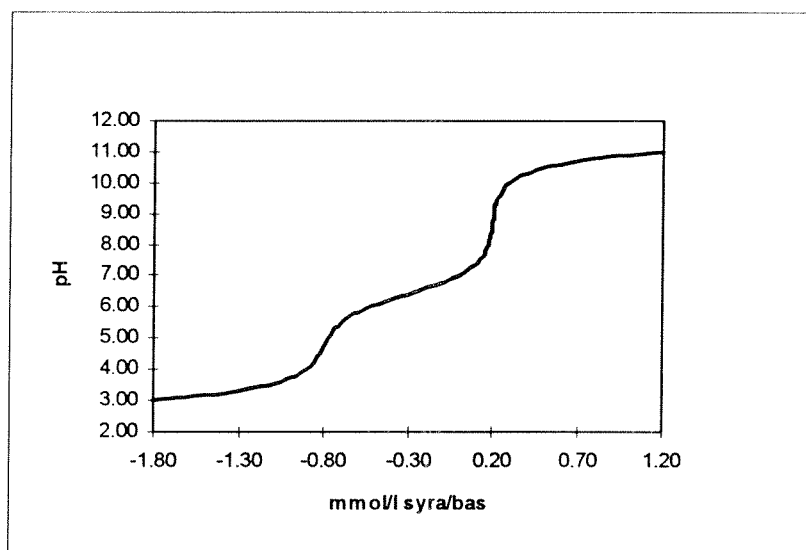
Figur 2.1 Kolsyrajämvikt i vatten

Figur 2.2 presenterar fördelningen av komponenterna i kolsyrasystemet (CO_2 , HCO_3^- och CO_3^{2-}) beroende av pH-värdet. De viktigaste komponenterna vid ett för dricksvatten vanligt pH-intervall, pH 7-8, är CO_2 och HCO_3^- . Från figur 2.2 kan härledas att den maximala bufferkapaciteten för dricksvatten ligger vid ett pH-värde av 6,4 (50 % CO_2 och 50 % HCO_3^-). Mellan pH 7,8 och pH 9 är bufferkapaciteten ganska låg.



Figur 2.2 Kolsyrasystemets komponentfördelning beroende av pH (log koncentration som funktion av pH) [58]

Sambandet mellan olika komponenter kan man också se i figur 2.3, där en titreringskurva för dricksvatten ges som exempel.



Figur 2.3 Exempel på en titreringskurva för dricksvatten [58]

2.6 Mättnadsindex (SI)

Begrepp

Mättnadsindex definieras som skillnaden mellan vattnets aktuella pH-värde och det pH-värde som vattnet har då det är i kalk-kolsyrajämvikt. Indexet kan också kallas Langeliers Index (LI).

Till exempel: ett vatten har ett pH på 8.3. pH-värdet vid kalk kolsyrajämvikt har beräknats till 8,1. Detta vattens SI-värde är då +0.2. SI-värdet kan beräknas med olika kemiska jämviktsprogram [9,10].

2.7 Övermättad kalciumkarbonat

Begrepp

Mängden övermättad kalciumkarbonat (MÖK) är den mängd kalciumkarbonat som måste utfällas för att nå kalk-kolsyrajämvikt. (SI=0). Den kan beräknas med olika jämviktsprogram [9,10].

2.8 Aggressiv kolsyra

Begrepp

Mängden aggressiv kolsyra är den mängd kolsyra som kan upplösa en equivalent mängd kalciumkarbonat för att nå kalk-kolsyrajämvikt (SI=0). Den kan beräknas med olika jämviktsprogram [9, 10].

3 BAKGRUND TILL AVHÄRDNING

I det här kapitlet beskrivs grunderna för central avhärdning och dess fördelar. Dessutom behandlas sambandet mellan avhärdning och hälsa.

3.1 Minskning av kopparkorrosion

Koppar är ett vanligt material i VVS-installationer. Det finns tre skäl att minimera kopparkorrosion [1]:

- för att få ett kopparfritt dricksvatten ur medicinsk synpunkt;
- för att ej erhålla onödigt höga kopparhalter i avloppsslam;
- för att undvika vattensador genom främst lokal punktkorrosion.

Jämn korrosion och därmed kopparavgivning till dricksvatten är huvudsakligen beroende av rörtyp, skyddskikt i röret, uppehållstid i röret och vattensammansättning [2]. I Holland har man visat att det finns ett samband mellan kopparavgivning till dricksvatten och den totala kolhalten, pH-värdet och sulfathalten. Detta uttrycks med en formel [2]:

$$Cu_{\max} \text{ (mg/l)} = 0,52 \times \text{TIC (mmol/l)} - 1,37 \times \text{pH} + 2 \times \text{SO}_4^{2-} \text{ (mmol/l)} + 10,2$$

där

$Cu_{\max}$ - maximal kopparhalt i dricksvatten efter maximalt 16 timmars stillestånd i kopparrör;

TIC - totalt oorganiskt kol;

En svensk undersökning [1] har visat att vattnets kolsyra-innehåll är avgörande för korrosion på koppar och att det finns ett logaritmiskt samband mellan koldioxidhalt och korrosion på kopparrör.

En lägre kopparhalt i dricksvatten leder dessutom till en lägre kopparhalt i avloppsslam, eftersom koppar i dricksvatten är till en stor del ansvarig för kopparinnehållet i avloppsslam [13, 14].

Skador på kopparrör orsakas mestadels av punktkorrosion. Punktkorrosion på kopparrör motverkas genom förhöjd vätekarbonathalt och ett relativt högt pH ($\text{pH} > 7,4$) [3]. Om punktkorrosion ska förhindras bör avhärdningen ej drivas så att vätekarbonathalten blir för låg.

Båda dessa undersökningar visar att den fria kolsyrehalten ska vara låg för att minska korrosionen på koppar.

Undersökningarna visar på möjligheten att avhärdning av dricksvatten borde minska korrosionen eftersom (beroende på avhärdningsmetoden) avhärdning ger både ett högre pH och ett lägre TIC-värde.

3.2 Hushållsjonbytare

Om dricksvattnet är för hårt visar det sig att många hushåll och industrier installerar jonbytare för att minska hårdheten. Central avhärdning är dock bättre ur bakteriologisk synpunkt och dessutom ofta billigare för hushåll och industrier. Även miljön kan avlastas, eftersom regenerering med saltlösning av hushålls- och industrijonbytare blir onödig.

3.3 Utfällning av CaCO_3 i varmvattenberedare

När vatten värms upp blir kalciumkarbonats löslighetsprodukt mindre och framför allt vid hårt vatten faller CaCO_3 ut. Detta leder till ett ökat behov av underhåll och en högre energikonsumtion, på grund av en sämre värmeväxling för varmvattenberedare. Vid tillämpning av avhärdning minskas dessa problem.

3.4 Förbrukningen av tvål och tvättmedel

Kalcium binder tvål, vilket gör att den inte längre är tillgänglig för smuts. Alltså leder en lägre kalciumhalt till en lägre konsumtion av tvål och tvättmedel. Det är bättre för både konsumenterna och miljön. Syntetiska tvättmedel är dock inte lika doseringsberoende av vattnets hårdhet som äldre tvålbaserade tvättmedel.

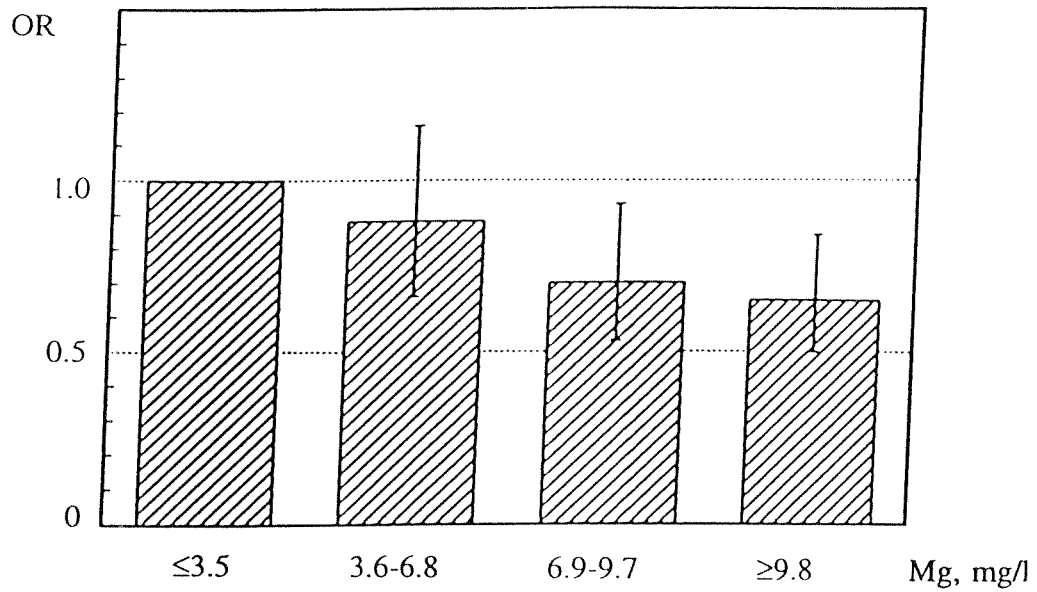
3.5 Övriga grunder

Förutom ovannämnda grunder finns det en rad andra fördelar med avhärdning. De har framför allt med komfort att göra. Dessa fördelar är [4]:

- mindre grumlighet och mindre skinnbildning på te;
- tvättkläder blir mindre gråa och sträva;
- mindre slitage av kläder;
- mindre fläckar på rumsväxter, glas-, och sanitetsvaror;
- mindre igensättningar i duschspridare.

3.6 Avhärdning och hälsa

Flera undersökningar [5,6] har visat att det finns ett samband mellan hårdhet i dricksvatten och kardiovaskulär dödlighet ("ischemic" och cerebrovasculära hjärtsjukdomar). Från de senaste undersökningarna kan slutsatsen dras att det huvudsakligen är magnesium som ger en minskad frekvens av kardiovaskulär dödlighet. I Figur 3-1 [6] illustreras sambandet mellan förekomst av hjärtmuskelinflammation och magnesiumhalt i dricksvatten. Undersökningen omfattade försörjningsområden till 17 vattenverk i södra Sverige.



Figur 3.1 Anpassat riskförhållande (OR) för dödlighet bland män förorsakat av hjärtmuskelinflammation i relation till magnesiumhalten i dricksvatten för 17 kommuner i södra Sverige under åren 1982 till 1989 [6].

Om man tänker avhärda dricksvattnet bör man alltså inte minska magnesiumhalten för mycket.

4 SITUATIONEN I SVERIGE

4.1 Riktlinjer och normer angående hårdhet

Riktvärden och gränsvärden för ämnen med betydelse för avhårdning av dricksvatten i Sverige är sammanfattade i tabell 4.1 [8].

Tabell 4.1 Riktvärden och gränsvärden för parametrar med betydelse för avhårdning av dricksvatten i Sverige enligt [8]

Parameter	Enhet	Riktvärde	Gräns- värde		Gräns- värde	
			A-vatten		E-vatten	
pH	(-)		7,5 < pH > 9,0	t t		
total hårdhet	°dH		15	t	15	t
total hårdhet efter avhårdning	mg Ca/l		> 20	t		
Ca	mg/l	20 - 60	100			
Mg	mg/l		30	e	30	e
Na	mg/l		100 200	t e,t	100 200	t e,t
HCO ₃	mg/l	60				
HCO ₃ efter av- hårdning			> 30			
Cl	mg/l		100 300	t e,t	100 300	t e,t
SO ₄	mg/l		100 200	t h,e,t	100 200	t h,e,t

t - tekniskt; e - estetiskt; h - hälsomässigt;

A-vatten: dricksvatten från allmän anläggning;

E-vatten: dricksvatten från enskild vattentäkt;

Riktvärden i tabell 4.1 skall ses som kvalitetsmål som kan ge vägledning exempelvis vid val mellan olika vattentäkter och vattenbehandling. Överskridande av riktvärde föranleder således inte en anmärkning som medför krav på åtgärder [8].

De viktigaste paragraferna från [8] som gäller när ett gränsvärde från tabell 4.1 (över huvud taget är de tillhörande normerna tekniskt grundade) överskrids presenteras nedan.

20 § *Vid bedömning av resultatet från undersökning av ett dricksvattenprov enligt de metoder som anges i 19 § [8] skall provet bedömas som tjänligt, tjänligt med anmärkning eller otjänligt som dricksvatten eller för hantering av livsmedel. Vid bedömningen skall de gränsvärden som anges i bilaga 6 (här tabell 4.1) till denna kungörelse tillämpas.....*

Både de undersökningsresultat som medför bedömningen tjänligt med anmärkning och de som medför bedömningen otjänligt betecknas som gränsvärden, för att markera att överskridande leder till krav på åtgärder enligt 22 §.....

Anmärkningarna kan vara av tre slag, nämligen hälsomässiga (h), estetiska (e) eller tekniska (t) Vid bedömningen otjänligt anges om den är hälsomässigt eller estetiskt grundad och vid bedömningen tjänligt med anmärkning anges om anmärkningen är av hälsomässig, estetisk eller teknisk art.

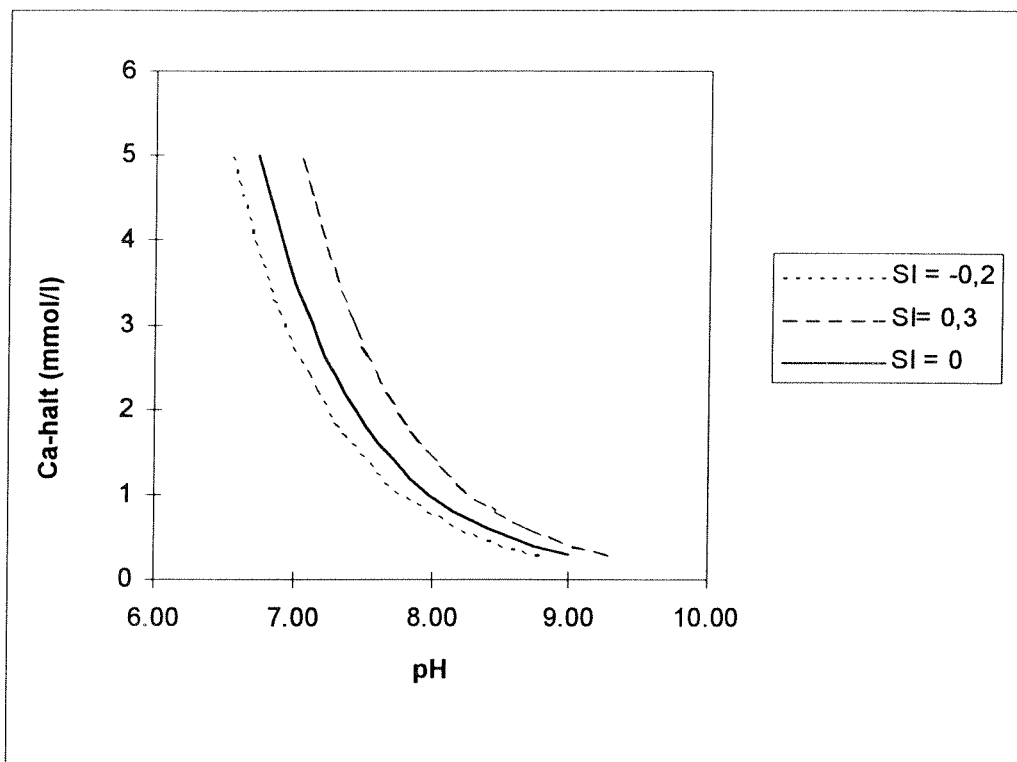
22 § Om ett dricksvattenprov från en allmän anläggning eller förordnandeanläggning har bedömts vara otjänligt med anmärkning, skall huvudmannen vidta nödvändiga åtgärder för att komma till rätta med problemen.....

Åtgärder på grund av anmärkning från estetisk eller teknisk synpunkt kan vara mindre brådskande. Orsaken bör utredas och olägenheterna åtgärdas inom rimlig tid om det inte är uppenbart att de saknar betydelse från hälsosynpunkt eller att olägenheten måste accepteras av andra skäl till exempel på grund av vattnets naturliga sammansättning eller bristen på alternativ vattentäkt.

Att döma av dessa paragrafer är det faktiskt inte något tvång att avhärda dricksvatten i Sverige. Alla normer angående hårdhet och avhårdning är enbart tekniskt grundade.

De tekniska normer som finns är dessutom inte tydliga. När det krävs att dricksvattnet distribueras i jämvikt med avseende på kalk-kolsyrajämvikt finns det ju ett samband mellan kalcium, pH, temperatur och vätekarbonat samt ett antal mindre viktiga parametrar. De parametrarna är ihopkopplade genom kalk-kolsyrajämvikten (kapitel 2). Detta framgår faktiskt inte av tabell 4.1.

Med olika kemiska jämviktsprogram kan sambandet mellan de ovannämnda parametrarna beräknas [9,10]. Figur 4.1 anger sambandet mellan kalciumhalten i vattnet och pH-värdet vid olika SI-värden.



Figur 4.1 Sambandet mellan löst kalcium och pH-värdet vid olika SI-värden
 $m\text{-tal (mmol/l)} = 2 \times [\text{Ca}^{2+}]$; $[\text{Mg}^{2+}] = [\text{SO}_4^{2-}] = [\text{Na}^+] = [\text{Cl}^-] = 0,2 \times [\text{Ca}^{2+}]$, alla i mmol/l; $I \text{ (mmol/l)} = 4 \times [\text{Ca}^{2+}]$

Av figur 4.1 framgår att normerna för kalcium, pH och vätekarbonat bör fastställas samtidigt och i samband med varandra. Dessutom borde härmed de andra parametrarna, SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ också tas i beaktande.

Som exempel ges i tabell 4.2 de rekommendationer som gäller i Holland och som har fastställts efter flera års studier och undersökningar. pH-värdet måste väljas så att alla förutsättningarna uppfylls. Eftersom ovanstående normer föreslås av den centrala dricksvattenorganisationen i Holland (VEWIN), försöker alla dricksvattenleverantörer att uppfylla rekommendationerna. I Sverige vore det också bra, om en diskussion fördes angående normer och riktlinjer för dricksvatten.

Tabell 4.2 Rekommendationer för vattensammansättning i Holland när avhårdning tillämpas [2,7]

			bakgrund
pH	>	7,8	blykorrosion
	>	$0,38 \times \text{TIC} + 1,5 [\text{SO}_4^{2-}] + 5,3$	kopparkorrosion
	<	8,3	mässingkorrosion
TIC	>	2	punktkorrosion, pH-förändringar
SI	>	-0,2	cementkorrosion
	<	0,3	kalciumkarbonatutfällning
$\{[\text{Cl}^-] + 2 [\text{SO}_4^{2-}]\}/\text{TIC} <$		1	järnkorrosion
totalhårdhet	>	1,5	hälsa
$[\text{Na}^+]$	<	5,2	hälsa
halter uttrycks i mmol/l			
TIC	-	$[\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$	
SI	-	Saturation Index	

4.2 Vattenverk i Sverige med hårt vatten

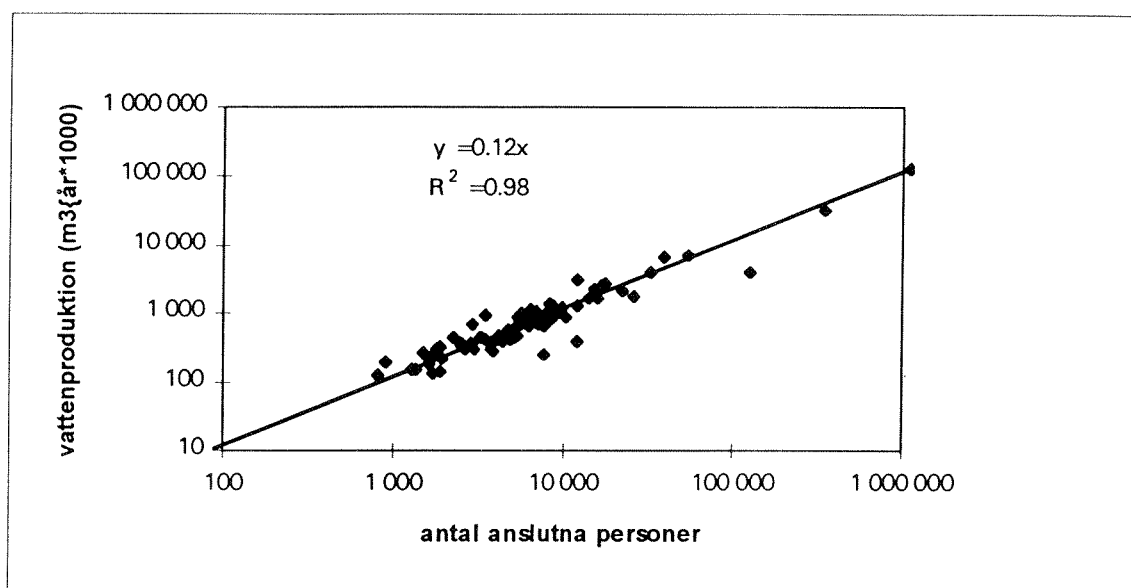
Med hjälp av VAV-statistik över vattenbeskaffenheten 1989 [11] har ett urval gjorts bland alla vattenverk med en hög hårdhet. Vatten bedöms ha en hög hårdhet när totalhårdheten är högre än 60 mg Ca/l (1,5 mmol/l) *eller* när vätekarbonathalten är högre än 120 mg/l (2 mmol/l). Vatten med en vätekarbonathalt högre än 120 mg/l *och* en total hårdhet mindre än 40 mg Ca/l valdes dock inte ut, liksom vatten med en total hårdhet större än 60 mg Ca/l *och* en vätekarbonathalt mindre än 60 mg/l.

Undre gränsen för totalhårdhet i Holland är 60 mg Ca/l och är vald med tanke på hälso-mässiga aspekter. Näst kalcium är det också intressant att ta bort vätekarbonat för minskning av både kopparkorrosion och kalciumkarbonatutfällning (se tabell 4.2), men samtidigt får vätekarbonathalten inte bli för låg med tanke på punktkorrosion, pH-förändringar i ledningsnätet och järnkorrosion. Därför anses en undre gräns på 2 mmol/l rimlig.

I princip används råvattenstatistiken för urvalet, men när värden saknades har renvattenstatistiken använts.

Från alla i VAV-statistiken [11] upptagna vattenverk valdes 89 vattenverk, tillhörande 59 kommuner, ut. Vattenproduktion (1989) från dessa verk var ungefär 134 Mm³/år. Det motsvarar 15 % av den totala produktion, som är angiven i VAVs statistik vilken utgör 92 % av den totala produktionen. Antalet anslutna personer uppgick till ungefär 1,1 miljon människor, vilket är 16 % av de anslutna personer som är angivna i VAVs statistik .

Figur 4.2 presenterar sambandet mellan antalet anslutna personer och vattenproduktionen för de utvalda vattenverken. För det mesta ligger antalet anslutna personer mellan 1000 och 100.000 personer, med vattenproduktion mellan 0,1 Mm³/år och 10 Mm³/år.



Figur 4.2 Sambandet mellan antalet anslutna personer och vattenproduktionen för de utvalda vattenverken (uppgifter från [11])

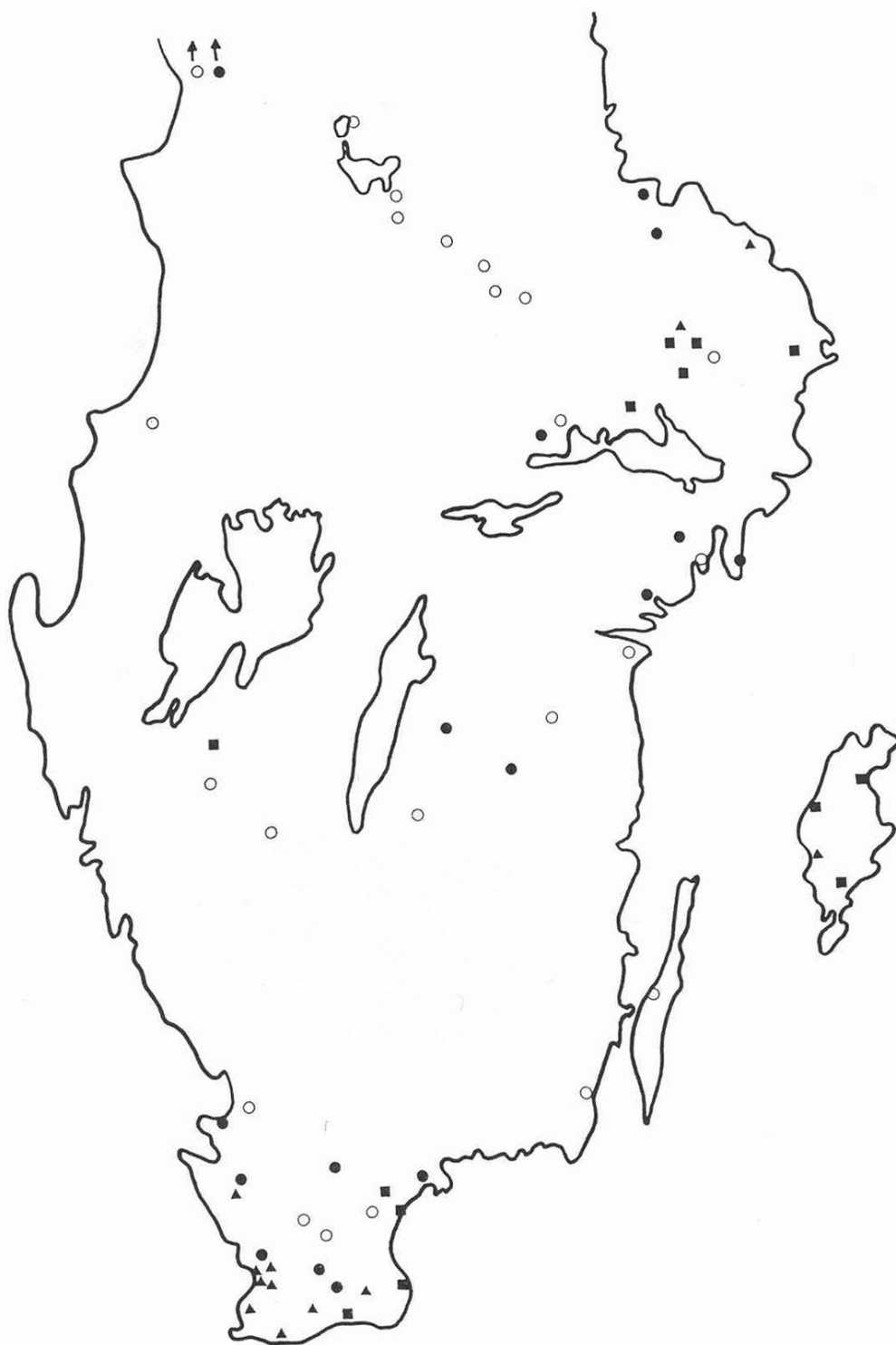
I figur 4.3 och 4.4 är de utvalda kommunerna och tillhörande hårdheter och vätekarbonathalter givna. I bilaga 2 ges en fullständig lista med de utvalda vattenverken och kommunerna samt de parametrar som är viktiga för avhårdning.

Nästan alla utvalda vattenverk med hårt vatten ligger i södra Sverige. Stora vattenverk, med en vattenproduktion större än 3 Mm³/år, med hårt vatten är till exempel: Kristianstad (Kristianstad), Bulltofta (Malmö), Vomb (Sydvatten AB), och flera vattenverk i Uppsala. Tillsammans producerar de ungefär hälften av produktionen av vatten med hög hårdhet.



Figur 4.3 Hårt vatten i Sverige: vattenverk och vattnets kalciumhalt

○	:	totalhårdhet 40 - 80 mg/l;
●	:	totalhårdhet 80 - 120 mg/l;
■	:	totalhårdhet 120 - 160 mg/l.
▲	:	totalhårdhet > 160 mg/l.



Figur 4.4 Hårt vatten i Sverige: vattenverk och vattnets vätekarbonathalt

○	:	vätekarbonathalt	120 - 180 mg/l;
●	:	vätekarbonathalt	180 - 240 mg/l;
■	:	vätekarbonathalt	240 - 300 mg/l;
▲	:	vätekarbonathalt	> 300 mg/l.

4.3 Resultat av enkäten bland vattenverk med hårt vatten

En enkät har skickats till de vattenverk som har hårt råvatten för att få en bättre bild av den svenska situationen angående avhärdning och hårt vatten. En fullständig enkät finns i bilaga 2. Det här kapitlet och bilaga 3 behandlar de viktigaste resultaten från enkäten.

Frågorna i enkäten är uppdelade på flera rubriker:

- vattenverk: frågorna under denna rubrik behandlar storleken av vattenverket och processteg för rening;
- vattensammansättning;
- avhärdning: frågorna under denna rubrik rör befintliga avhärdningsanläggningar i Sverige;
- klagomål: en inventering av klagomål från konsumenterna angående hårt vatten;
- avsikter med avhärdning;
- kontaktpersoner.

Respons

Av alla tillskrivna kommuner svarade ungefär 70 % på enkäten. De som svarade svarade dock inte alltid på alla frågor. Framför allt de frågor som handlade om klagomål och avsikter med avhärdning besvarades ofta ofullständigt.

Enkäten ger tillsammans med informationen som ges i Vattenbeskaffenhet 1989, dock en bra bild av den svenska situationen angående hårt vatten.

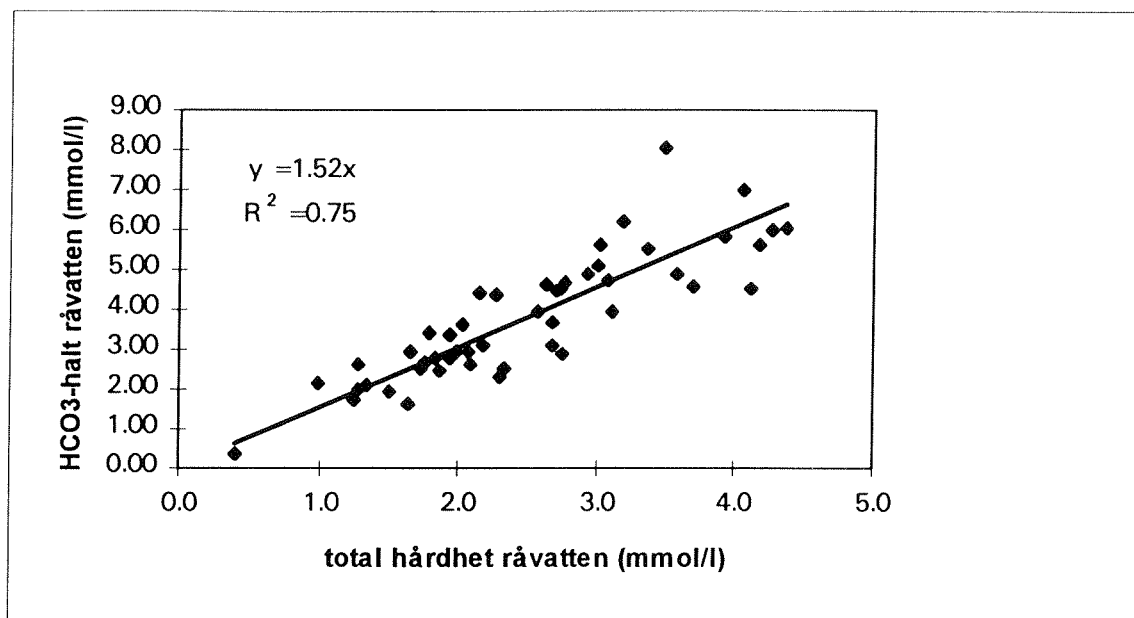
Storlek och processteg för rening

Vattenproduktionen från de flesta utvalda vattenverken ligger mellan 0,1 Mm³ och 10 Mm³/år.

Nästan alla tillskrivna kommuner har grundvatten som vattentäkt. Reningen består ofta av luftning och filtrering, ibland med en oxidering före filtrering och desinfektion efter filtrering. Några vattenverk har inga reningssteg alls utan pumpar grundvattnet direkt ut i ledningsnätet.

Vattensammansättning

Samband mellan kalciumhalt och vätekarbonathalt för de utvalda vattenverken ges i figur 4.5. Som förväntat råder det nästan ett linjärt samband mellan råvattnets kalcium- och vätekarbonathalt.



Figur 4.5 Sambandet mellan kalcium- och vätekarbonathalten för råvatten i Sverige (uppgifter från enkät)

Det finns bara några vattenverk som har en hög hårdhet och dessutom höga halter (> 100 mg/l) av antingen natrium, klorid eller sulfat. När problem finns är det framför allt sulfathalten som är hög. Problem med höga halter organiska ämnen finns knappast eller är inte kända vid de utvalda vattenverken.

Befintliga avhärtningsanläggningar i Sverige

I alla befintliga anläggningar i Sverige med central avhärtning av dricksvatten används starka katjonbytare i vilka kalcium byts mot natrium. Därigenom ökar natriumhalten i vattnet, ibland så mycket att natriumnormen på 100 mg Na/l överskrids.

Grunden för valet av starka katjonbytare för central avhärtning är troligen:

- operationen är enkel ;
- driftkostnaderna är relativt låga;
- okunnighet om de andra teknikerna.

Klagomål

I de flesta fall finns det klagomål på hårt vatten. Antalet klagomål är dock inte stort (< 10 per år per vattenverk).

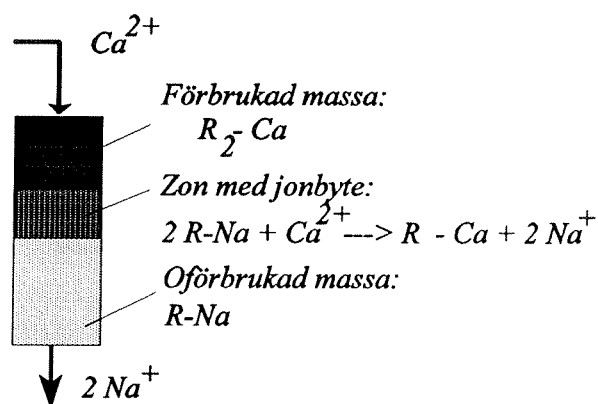
Avsikter med avhårdning

Ett antal kommuner har uttryckt intresse för central avhårdning (ca 15 stycken). Några kommuner (eller företag) har redan börjat med utredningar, framför allt de kommuner som har stora vattenverk. Alla kommuner som håller på med eller har för avsikt att tillämpa central avhårdning koncentrerar sig på kristallisering med en fluidiserande bädd som avhärtningsmetod.

5 JONBYTE

5.1 Princip och teori

Jonbyte är en process i vilken det vatten som ska behandlas passerar ett filter (upp- eller nedströms), i vilket en syntetisk jonbytesmassa finns. Massan är "laddad" med en jon, positiv eller negativ. Vid avhärdning laddas jonbytemassan ofta med natriumjoner. När vattnet med de oönskade jonerna passerar jonbytesmassan, kommer de oönskade jonerna t ex kalcium och magnesium att ersättas av t ex natrium (figur 5.1).



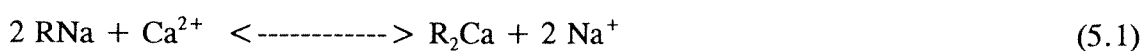
Figur 5.1 Principen för jonbyte [12]

Jonbyte utnyttjas i vattenbehandling för att avlägsna lösta dissocierade föreningar från vatten. Dessa lösta föreningar är katjoner (positivt laddade ämnen liksom Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ o.s.v.) eller anjoner (negativt laddade ämnen liksom Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- o.s.v.).

En viss jonbytemassa har inte förmåga att "byta ut" t.ex. alla positiva eller negativa joner under alla förutsättningar. Man skiljer här på fyra olika typer av jonbytare: starka katjonbytare, starka anjonbytare, svaga katjonbytare och svaga anjonbytare.

Fram till nu har för det mesta en stark katjonbytare, vilken är laddad med natriumjoner, använts som avhärdningsfilter.

I följande formler betecknas katjonbytarens basmaterial med R. När ett avhärdningsfilter tages i drift är natrium bundet till detta basmaterial, vilket betecknas med (RNa). Kommer kalcium i kontakt med basmaterialet sker reaktionen [15]:



Denna reaktion förlöper nästan fullständigt till höger, eftersom kalcium har en högre affinitet till jonbytare än natrium.

Selektivitet

I allmänhet finns för varje typ av jonbytare en särskild förmåga att reagera med olika joner. Man talar om att massan har en viss selektivitet. Med detta avses i vilken prioritet en viss jonbytemassa byter ut t.ex. katjoner. En vanlig selektivitet för avhärtningsmassor (starka katjonbytare) är: $\text{Ba}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Sr}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \dots > \text{Zn}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \dots > \text{Na}^+ > \text{H}^+$. Detta betyder för dricksvatten att kalcium borttas först och därefter magnesium [16].

Selektiviteten kan uttryckas med hjälp av en selektivitetskoefficient. För ovanstående reaktion är denna till exempel [16]:

$$K_{\text{Ca/Na}} = \frac{[\text{R}_2\text{Ca}][\text{Na}^+]^2}{[\text{RNa}]^2[\text{Ca}^{2+}]} \quad (5.2)$$

$K_{\text{Ca/Na}}$	-	selektivitetskoefficient
$[\text{R}_2\text{Ca}]$	-	Ca^{2+} - halten på jonbytemassan (mol/kg lösning)
$[\text{RNa}]$	-	Na^+ - halten på jonbytemassan (mol/kg lösning)
$[\text{Ca}^{2+}]$	-	Ca^{2+} - halten i lösningen (mol/kg lösning)
$[\text{Na}^+]$	-	Na^+ - halten i lösningen (mol/kg lösning)

Ju högre selektivitetskoefficienten är desto högre är affiniteten till jonbytare och desto mer förlöper reaktionen till höger.

För att beräkna fördelningen av jonerna i de båda faserna (vatten och jonbytaremassa) kan följande formler användas:

laddningsbalans i lösningen:

Den totala mängden laddning i lösningen före och efter jonbyte måste vara konstant.

$$[\text{Na}^+] + 2 \times [\text{Ca}^{2+}] + \dots = C_0 \text{ (konstant)} \quad (5.3)$$

C_0 - mängden ekvivalent i lösningen (eq/l);

laddningsbalans på jonbytaremassan:

Den totala mängden laddning på jonbytaremassan före och efter jonbyte måste vara konstant.

$$[\text{RNa}] + 2 \times [\text{R}_2\text{Ca}] + \dots = Q_0 \text{ (konstant)} \quad (5.4)$$

Q_0 - mängden ekvivalent på jonbytaremassan (eq/kg);

Q_0 - mängden ekvivalent på jonbytemassan (eq/kg);

Massbalans (exempel för Na^+ , detsamma gäller för Ca^{2+} och andra joner):

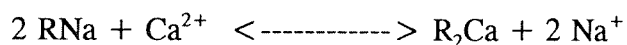
$$(p \cdot [RNa] + [Na^+])_{\text{början}} = (p \cdot [RNa] + [Na^+])_{\text{slut}} \quad (5.5)$$

p - mängden (kg) jonbytemassan per kg lösning

När alla joner på jonbytarmassan har bytts ut bör jonbytaren regenereras. Möjligheten att regenerera katjonbytaren beror på att reaktion (5.1) är en jämviktsreaktion, som förlöper i riktning höger-vänster om natriummängden i vattnet ökas kraftigt.

5.2 Stark jonbytare (Natrium-kalcium jonbytare)

Som redan sagts är i Sverige natrium-kalcium jonbytare den vanligaste jonbyttartypen som används för avhärdning. Den jonbytaren är en sk stark jonbytare i vilka natrium byts mot kalcium:

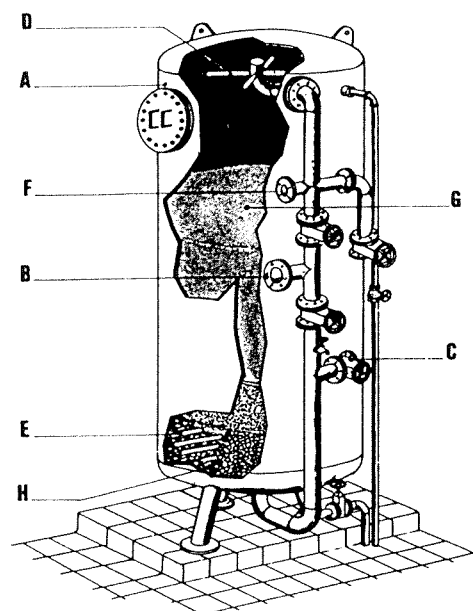


Regeneringen sker med en koncentrerad saltlösning (NaCl), som åter upptar natriumjoner och avger kalciumjoner, vilka avgår med den utspolade saltlösningen. Efter regenereringen återstår alltså en Ca^{2+} -, Na^+ -, Cl^- lösning som måste bortföras till avlopp. Därefter spolas filtret åter rent från salt varpå en ny avhärdningscykel kan börja [15].

En stor nackdel med den här metoden är att natriumhalten i det behandlade vattnet ökar starkt. Dessutom är det svårt att återanvända saltlösningen. En annan nackdel är att starka jonbytare är inte korrosionsreducerande beroende på att pH-värdet och vätekarbonathalten inte ändras och därmed inte kolsyrehalten. Starka jonbytare är därför oftast inte ett bra alternativ för att avhärda dricksvatten.

I praktiken installerar man ett antal jonbytesfilter för att avhärda vattnet. Jonbytarna regenereras växelvis.

Figur 5.2 visar ett exempel på en avhärdningsjonbytare [59].



Figur 5.2 Avhärtningsjonbytare [59]

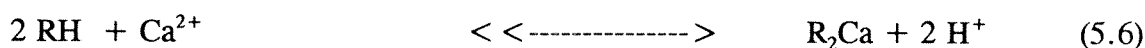
(A: Stomme, B: Inlopp för obehandlat vatten, C: Utlopp för behandlat vatten, D: Spridare, E: Behandlat vatten, F: Utlopp för saltlösning, G: Jonbytesmassa, H: Stödbädd)

Jonbytaren består av en vertikal sluten cylindrisk behållare som innehåller jonbytesmassan. En driftsperiod har fyra faser [59]:

- fixering: kalcium byts mot natrium
- returspolning av jonbytaren för att luckra upp den och lösgöra eventuella slampartiklar;
- regenerering med en natriumkloridlösning;
- sköljning: jonbytaren spolas ren, varefter en ny avhärtningscykel kan börja.

5.3 Svag katjonbytare

De laddade platserna på en svag katjonbytare består av annorlunda funktionella grupper än i en starkt sur katjonbytare. Detta resulterar i en annan affinitet till olika joner ($H^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+$). Denna typ av jonbytare har högst affinitet till vätejoner jämfört med andra vanligen förekommande joner i vatten. I övrigt är dock den relativa selektiviteten lika, jämfört med starka katjonbytare. På grund av den höga selektiviteten kan man inte förvänta att jonbytaren skall kunna avlägsna hårdhet från vattnet. Om däremot vätejonen på katjonbytaren blev neutraliserad av något alkaliskt ämne skulle jonbytaren kunna tvingas att attrahera någon annan tillgänglig katjon [15]. Till exempel:



Hårdhet och natriumjoner kommer därför att bindas till den svagt sura katjonbytaren medan vätejoner frigörs under bildning av kolsyra i samma mängd som alkaliniteten i råvattnet. Finns det fler katjoner än ekvivalent mängd alkalinitet kommer dessa därmed inte att ingå i jonbytesreaktion.

Svagt sura katjonbytare har i genomsnitt en betydligt högre jonbyteskapacitet än en starkt sur katjonbytare. En annan stor fördel är dess relativa selektivitet för olika joner. I och med affiniteten är högst för vätejonen krävs endast 100 - 110 % av den teoretiska mängden av syra för regenerering [15, 43].

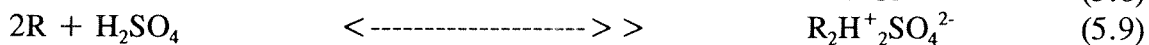
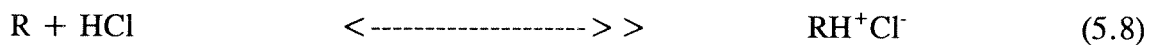
5.4 Anjonbytare

Stark anjonbytare

En stark anjonbytare består av positivt laddade platser på en fast substans. Tillsammans med varje positivt laddad plats finns bundet en utbytbar negativt laddad jon. De negativa ämnena kan bytas ut så länge de ersätts med andra negativt laddade joner.

Svag anjonbytare

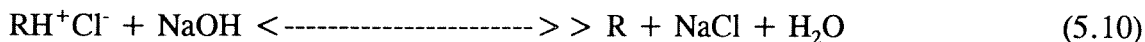
Den svaga anjonbytaren har inte positivt laddade platser vilka ger möjligheter till byte av olika anjoner. Den har istället permanent alkaliska grupper som är kapabla att reagera med syror. Följande reaktioner demonstrerar dess funktion [15]:



Hela syramolekylen avlägsnas från vattnet under bildande av ett salt.

Det finns ingen tendens för ett neutral salt (t.e.x. NaCl) och svaga syror (t.ex. (H₂CO₃)) att associera sig med jonbytaren.

Utbyteskapaciteten för en svag anjonbytare är något högre än för de flesta starka anjonbytarna. Eftersom den mättade svaga anjonbytaren är ett salt av en svag bas och stark syra, kommer alla baser som är starkare än den svaga anjonbytaren att frigöra syran från jonbytaren. Följande reaktion visar regenereringen av en svag anjonbytare [15]:

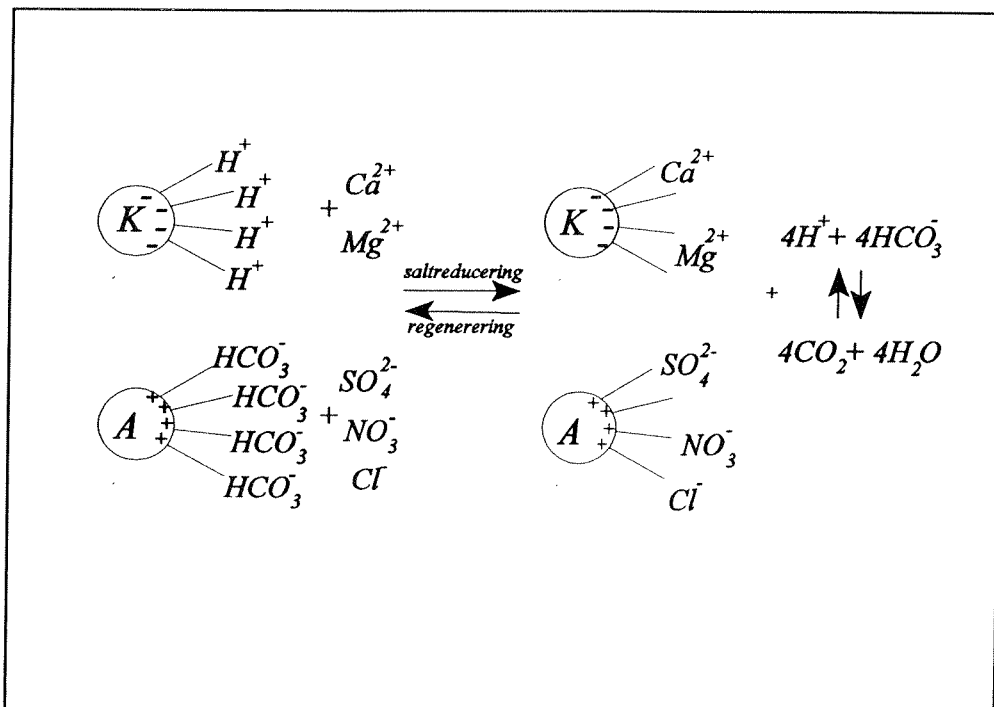


Regenerering genomförs enkelt med en lösning av natriumhydroxid varvid 110 -120 % av den teoretiska mängden normalt är tillräcklig.

5.5 CARIX-jonbytare

CARIX-jonbytaren är utvecklad i Tyskland [44,45,46,47,48] (CARIX - CARbon dioxide Regenerated Ion eXchange resins). Med denna metod är det möjligt att undgå ett antal nackdelar som gäller för natrium-kalcium jonbytare. En CARIX-jonbytare är faktiskt en blandning av en svag katjonbytare och en stark anjonbytare.

Principen på den här jonbytaren ges i figur 5.3.



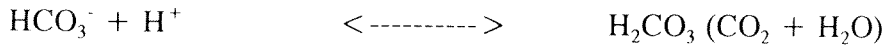
Figur 5.3 Principen för CARIX-jonbytare [47]

Den svaga katjonbytaren tar bort kalcium- och magnesiumjoner, medan den starka anjonbytaren tar bort sulfat -, nitrat-, och kloridjoner. Bytesjoner är vätejoner och vätekarbonatjoner som ger kolsyra och vatten.

Regenerationen sker tvärtom: kolsyra upplöses i vatten under tryck. Därpå leds den kolsyrarika lösningen genom jonbytaren. Syrans vätejoner regenererar katjonbytaren och vätekarbonatjonerna anjonbytaren. Avloppsvattnet innehåller på det sättet bara de salter, som fanns i vattnet från början. Med denna metod uppstår därför ingen förhöjning av saltbelastningen, som vid de vanliga jonbytarna. Kolsyra behövs visserligen i överskott, men den övergår i CO_2 som avgår till luften och kan sedan återvinnas.

Under regenereringen inställer sig ett neutralt pH-värde, eftersom regenereringslösningen har kontakt med både katjonbytare och anjonbytare. Vid detta pH-värde är det inte möjligt att överföra båda jonbytarmassorna komplett i väte- och vätekarbonatform, så att jonbytarna fortfarande upptar kalcium-, magnesium-, sulfat-, klorid och nitratjoner. Dessa joner undslipper, när jonbytaren sätts i gång igen. Det är alltså inte möjligt att ta bort alla salter i vattnet, men det är inte heller nödvändigt vid beredning av dricksvatten.

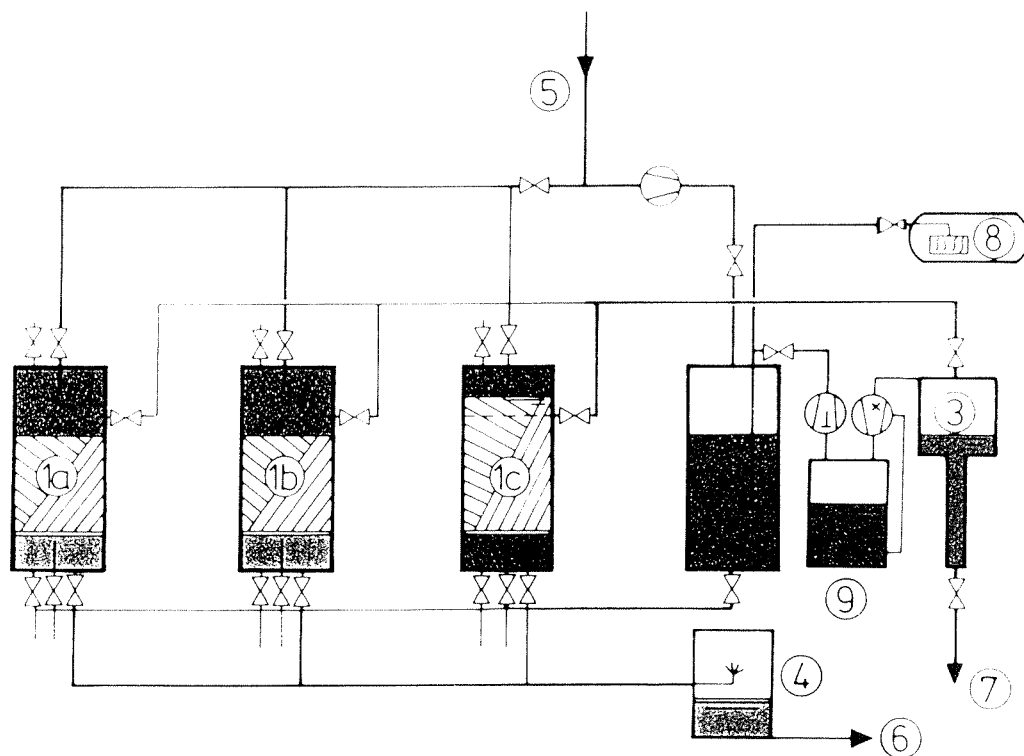
Man kan variera förhållandet mellan mängden katjonbytare och anjonbytare. Vill man framför allt ta bort hårdhet, väljer man ett högt katjon/anjon-förhållande och vid ett lägre katjon/anjon-förhållande tas förhållandevis mer sulfat bort. Om mängden katjonbytare är större än mängden anjonbytare, då tas också vätekarbonat bort enligt:



När vikten läggs på avhärdning av dricksvatten bör mängden katjonbytare vara större än mängden anjonbytare. För regenereringen är dock det optimala förhållandet mellan katjonbytare och anjonbytare 2:1 (på volymbas)

I ett vattenverk i Tyskland (Bad-Rappenau) har man förverkligat CARIX-processen. Ett schema över anläggningen visas i figur 5.4.

Anläggningen består av tre filter (3 * 85 m³/h). Medan två filter avhärdar vattnet regenereras det tredje med en CO₂-lösning. Hårdhet tas bort till 56 %, vätekarbonat till 51 %, sulfat till 75 % och nitrat till 35 %. Ungefär 9 % av vattnet används för regenerering.



Figur 5.4 Processchema över CARIX-anläggningen i Bad-Rappenau [48]
(1a-1c: blandade filterbäddar, 2: kärl för regenereringsvätska, 3: vakuum-gasborttagning, 4: luftning, 5: matningsflöde, 6: produktflöde, 7: koncentratflöde, 8: CO₂-förråd, 9: CO₂-återvinning)

6 KEMISKA METODER

6.1 Princip och teori

Kemiska metoder är metoder där kemikalier tillsätts för att en avhärdning ska ske. Avhärdning med kemikalier sker i allmänhet genom att överskrida löslighetsprodukten av CaCO_3 genom att vattnets pH-värde höjs med olika kemikalier.

Följande reaktion äger då rum:

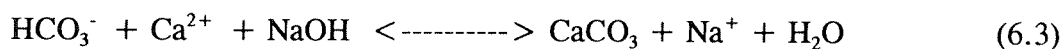


Karbonat (CO_3^{2-}) tillförs eller bildas från vätekarbonat (HCO_3^-):



De olika kemikalierna som används är [17]:

- NaOH (lut); de reaktioner som sker är:



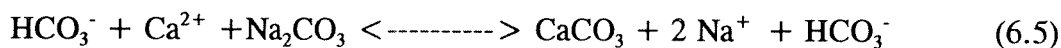
Per mol NaOH avlägsnas 1 mol Ca^{2+} och 1 mol HCO_3^- , medan 1 mol Na^+ tillförs.

- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (kalk); de reaktioner som sker är:



Per mol $\text{Ca}(\text{OH})_2$ borttags 1 mol Ca^{2+} och 2 mol HCO_3^- .

- Na_2CO_3 (soda); de reaktioner som sker är:



Per mol Na_2CO_3 borttags 1 mol Ca^{2+} och tillfogas 2 mol Na^+ .

Sambandet mellan m-talet, p-talet, Ca-halten och doseringar av de olika kemikalierna är beskrivet i bilaga 4.

Kemikalierna blir dyrare i ordningsföljden: kalk - lut - soda.

Kalk har dock ett antal nackdelar [4]:

- det behövs komplicerade anläggningar för tillverkningen av kalkmjölk;
- underhållet blir större i samband med igensättningar osv;
- mängden kalciumkarbonat som bildas är två gånger större än vad som bildas då lut eller soda används;

- kalk minskar vätekarbonathalten starkt (det kan också vara en fördel, men vätekarbonathalten bör inte bli lägre än 1 mmol/l.

Lut är enklare att använda, men natriumhalten ökar. Natriumhalten på dricksvatten bör inte vara högre än 100 mg/l [8].

Soda höjer natriumhalten på vattnet mycket starkt, medan vätekarbonathalten inte förändras. Hanteringen av soda är mer komplicerad än den för lut.

Valet mellan lut, soda eller kalk är faktiskt alltid beroende av omständigheterna, och där spelar framför allt vattensammansättningen en stor roll.

Den lägsta hårdheten som man teoretiskt kan nå bestäms av lösligheten av CaCO_3 och Mg(OH)_2 . I praktiken går en total hårdhet av 0,5 mmol/l bra att realisera. Magnesium är i genomsnitt ganska svårt att ta bort från dricksvatten med hjälp av utfällning. Det är heller inte nödvändigt.

Utfällning eller kristallisering

Med ovanstående kemikalier finns två olika avhärtningsprinciper:

- utfällning av CaCO_3 . Det uppstår ett vattenrikt voluminöst slam, som måste avvattnas och deponeras;
- kristallisering av CaCO_3 . Kristalliseringen äger rum i en fluidiserande bädd av små sandkorn, på vilket ett skikt av CaCO_3 bildas. Produkten är nära nog torr och har en hög täthet samt en hög renhet. Dessutom kan den återanvändas;

Utfällning av kalciumkarbonat ger slam, som ofta innehåller mycket föroreningar, återanvändning av slammet kan därför vara svårt.

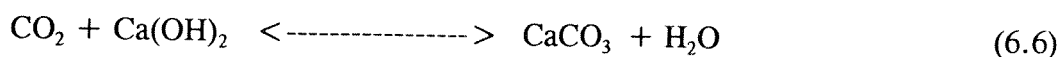
Av ovanstående skäl är det ofta bättre att tillämpa kristallisering i stället för utfällning. Därför beskrivs utfällning endast kortfattat i denna rapport.

6.2 Utfällning

Utfällning kan ske med olika kemikalier: kalk, lut och soda. För det mesta används kalk, men ibland även lut.

Utfällningsprocessen består av följande steg [18]:

- *Förbehandling;*
Ofta är det bra att ta bort kolsyra innan avhärtningen eftersom kolsyra förbrukar kalk enligt:



Om vattnet ej avsyras produceras mer slam och mer kalk måste användas.

Kolsyrareducering kan ske med hjälp av luftning. Detta är framför allt nödvändigt om kolsyrahalten är hög.

- *Snabb inblandning och flockning;*

Effektiv inblandning är nödvändig och härvid blandas kalciumhydroxid (eller lut), ingående vatten och det recirkulerat slam. Recirkulering av producerat slam är viktigt, eftersom det på det sättet erbjuds ympmaterial som gör att större partiklar kan formas och som sedimenterar, förtjockas och avvattnas lättare.

Efter blandningen leds vattnet till flockningsbassänger, där övermättad kalciumkarbonat faller ut och små partiklar får chansen att agglomerera till större partiklar. Ofta används både syntetiska polymerer och oorganiska koagulanter för att förbättra partikelsammanslagningen.

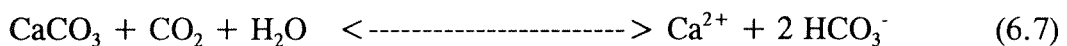
- *Sedimentering;*

I sedimenteringen tas kalkpartiklarna bort från vattnet. Den hydrauliska belastningen på sedimenteringsbassängerna (upflow, solids-contact clarifier) uppgår till 2,5 till 3,5 m/h. I genomsnitt räcker en uppehållstid på tre timmar.

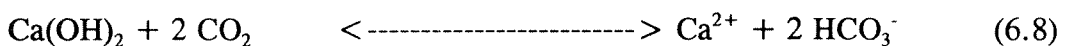
- *Rekarbonatisering;*

Rekarbonatisering innebär att kolsyra doseras till vattnet.

Det finns två syften med en rekarbonatisering: pH-anpassning och eliminering av övermättad kalciumkarbonat:



samt neutralisering av hydroxidalkaliniteten (övermättad kalciumhydroxid):



Delströmvavhårdning (i vilken en del av vattnet avhårdas nästan helt och därpå blandas med det icke avhårdade vattnet) är ett sätt att minska rekarbonatiseringen eftersom kolsyran och vätekarbonaten i vattnet som strömmar i förbigångsledningen neutraliserar övermättad kalciumhydroxid och kalciumkarbonat.

- *Filtrering;*

Efterbehandlingen består av ett filtreringssteg i vilket små partiklarna som återstår efter sedimenteringen avlägsnas.

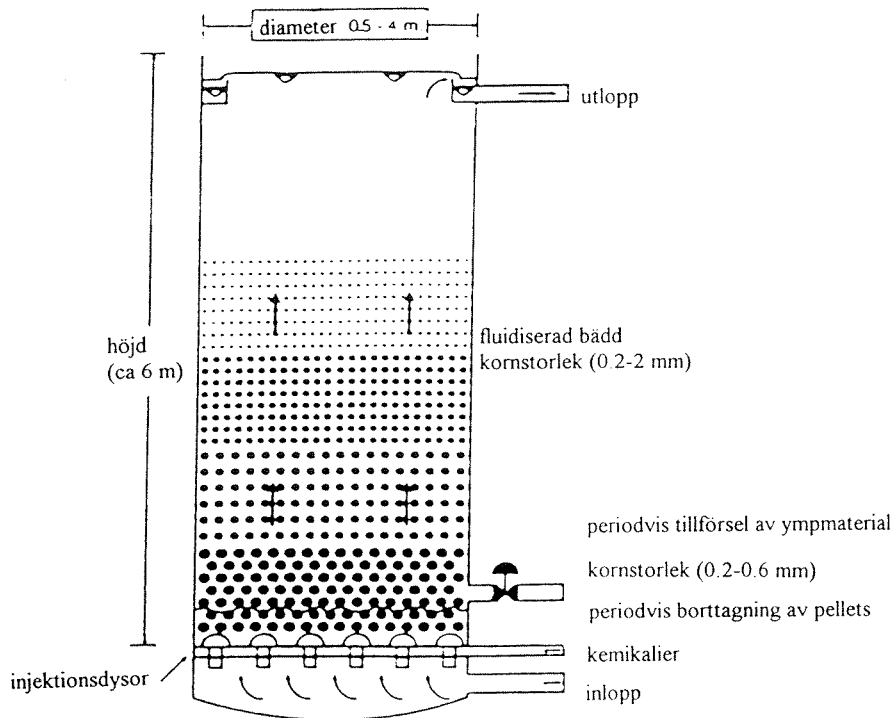
6.3 Kristallisering

Avhårdning med hjälp av kristallisering äger rum i en speciell avhårdningsreaktor. Den har huvudsakligen utvecklats i Holland [33,34,43], men tillämpas och studeras också i Tyskland [35,41] och England. En sådan reaktor är en fluidiserande bädd av sandpartiklar. I nedre delen av reaktorn doseras det vatten som skall avhårdas och de

nödvändiga kemikalierna. Övermättad kalciumkarbonat kristalliserar därigenom på sandpartiklarna. När partiklarna har en bestämd storlek avtappas de och ny sand tillföres.

Principer för reaktorer

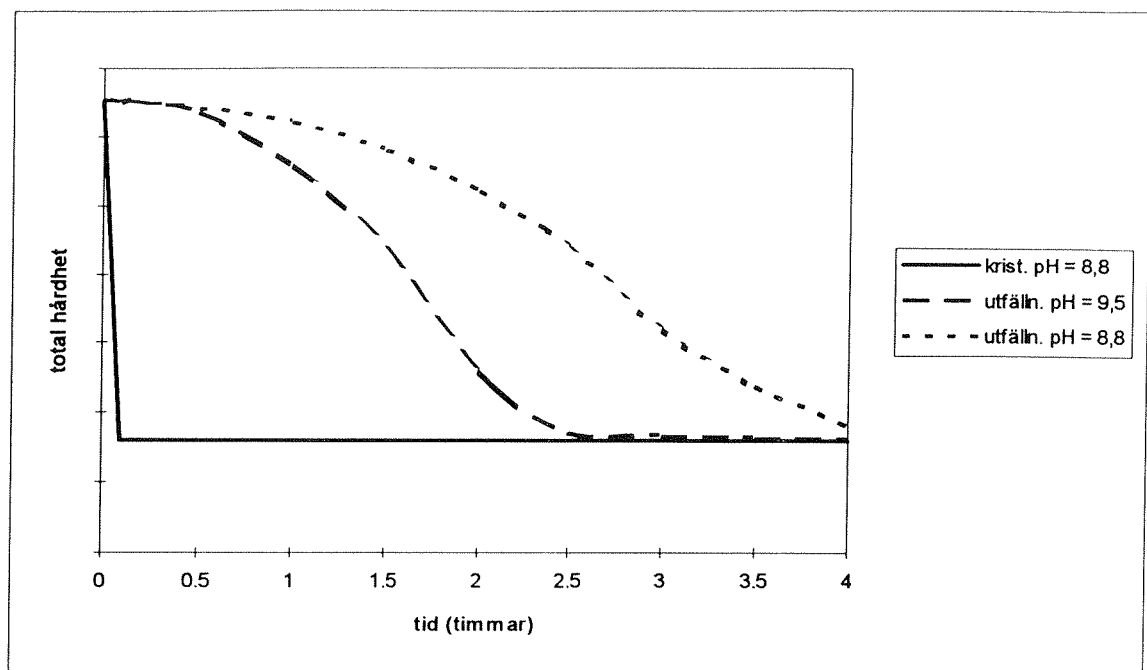
Principen för en avhärtningsreaktor visas i figur 6.1.



Figur 6.1 Principen för en avhärtningsreaktor

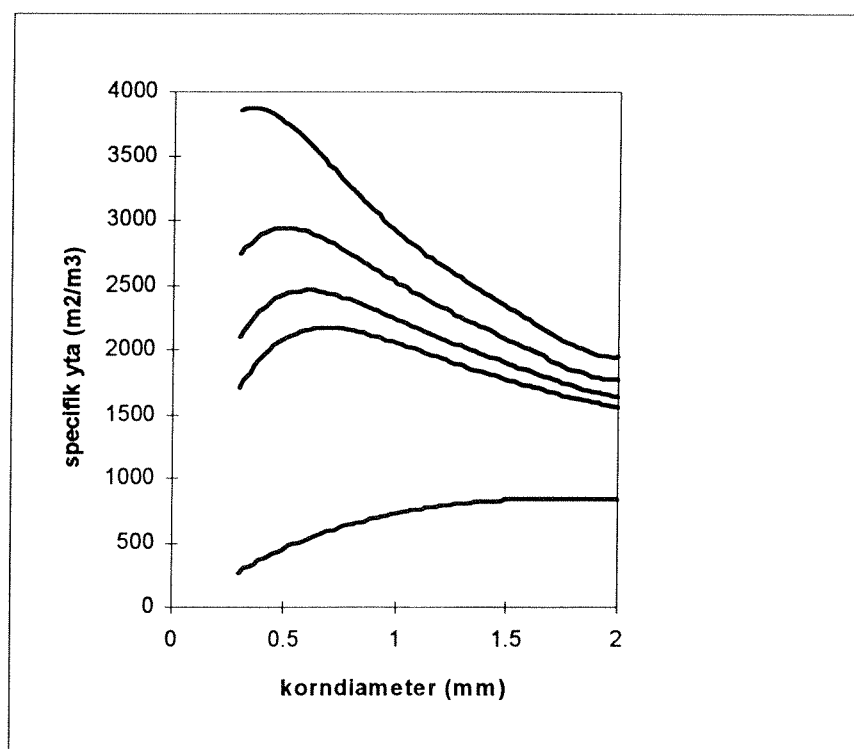
Avhärtnings medelst kristallisering (i en avhärtningsreaktor) förlöper mycket snabbare än avhärtnings medelst utfällning, eftersom den kristallisationsyta som erbjuds är mycket större vid kristallisering. Dessutom uppträder utfällning av kalciumkarbonat först om SI-värdet är 1 till 1,5 medan kristallisering av kalciumkarbonat sker redan vid ett SI-värde av 0,3 till 0,4 d v s kristallisering sker vid ett lägre pH-värde (SI betyder pH-skillnaden mellan ett vattens pH och pH vid kalk-kolsyra jämvikt.)

En illustration härav ges i figur 6.2.



Figur 6.2 Hastigheten på avhärdning medelst utfällning och kristallisering [4]

Hastigheten på kristalliseringen blir högre om den specifika ytan ökar. Den specifika ytan bestäms av kornstorleken och flödehastigheten (figur 6.3).



Figur 6.3 Den specifika ytan som funktion av kornstorleken och flödehastigheten [4]

Flödehastigheten väljs mellan den minimala hastigheten då fluidisering börjar och den maximala hastigheten då utspolning av sandpartiklar börjar. Hastigheten väljs i allmänhet mellan 60 och 120 m/h.

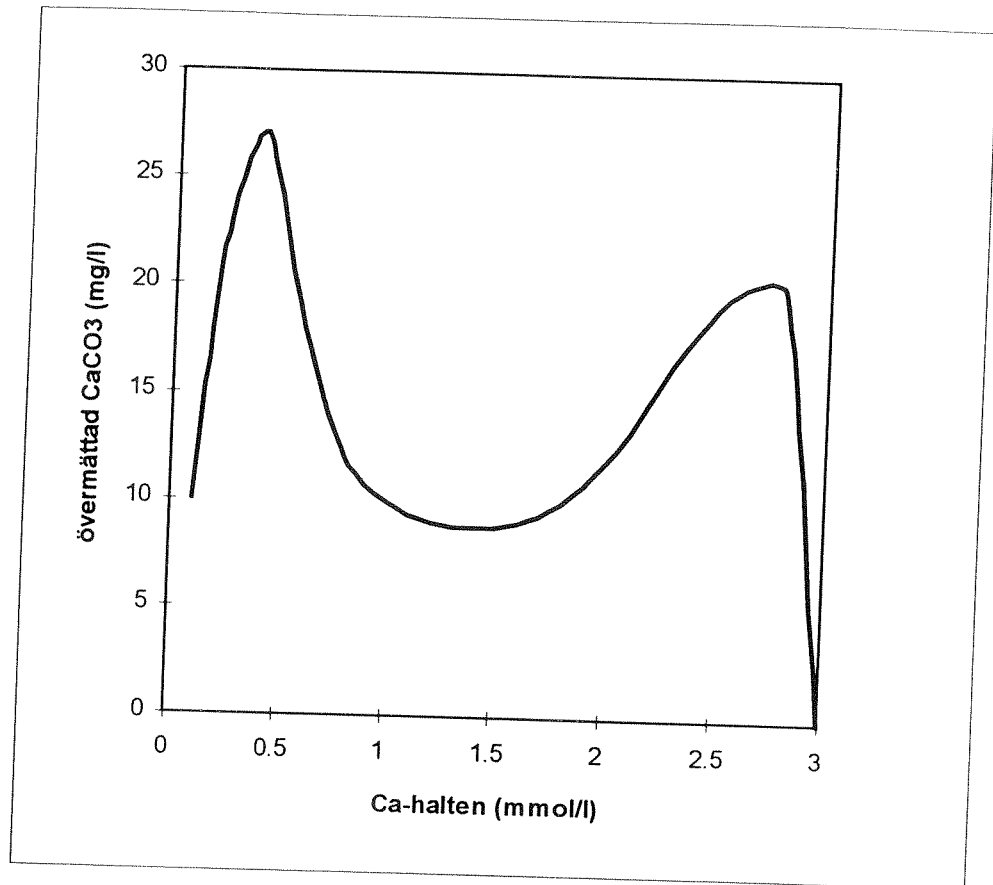
Processparametrar som är viktiga för en bedömning av reaktorns funktion är:

- vattensammansättning (Ca, Mg, HCO_3^- , osv i ingående och utgående vatten);
- pH, grumlighet (före och efter kokning);
- SI-värde, övermättad kalciumkarbonat.

Processvariabler

Processvariabler som måste ställas in på lämpliga värden:

- *kornstorlek;*
Framför allt är den specifika ytan nere i reaktorns nedre del viktig för reaktorns funktion. Denna bestäms av diametern på de kalkklädda sandkornen, flödehastigheten och temperaturen. För det mesta är diametern på de avlägsnade kalkklädda kornen omkring 1 mm. Den optimala diametern måste bestämmas i praktiken.
- *höjd på kornbädd utan fluidisering;*
Beroende av reaktortypen uppgår kornbäddshöjden (i oexpanderat tillstånd) till 2 till 5 meter. Kvaliteten på vattnet i utloppet är i regel inte starkt beroende av kornbäddshöjden.
- *flödehastighet;*
Den varierar mellan 60 och 120 m/h. I detta intervall är utloppsvattnets kvalitet nästan densamma.
- *avhärtningssträcka;*
Ett ganska vanligt samband mellan övermättad kalciumkarbonat och total hårdhet ges i figur 6.4.



Figur 6.4 Övermättad kalciumkarbonat som funktion av totalhårdheten i reaktorutloppet [4]

Figuren förklaras nedan från höger till vänster:

När man inte avhärdat och vattnet är i jämvikt finns det ingen övermättad kalciumkarbonat. Om man nu börjar att tillföra t ex. lut stiger SI-värdet och därmed mängden övermättad kalciumkarbonat, medan hårdheten inte förändras i detta skede. Om man tillfogar mer lut blir SI-värdet högre och högre tills dess att det minimala SI-värdet vid vilket kristallisering äger rum överskrids. Då kristalliserar kalciumkarbonat ut till en bestämd nivå av övermättning (lägre än förut). Tillför man mer lut sjunker hårdheten medan övermättningen förblir nästan detsamma. Tillför man mer lut blir det svårare och svårare att avhärda. Det märks genom att mängden övermättad kalciumkarbonat ökar.

- *ympmaterial;*

Som ympmaterial kan man använda sand (2700 kg/m^3), granatsand (4100 kg/m^3) eller kalciumkarbonat (2850 kg/m^3). Kalciumkarbonatkorn får man genom att mala de kalkklädda sandkorn, som producerades i reaktorn. Granatsand har den fördelen att densiteten är så hög att storleken (av både ympmaterial och avtappade korn) kan vara mindre. På det sättet förstoras den specifika ytan i reaktorn. Därigenom blir mängden övermättad kalciumkarbonat i reaktorns utgående vatten mindre.

- *koncentration lut eller kalk;*
Man brukar använda lut med en koncentration mellan 2,5 och 25 %, medan för kalk tillämpas en koncentration mellan 1 och 2,5 %. Denna koncentration har ingen stor effekt på reaktorns funktion.

Valet mellan lut, kalk och soda är beroende av olika faktorer:

- vattensammansättning. För kalk, lut och soda tas respektive 2, 1, och 0 mol vätekarbonat bort per mol borttagen kalcium. Förhållandet mellan hårdhet och vätekarbonathalt är därför av betydelse för vilken kemikalie som bör användas vid avhärdningen. För det mesta är detta förhållande ca. 1,5 till 2 mol/mol (figur 4.5), så att kalk eller lut kan användas.
- kopparkorrosion. Tillämpning av kalk är fördelaktigt att använda ur kopparkorrosionshänseende. Med kalk fås ju en lägre vätekarbonathalt och ett högre pH-värde på det avhärdade vattnet (§3.1) [31].
- natriumhalten. Med lut och framför allt soda ökar natriumhalten på vattnet. Med kalk sker inte detta.
- kostnader. Kemikaliekostnaderna är dyrast vid tillämpning av soda och billigast vid tillämpning av kalk. Kalk kräver däremot lite högre investeringskostnader och större underhåll och arbete.
- anläggning. Anläggningar med lut är lättare att driva än dem med kalk.

Det finns olika typer kalk som kan användas: släckt och osläckt kalk. Osläckt kalk är billigare än släckt kalk men måste släckas innan det kan användas [36]. Driften med osläckt kalk är därför komplicerad. Under de senaste åren har mycket forskning om avhärdning med kalk genomförts. Det har lett till en stark minskning av halten suspenderande ämnen i reaktorns utlopp [24,26,28,29,37,39]

Reaktortyper

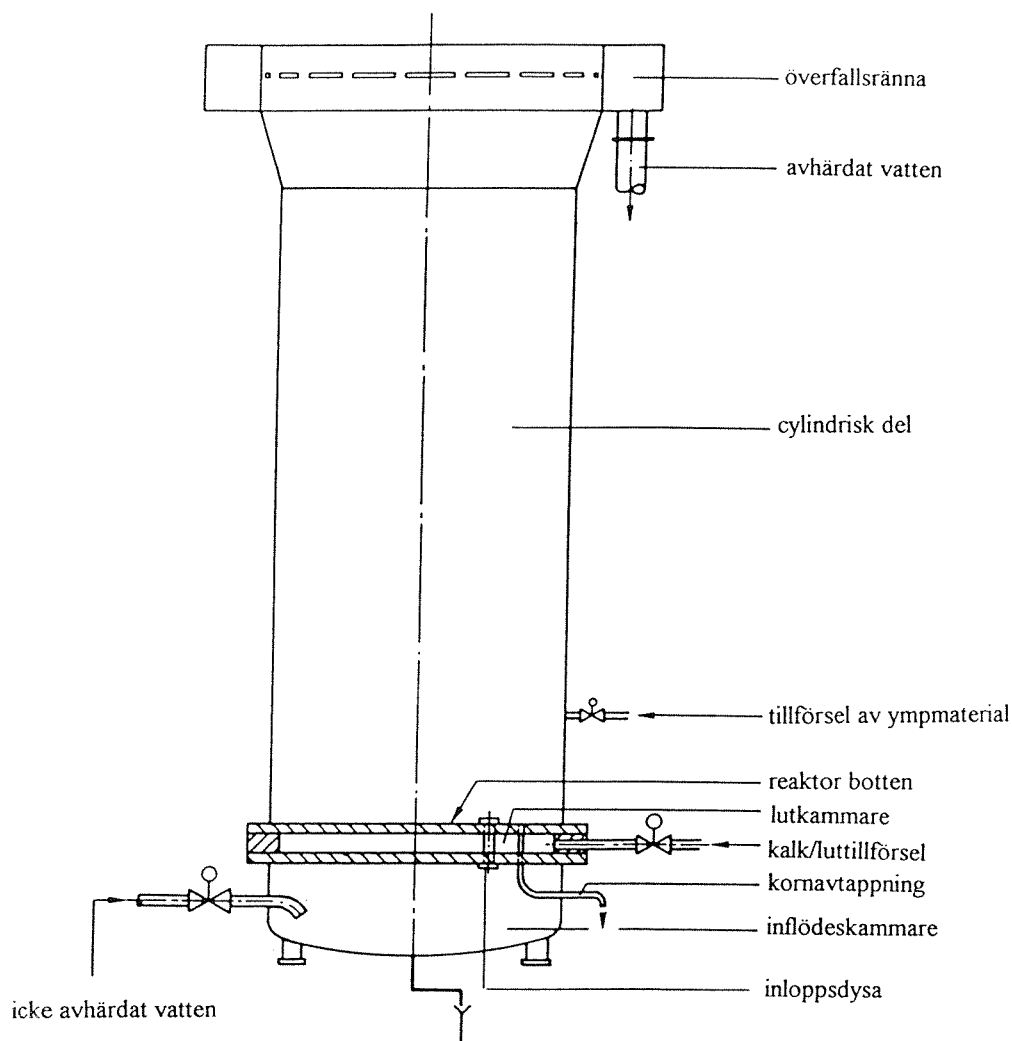
Det finns tre reaktortyper som tillämpas för kristallisering:

- reaktor med dysbotten (figur 6.5);
- reaktor med ventilbotten (figur 6.6);
- reaktor med tangentiellt inlopp (figur 6.7).

En reaktor med dysbotten har många inloppspunkter via dysor som är gemensamma för vatten och kemikalie [29].

Kännetecken:

- många inloppsdysor för vatten och kemikalie samt cylindrisk utformning av reaktorn medför att vatten och kemikalie blandas relativt sett snabbt och jämnt över reaktorns tvärsektion;
- inblandningszonen har relativt liten höjd vilket ger ett flöde någorlunda fritt från kortslutningsströmmar och därmed en relativt homogen skiktning av pellets efter storlek;
- man tar ut de största kornen eftersom dessa finns i reaktorns nedre del;
- låg höjd på reaktor - dock högre för lut än för kalk;
- låg grumlighet i utgående vatten;
- relativt sett stort underhåll eftersom dysor och slangar lätt sätter igen och behöver rensas.

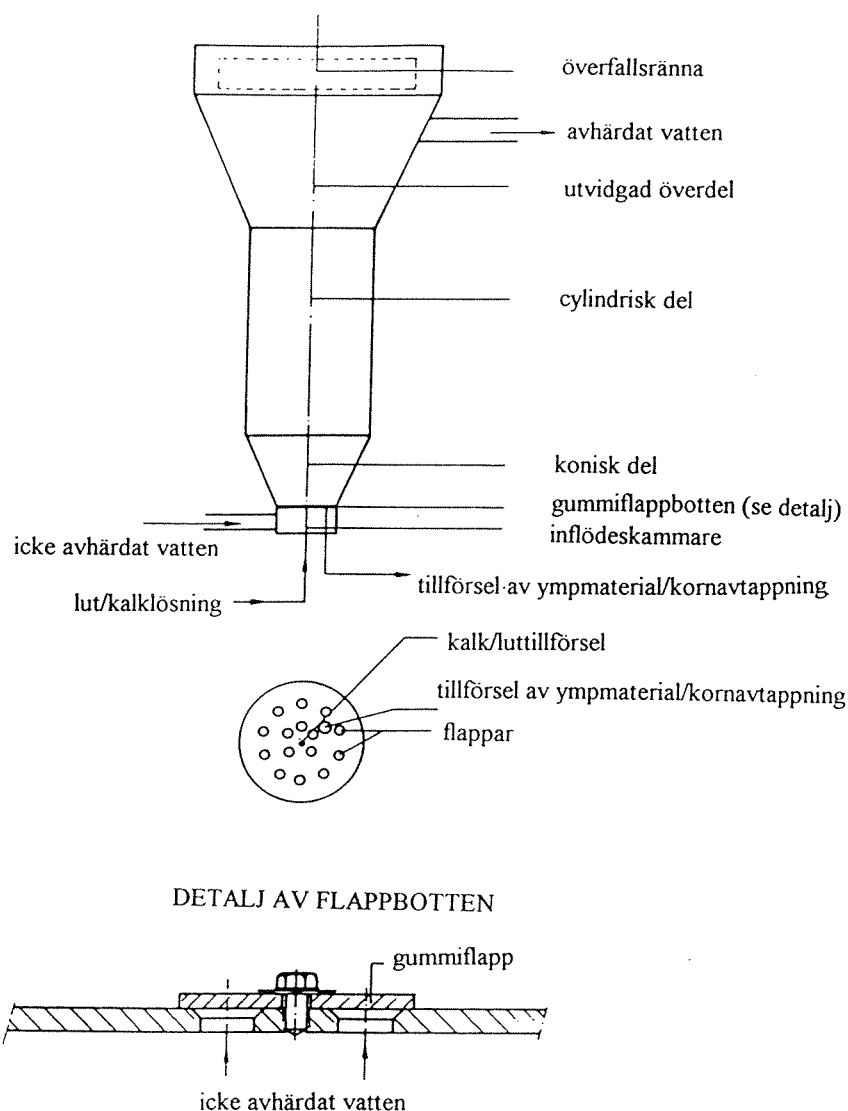


Figur 6.5 Reaktor med dysbotten [4,30]

En reaktor med ventilbotten har många inloppspunkter för vatten men bara en doseringspunkt för kemikalie.

Kännetecken:

- blandningen av vatten och kemikalie äger rum i kolonnens nedre del där flödet är något turbulent eftersom detta krävs för att få en bra inblandning av kemikalien som endast doseras i en punkt;
- flödet fördelas någorlunda jämnt över kolonnens tvärsektion;
- inblandningszonen har relativt måttlig höjd;
- risk för kortslutningsströmmar en bit upp i kolonnen;
- man tar ut pellets med en viss skillnad i storlek på grund av turbulensen;
- relativt låg till hög grumlighet i utgående vatten;
- måttlig höjd på kolonnen;
- måttligt underhåll.

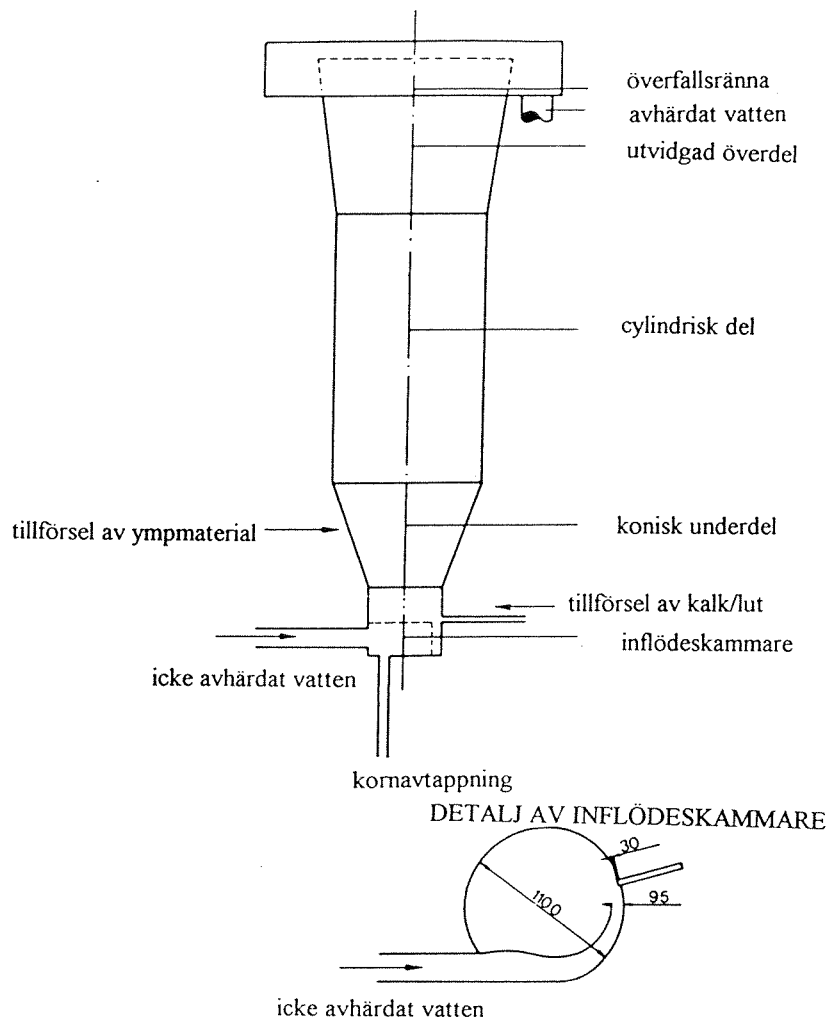


Figur 6.6 Reaktor med ventilbotten [4,30]

En reaktor med tangentiellt inlopp [25]

Kännetecken:

- vattnet leds in i en punkt och kemikalier doseras i en annan punkt och det krävs därför att flödet är turbulent för att det skall bli en effektiv inblandning;
- blandningen av vatten och kemikalie äger rum en bit upp i reaktorn;
- risk för kortslutningsströmmar långt upp i reaktorn;
- stor höjd på reaktorn för att allt övermättad kalciumkarbonat skall kunna kristallisera och (om kalk som kemili tillämpas) för att kalciumhydroxid skall kunna gå i lösning trots att en vis del av flödet transporteras snabbt genom reaktorn;
- relativt hög grumlighet i utgående vatten;
- man tar ut pellets med stor skillnad i storlek på grund av turbulent strömning;
- driftsäker med mycket lite underhåll.



Figur 6.7 Reaktor med tangentiellt inlopp [4,30]

Placering av en kristalliseringsreaktor i vattenverket

Här måste man göra skillnad mellan grundvattenrening och ytvattenrening.

Grundvattenrening:

I figur 6.8 presenteras ett schema för ett enkelt grundvattenverk:

1	<u>råvatten</u>
2	<u>luftning</u>
3	<u>förfiltrering</u>
4	<u>luftning</u>
5	<u>snabbfiltrering</u>

Figur 6.8 Schema för ett enkelt grundvattenreningsverk

Avhärdning med hjälp av kristallisering kan ske på alla platserna 1 tom 5 [17]. När man avhärdar råvatten (plats 1) ska en del av järnet (som Fe^{2+}) i råvattnet inbakas i kornen. Ibland ger detta en destabilisering av kornen varigenom en större "carry-over" uppstår [42]. Dessutom ger fosfat i råvatten också en försämring av avhärdningen (kalciumfosfat och kalciumkarbonat har helt olika kristallstruktur som inte passar med varandra).

Efter den första luftningsfasen (plats 2) oxideras Fe^{2+} till Fe^{3+} . Fe^{3+} faller ut som $\text{Fe}(\text{OH})_3$ och fosfat tas bort som $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. De bildade flockarna kan delvis inbakas i kornen utan att detta leder till en destabilisering av kornen.

En fördel med den här platsen är att en del av järnet kommer att bakas in i kornen, så att belastningen på filtren blir mindre. Avhärdning efter förfiltrering (plats 3) ger ett ganska robust system. Suspenderat material i råvattnet tas bort på filtren och hindrar därför inte avhärdningen.

Avhärdningen efter den andra luftningen (plats 4) ger små skillnader jämfört med avhärdning på plats 3. Man kan endast förvänta en kemikaliebesparing eftersom CO_2 tas bort i luftningen .

Avhärdning av rent vatten (plats 5) är inte så attraktiv av ekonomiska skäl och bjuder inga fördelar i jämförelse med avhärdning på plats 3 och 4. Efter avhärdningen måste ju en snabbfiltrering äga rum.

För ytvattenbehandling är ovanstående principer desamma, men är det svårare att ge en allmän bild eftersom ytvattenanläggningarna skiljer sig mycket ifrån varandra.

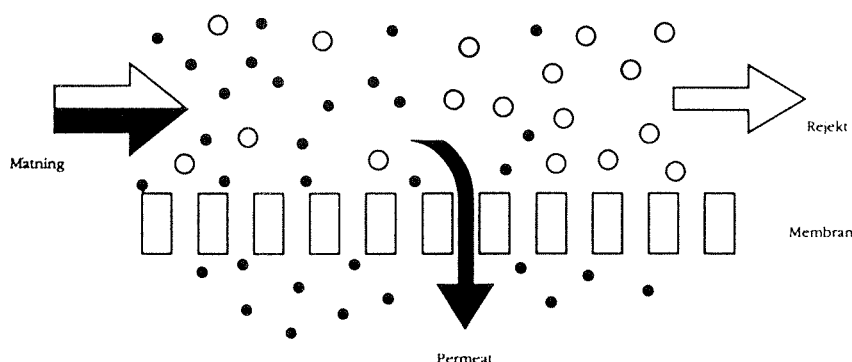
7 MEMBRANTEKNIKER

7.1 Princip och teori

De senaste åren har membranfiltrering utvecklats till en pålitlig teknik som bör tas i övervägande som alternativ i dricksvattenberedningen [22,50,54,55,56]. Nästan alla föroreningar tas bort helt och hållet, vilket gör att kvalitetsförbättringen blir ganska stor. Dessutom har kostnaderna för membran sänkts betydligt genom utveckling och design av nya membran.

Membranfiltrering är en process i vilken vatten och föroreningar avskiljs genom ett semi-permeabelt membran. Den drivande kraften för separeringen är vattentrycket. Förutom det reade vattnet bildas en anrikad ström (saltlösning) som leds till avlopp eller behandlas vidare.

I figur 7.1 ges en förenklad framställning av processen. Framför membranerna brukar man placera ett filter för att skydda membranerna för grova partiklar.



Figur 7.1 Membranprocessen [15]

Avskiljningsgraden av föroreningar bestäms huvudsakligen av membranets porstorlek, men adsorption och diffusion kan också vara betydelsefulla processer. Ett membran är faktiskt en selektiv barriär som tillåter en passage av några ämnen medan andra ämnen hålls borta.

Olika membranprocesser såsom hyperfiltrering, nanofiltrering, ultrafiltrering och mikrofiltrering kan nämnas. För avhärdning är framför allt hyperfiltrering och nanofiltrering intressant. Hyperfiltrering, som också kallas omvänd osmos, avskiljer nästan alla komponenter i vattnet. Vid nanofiltrering avskiljs framför allt större organiska ämnen och tvåvärda joner, medan envärda joner endast tas bort till ungefär 50 %.

Teori

Vid membranfiltrering kan tre flöden särskiljas: matnings-, rejekt (eller koncentrat-)- och permeat (eller produkt-)flöde [19,21]:

$$\text{massbalans vatten:} \quad Q_m = Q_p + Q_k \quad (7.1)$$

$$\text{utbyte (recovery) } r: \quad r = Q_p/Q_m \quad (7.2)$$

$$\text{massbalans salt:} \quad Q_m \cdot C_m = Q_k \cdot C_k + Q_p \cdot C_p \quad (7.3)$$

$$\text{Ovanstående ger:} \quad C_k = C_m / (1-r) \quad (C_p = 0) \quad (7.4)$$

Q_m	=	matningsflöde (m^3/s)
Q_p	=	produktflöde (m^3/s)
Q_k	=	koncentratflöde (m^3/s)
r	=	utbyte (-)
C_m	=	matningskoncentration (g/m^3)
C_p	=	produktkoncentration (g/m^3)
C_k	=	koncentratkoncentration (g/m^3)

Vid membranfiltrering av dricksvatten bestäms utbytet, r , huvudsakligen av lösligheten av olika salter. När tex $r = 0.8$ blir koncentrationen av ett ämne i rejektvattnet (C_k) fem gånger så hög som i matningsflödet (C_m) och det finns risk att löslighetsprodukten av olika salter som CaSO_4 och CaCO_3 kommer att överskridas. Det leder till utfällning i rejektvattnet och därmed till igensättning av membranen. För att förhindra CaSO_4 -utfällning i rejektvattnet brukar man dosera polyfosfater och för att förhindra CaCO_3 -utfällning tillsätts syra så att rejektflödet är i kalk-kolsyrajämvikt.

Den drivande kraften för membranfiltrering är tryckskillnaden ΔP över membranen minskat med den osmotiska tryckskillnaden $\Delta \Pi$ som uppstår över membranen under filtreringen. Dessutom gäller att vattenflödet genom membranen är proportionellt mot membranytan A och membranvattenpermeabiliteten K_1 samt omvänt proportionellt mot viskositeten μ . Enligt formel [19,21]:

$$Q_p = \frac{K_1}{\mu} \cdot A \cdot (\Delta P - \Delta \Pi) \quad (7.5)$$

Det osmotiska trycket är enligt den ideala gaslagen lika med:

$$\Pi = \frac{R_g \cdot T \cdot C}{M} \quad (7.6)$$

Q_p	=	produktflöde (m^3/s)
K_1	=	membran vattenpermeabilitet (m)
μ	=	absolut viskositet (0,0013 N s/ m^2 vid 10 °C)
A	=	yta membran
ΔP	=	tryckskillnad (N/m^2)
$\Delta \Pi$	=	osmotisk tryckskillnad (N/m^2)
Π	=	osmotisk tryck
R_g	=	gaskonstant (8,3 J/ $^\circ\text{K}\cdot\text{mol}$)
T	=	temperatur ($^\circ\text{K}$)
C	=	koncentration
M	=	molmassa

Enligt HSD (Homogeneous Solution Diffusion)-modellen [38] kan antas att:

$$\Delta P = \frac{P_m + P_k}{2} - P_p \quad (7.7)$$

och

$$\Delta \Pi = \frac{\Pi_m + \Pi_k}{2} - \Pi_p \quad (7.8)$$

P_m	=	tryck mättningsflöde (N/m^2)
P_k	=	tryck koncentratflöde (N/m^2)
P_p	=	tryck produktflöde (N/m^2)
Π_m	=	osmotisk tryck mättningsflöde (N/m^2)
Π_k	=	osmotisk tryck koncentratflöde (N/m^2)
Π_p	=	osmotisk tryck produktflöde (N/m^2)

Trycket vid produktssidan är ungefär 0:

$$P_p \approx 0 \quad (7.9)$$

och trycket på andra sidan membranet är ungefär lika högt överallt, dvs att

$$P_m \approx P_k \quad (7.10)$$

vilket ger:

$$\Delta P \approx P_m \quad (7.11)$$

När dessutom koncentrationerna i koncentratflödet är $1/(1-r)$ gånger högre än i matningsflödet gäller

$$\Pi_k \approx \Pi_m \cdot \frac{1}{1-r} \quad (7.12)$$

I produktströmmen är det osmotiska trycket ungefär 0:

$$\Pi_p \approx 0 \quad (7.13)$$

Sammanlagt blir det nu:

$$\Delta \Pi \approx \Pi_m \cdot \frac{2-r}{2 \cdot (1-r)} \quad (7.14)$$

För dricksvatten är $\Delta \Pi$ i allmänhet mycket lägre än ΔP och är vattenflödet genom membranen näst membrankarakteristikerna framför allt beroende av tryckskillnaden ΔP .

Saltmängd genom membranen ges [19,21] som:

$$Q_s = K_2 \cdot A \cdot \Delta C \quad (7.15)$$

Q_s	=	saltmängd (g/s)
K_2	=	membran saltpermeabilitet (m/s)
A	=	membranyta
ΔC	=	koncentrationsskillnad

Enligt HSD-modellen [38]:

$$\Delta C = \frac{C_m + C_k}{2} - C_p \quad (7.16)$$

När dessutom

$$C_p \approx 0 \quad (7.17)$$

och

$$C_k = C_m \cdot \frac{1}{1-r} \quad (7.18)$$

blir

$$Q_s = K_2 \cdot A \cdot C_m \cdot \frac{2r}{2 \cdot (1-r)} = Q_{so} \cdot \frac{2-r}{2 \cdot (1-r)} \quad (7.19)$$

och

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_m} = 1 - \frac{Q_s}{Q_m \cdot C_m} = 1 - (1-R_0) \cdot \frac{2-r}{2(1-r)} \quad (7.20)$$

Q_{so} = saltflux om $r = 0$ (g/s)

R = retention (-)

R_0 = retention om $r = 0$ (-)

Retentionen är membranets förmåga att hålla emot salter.

7.2 Hyperfiltrering

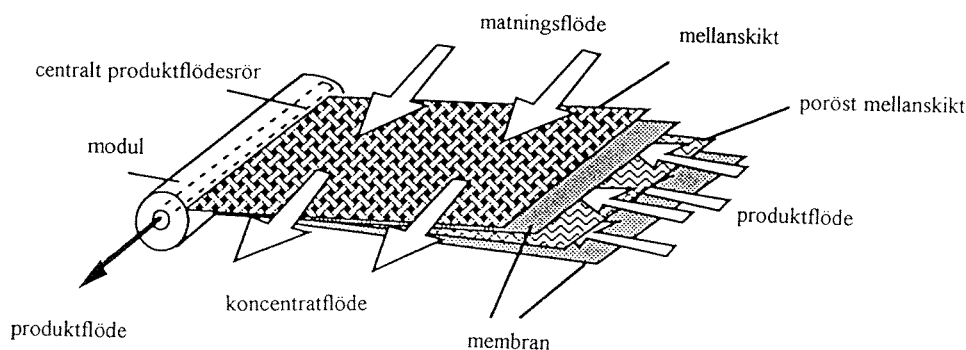
Hyperfiltrering kallas också omvänd osmos (RO, Reverse Osmosis). Med denna membran teknik avskiljs nästan alla komponenter från vattnet (90-99 % av oorganiska salter, 95-99 % av organiska föroreningar och nära 100 % av finfördelat kolloidalt material (bakterier, virus, kolloidalt kisel osv)).

Eftersom det inte är nödvändigt och önskvärt att ta bort alla komponenter från vattnet bör man tillämpa en delströmvårdning, dvs det avsaltade och icke-behandlade vattnet blandas.

RO-membranen monteras i ett tryckkärl, som ofta benämns RO-modul. Många olika typer av membranmoduler har utvecklats:

	Specifik yta (m^2/m^3)
Tubformiga	20 - 200
Plana	400 - 600
Spirallindade	900 - 1000
Ihåliga fibrer	ca. 10.000

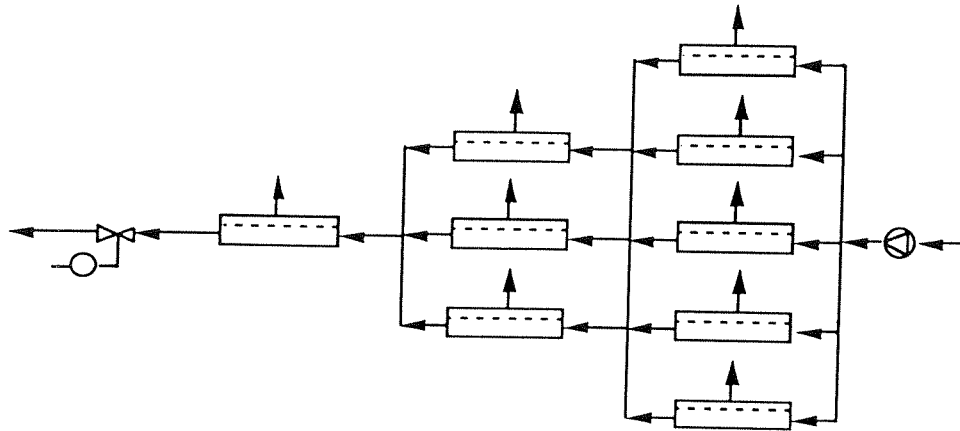
Ju högre den specifika ytan är desto större är känsligheten för fouling (nedsmutsning) och igensättningar. Det har visat sig att för dricksvattenproduktionen är den spirallindade konfigurationen den bästa kompromissen angående kompaktitet, fouling och robusthet (figur 7.2).



Figur 7.2 Spirallindad modul [57]

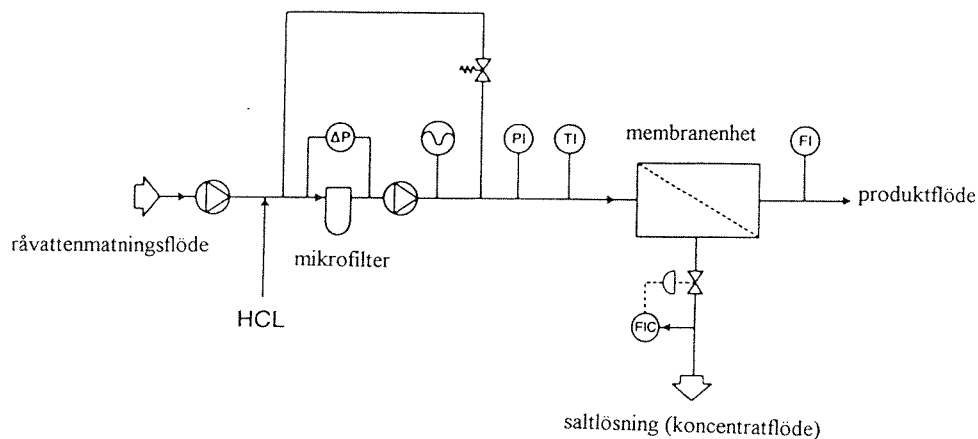
Ett membransystem består av en högtryckspump och ett antal moduler. En modul har ofta en kapacitet på ungefär $5 \text{ m}^3/\text{h}$ (diameter 0.2 m, längd 6 m). I de flesta fall behövs därför många moduler (parallellbygda) för att få det önskade flödet.

För att få en tillräcklig hastighet längs membranen, för att undvika fouling, är utbytet per modul vanligtvis inte högre än 40 - 50 %. Man får ett högre utbyte genom att ställa membran i serie. Det kallas membran 'staging', seriekopplade membran. Antalet moduler i det andra steget är 50 till 60 % (1-r) av antalet membran i det första steget osv. Så bygger man ett membranträd (figur 7.3.).



Figur 7.3 Ett membranträd [57]

Ett membransystem består av en högtryckspump, micron cartridge filter (porstorlek vanligen 10 μm) för att skydda membranet mot partiklar och modulerna själva. Figur 7.4 visar ett schema över en membranfiltreringsenhet. Moduler har standarddimensioner och grupperas i en fast utbytbar filterpatron.



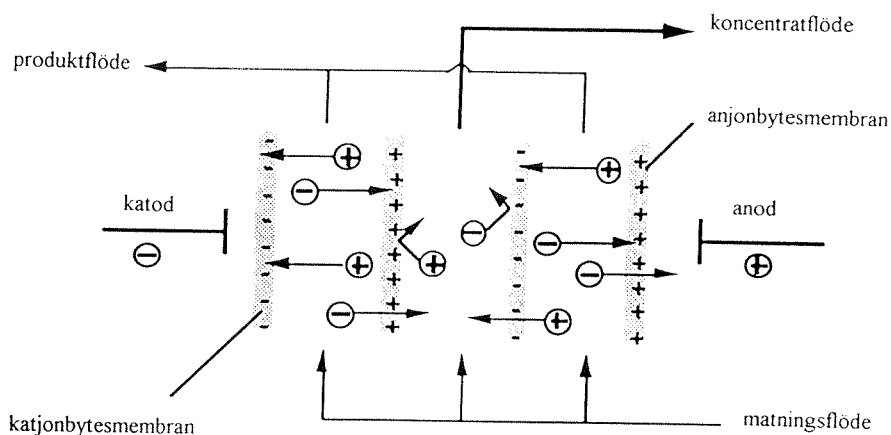
Figur 7.4 Schema över en membranfiltreringsenhet [19]

7.3 Nanofiltrering

Nanofiltrering [51,52,53] kan jämföras med hyperfiltrering. Den största skillnaden mellan hyperfiltrering och nanofiltrering är att vid nanofiltrering tas bara en del av salterna bort. Envärda joner tas bort till en mindre del (ungefär 50 % beroende på jontyp och omständigheter). Tvåvärda joner tas bort till mer än 90 %. Nanofiltrering är alltså liksom hyperfiltrering lämplig för avhärdning. Fördelen med nanofiltrering i jämförelse med hyperfiltrering är att man kan driva nanofiltrering vid ett mycket lägre tryck, ungefär 10 bar, än hyperfiltrering, som oftast kräver högre tryck än 20 bar.

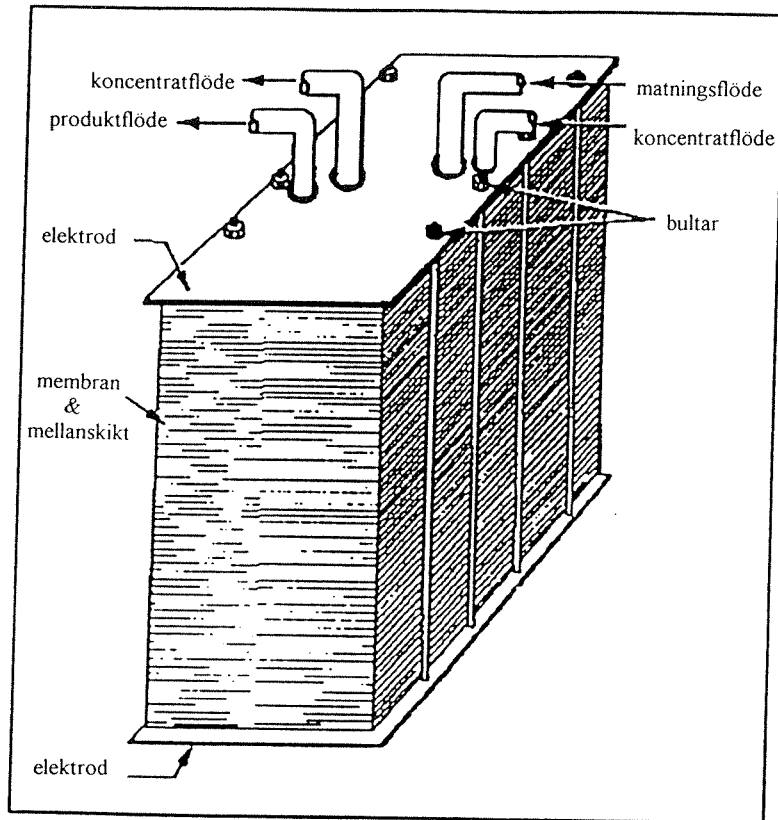
7.4 Elektrodialys

Elektrodialys är en membranavsaltningsprocess i vilken vissa joner kan tas bort genom att man i ett elektriskt fält placerar semipermeabla membran på vilka positiva och negativa joner avskiljs. Man skiljer på anjon- och katjonmembran. Placeras båda växelvis i ett elektriskt fält mellan en anod och en katod dras negativa joner till anoden och positiva joner till katoden. Positiva joner kan diffundera genom katjonmembran men inte genom anjonmembran medan det är tvärtom för negativa joner. På det sättet skiljs det ingående flödet i en produkt- och saltström (figur 7.5).



Figur 7.5 Principen elektrodialys [57]

En kommersiell ED-enhet består av några hundra vertikalt uppstaplade cellpar som är fastsatta mellan två motsatt laddade elektroder (figur 7.6.).



Figur 7.6 En kommersiell ED-enhet [61]

8 FÖR- OCH NACKDELAR MED DE OLIKA METODERNA

8.1 Förbehandling

Med förbehandling tar man bort de ämnen som stör avhärtningsprocessen. För varje typ av avhärtningsprocess finns det ämnen som måste tas bort först.

Kemiska metoder

För de kemiska metoderna är framför allt följande komponenter av betydelse [41,42]:

- Fosfat. Fosfat kan förstöra kristallstrukturen i en fluidiserande bädd resulterande i en hög grumlighet och ett högt SI-värde samt en stor mängd övermättad kalciumkarbonat. Gränsen för störningen är ungefär 0,5 mg $\text{PO}_4^{3-}/\text{l}$. Är den fria fosfathalten högre är det inte rekommendabelt att avhärda vattnet med en fluidiserande bädd.
Detsamma gäller faktiskt för utfällning, dock härvid är effekterna inte så stora. Närvaron av fosfat märks genom en större mängd övermättad kalciumhalt och ett högre SI-värde.
- Fe(II). Också Fe(II) kan ge en försämring av kristalliseringen i en fluidiserande bädd. Fe(II) bakas in i kornen som FeCO_3 och det kan till slut leda till en försämring. Det är inte helt känt vilka halter som leder till en försämring av avhärtningsprocessen. Det verkar som om framför allt kombinationen av Fe(II) och PO_4^{3-} är ofördelaktig för kristalliseringen.
- Fe(III). Det visar sig att Fe(III), närvarande som järnhydroxid, nästan inte har någon skadlig effekt på avhärtningsresultatet. Lite högre mängd övermättad kalciumkarbonat och högre SI-värde kan bli följd. Luftat vatten kan på ett bra sätt faktiskt därför behandlas i en fluidiserande bädd, också om vattnet innehåller fosfat. Fe(III) ger tillsammans med PO_4^{3-} nämligen järnfosfat (FePO_4) som inte påverkar avhärtningen;
- Sulfat och magnesium. Effekterna av sulfat och magnesium är inte så stora. Närvaron av SO_4^{2-} och Mg^{2+} kan leda till en lite större mängd övermättad kalciumkarbonat och ett lite högre SI-värde. Under vanliga förhållanden är dock magnesium och sulfat inte något problem.
- Organiska ämnen. Organiska ämnen kan påverka funktionen av en fluidiserande bädd ganska mycket. Redan vid en halt av några mg/l ökar SI-värdet och mängden övermättad kalciumkarbonat. Detaljerna är dock inte kända [60].

I allmänhet kan man säga att man måste vara försiktig om råvatten avhärtnas med hjälp av en fluidiserande bädd [42]. Det är rekommendabelt att göra en undersökning först.

Jonbyte

För jonbyte är framför allt suspenderade ämnen i råvattnet av betydelse. De leder till igensättningar och nersmutsning på jonbytaren. Suspenderade ämnen och alla ämnen som lätt kan forma olösliga föreningar, bör därför tas bort först t ex järn, mangan och aluminium.

Oftast består en förbehandling av luftning och förfiltrering om vattnet innehåller mycket partiklar eller järn och mangan.

Membrantekniker

För membranteknikerna gäller i princip detsamma som för jonbyte. Dessutom kan också de större organiska ämnen förorsaka igensättningar på membranen. Igensättningar på membranen kallas 'fouling'. Fouling leder till minskning av membranets kapacitet.

Förbehandlingen kan bestå av:

- Förfiltrering för att ta bort de största partiklarna;
- Ibland tillämpar man också koagulering och flockning för att ta bort kolloidala partiklar.
- Dosering av syra eller komplexbildare för att förhindra koncentrationpolarisation (se nedan).

Förutom fouling, har man med membran också problem med koncentrationpolarisation. Det är en ansamling av de lösta ämnen vid membranytan. Transporten bort från membranytan sker genom diffusion och kan förbättras genom att öka hastigheten genom membranet. Ökad hastighet ger dock ökat tryckfall och i varje särskilt fall får den ökande energiförbrukningen på grund av detta vägas mot kapacitetsförbättringen.

Koncentrationpolarisation påverkar membrankapaciteten genom en ökning av det osmotiska trycket (ekvation 7.5.). Dessutom kan koncentrationen av vissa lösta ämnen komma att nå en löslighetsgräns, som ger utfällning på membranytan (fouling). För att förhindra detta kan man dosera syra eller komplexbildare (t.ex. polyfosfat) innan vattnet passerar membranen.

8.2 Efterbehandling

Efter avhärdningen bör vattnet behandlas innan det kan distribueras.

Kemiska metoder

Det utgående vattnet från en fluidiserande bädd eller en utfällningsbassäng innehåller suspenderande ämnen som måste tas bort, innan vattnet kan distribueras. Beroende av omständigheterna innehåller det utgående vattnet från en fluidiserande bädd ungefär 5 till 30 mg susp./l. Ett vanligt sätt att ta bort dem är att filtrera vattnet.

I många fall finns det redan ett filtreringsteg vid vattenverket. Är så inte fallet måste man bygga filter. Belastningen på filtren ökar om en fluidiserande bädd installeras. Ökningen är dock inte så stor, utan att de befintliga filtren vanligtvis räcker. Kanske måste bakspolningsfrekvensen höjas.

Om den fluidiserande bädden fungerar bra är det inte nödvändigt att tillämpa en syradosering, eftersom mängden övermättad kalciumkarbonat (MÖK) och SI-värdet på det utgående vattnet är då ganska låga ($\text{MÖK} < 0,1 \text{ mmol/l}$ och $\text{SI} < 0,3$). Om utfällning av kalciumkarbonat sker i en sedimenteringsbassäng kan man dosera syra (H_2SO_4 eller HCl) för att minska MÖK och SI-värdet.

För övrigt kan man i många fall minska MÖK och SI-värdet genom att tillämpa delströmvårdning och blanda det avhärdade vattnet och det icke avhärdade vattnet.

Jonbyte

Den vanliga kalcium-natrium jonbytaren behöver ingen efterbehandling. Man måste dock ha klart för sig att med denna teknik uppträder nästan ingen pH-förändring. Det enda som sker är att kalcium byts mot natrium. Denna teknik ger därför ingen minimering av tex kolsyra (se vidare).

Om kalcium byts mot vätejoner i stället för natrium är det nödvändigt att tillämpa en luftning efter det att avhärdning har ägt rum. Vätejoner som har bytts reagerar ju med vätekarbonat för att forma kolsyra. Detta ger ett negativt SI-värde, vilket är oönskat. Med luftning tar man bort överskott av kolsyra, varigenom pH- och SI-värdet stiger.

I CARIX-processen i vilken kalcium också byts mot vätejoner behövs därför också luftning som efterbehandling.

Membrantekniker

Kolsyra avskiljs inte, utan passerar membranet. Om vattnet innehåller mycket kolsyra (tex om syra tillsattes för att förhindra CaCO_3 -scaling) måste den därför tas bort. Man kan göra det med ett luftningssteg. En filtrering genom alkaliska filter kan också tillämpas.

8.3 Hjälpämnen

Kemiska metoder

För att fälla ut kalciumkarbonat behöver man ämnen som höjer pH-värdet så att löslighetsprodukten av kalciumkarbonat överskrids. Beroende av vattensammansättningen använder man antingen lut eller kalk för det. Båda har sina specifika för- och nackdelar (kap 6.3).

Jonbyte

Vid jonbyte behöver man kemikalier för regenerering. Beroende på typ av jonbytare är det NaCl (kalcium-natrium jonbytare), HCl eller H_2SO_4 (svag syra jonbytare) eller CO_2 (CARIX-processen) som används.

Membrantekniker

Vid membrantekniker använder man kemikalier för att förhindra utfällning av olösliga ämnen (tex kalciumkarbonat). De s k konditioneringsämnen är tex syra eller polyfosfat.

8.4 Automatiserbarhet

Automatiserbarheten är inte lika lätt för alla tekniker. Jonbyte och membranteknikerna är lätt automatiserbara. Det gäller i genomsnitt också för utfällning, men inte alltid för kristallisering i en fluidiserande bädd. Framför allt ger kristallisering med kalk ibland problem. Det förorsakas av den relativa låga lösligheten på kalk. Härigenom kan igensättningar uppstå i doseringsrör, i reaktorn och på pH-mätaren. Det är därför rådligt att kontrollera reaktorns funktion regelbundet.

8.5 Avfallsprodukter

Kemiska metoder

Utfällning ger kalciumkarbonatslam som är vattenrikt och innehåller relativt mycket andra föroreningar, så att det är svårt att avsätta. I de flesta fallen måste det deponeras.

Vid kristallisering får man kalciumkarbonatkorn som är lämpliga för olika tillämpningar (t ex djurfoder eller jordförbättringsmedel). Kornen innehåller nästan inget vatten och har en hög täthet (ca. 2800 kg/m³). Oftast är det möjligt avsätta restprodukterna [27].

Jonbyte

Efter regenerering uppstår en koncentrerad saltlösning vilkens sammansättning är beroende av typen jonbytare som används:

- en Na⁺-, Ca²⁺-, Cl⁻ lösning om en kalcium-natrium katjonbytare används;
- en H⁺-, Ca²⁺-, Cl⁻ (SO₄²⁻)- lösning om en svag katjonbytare används;
- en Ca²⁺-, SO₄²⁻ lösning om CARIX-processen används;

För övrigt är CARIX-processen den enda jonbytesprocessen i vilken inga andra joner än de som är närvarande i råvattnet hamnar i regenereringslösningen.

Den koncentrerade saltlösningen är ofta ett problem.

Membrantekniker

Vid membranteknikerna är det koncentratlösningen som måste tas omhand. Saltlösningen innehåller alla ämnen som avskiljes av membranet. Saltlösningen innehåller alltså bara komponenter från råvattnet. Ändå kan det vara ett problem att ta hand om den koncentrerade saltlösningen.

8.6 Kvalitet dricksvatten

De olika metoderna påverkar dricksvattnets kvalitet på olika sätt.

Kemiska metoder

De kemiska metoderna påverkar framför allt vätekarbonathalten, kalciumhalten och pH-värdet på vattnet som behandlas. Därefter tas järn och mangan också bort om avhärdning av råvatten tillämpas.

Om man tillämpar kalk, tas två gånger så mycket vätekarbonat bort som kalcium. Med natrium tas ungefär 1 mmol vätekarbonat bort per mmol kalcium. Efter avhärdning med kalk är pH-värdet därför högre än efter avhärdning med lut.

Nackdelen med lut är att natrium tillsätts till vattnet (ungefär 0,6 mg per mg borttagen kalcium).

Jonbyte

De starka jonbytarna (natrium-kalcium jonbytare) påverkar faktiskt vattenkvaliteten på ett negativt sätt. Visserligen tas kalcium bort, men på samma gång ökar natriumhalten i vattnet. Varje mmol kalcium ger två mmol natrium. Det betyder att per mg kalcium tillsätts nästan 1,2 mg natrium.

Vid användning av svaga katjonbytare är det nödvändigt att vattnet innehåller minst 1 mmol kalcium och 2 mmol vätekarbonat, därför att kalcium byts mot två vätejoner som ger kolsyra tillsammans med vätekarbonat. Kolsyra tas bort av luftning. Per mol kalcium tas alltså 2 mmol vätekarbonat bort.

Efter luftningen borde vattnet vara i kalk-kolsyrajämvikt. Är det inte fallet får man dosera lut tills jämvikten har nåtts. Eftersom näst kalcium också vätekarbonat tas bort stigar pH-värdet genom avhärdningen.

För CARIX-processen gäller i princip detsamma som för de svaga jonbytarna. Kalcium byts mot vätejoner som ger kolsyra tillsammans med vätekarbonat. Vätekarbonaten kommer nu inte enbart från vätekarbonat i lösningen, utan också från vätekarbonaten som levereras av bytesreaktion med sulfat. CARIX-processen tar därför bort mindre vätekarbonat från lösningen. Jämvikts pH-värdet är därför lägre än vid tillämpning av svaga katjonbytare.

En fördel med CARIX-processen angående dricksvattnets kvalitet är att också sulfat tas bort och i mindre utsträckning dessutom klorid och nitrat.

Membrantekniker

Hyperfiltrering och nanofiltrering tar bort alla ämnen som är nävarande i vattnet med undantag för gaser. Näst kalcium, magnesium och vätekarbonat tas också andra salter bort såsom natrium, klorid, nitrat, sulfat och organiska ämnen. Med hyperfiltrering får man näst en hårdhetsreducering alltså också en stor kvalitetsförbättring av vattnet. Eftersom kolsyra inte tas bort av membran bör detta göras efteråt. Därefter får vattnet bringas till lämplig sammansättning (oftast till kalk-kolsyrajämvikt).

För elektrodialys gäller detsamma som gäller för hyperfiltrering. Den enda skillnaden är att vid elektrodialys tas bara laddade joner bort, medan vid hyperfiltrering tas alla komponenter bort.

8.7 Korrosion

De olika metoderna påverkar korrosionsförloppen på olika sätt. Först måste man skilja på tre olika korrosionstyper (bara de som är intressanta för avhärdningen är nämnda):

Punktkorrosion (för koppar och järn).

Punktkorrosion är en korrosionstyp som ger upphov till lokala angrepp på rörväggen. Dessa angrepp leder till nålfina hål genom godsväggen på röret. Mekanismerna bakom punktkorrosion är komplicerade. Dessutom kan punktkorrosion uppdelas i flera typer.

Därför är det svårt att ge allmänna rekommendationer för att undvika punktkorrosion. I Holland rekommenderar man att $\text{TIC} > 2 \text{ mmol/l}$ för att minska punktkorrosion.

Jämn korrosion.

Jämn korrosion kan delas upp i:

- jämn korrosion för järn.
Järnavgivningen (som löst järn eller som kolloidala partiklar) och korrosionen stiger bland annat om bufferkapaciteten sjunker och klorid- och sulfathalten stiger. I Tyskland och Holland rekommenderar man att $([\text{Cl}^-] + 2 [\text{SO}_4^{2-}]) / \text{TIC} < 1$ (halter i mmol/l) för att minska järnkorrosion.
- jämn korrosion för koppar.
Detta uppmärksammas genom en förhöjd kopparhalt i vattnet. Vattensammansättningen och uppehållstiden är av stor betydelse för denna korrosionstyp. Jämn korrosion motverkas främst genom en låg kolsyrahalt d v s ett högt pH och/eller låg vätekarbonathalt. Dessutom bör sulfathalten vara låg. I Holland rekommenderar man att $\text{pH} > 0,38 \text{ TIC} + 1,5 [\text{SO}_4^{2-}] + 5,3$ för att minska kopparkorrosion till lägre halter för koppar än 3 mg Cu/l. Konstanten ska vara 7,2 för att minska kopparhalten till $< 0,3 \text{ mg Cu/l}$.

Upplösning av cementbaserade material.

För denna korrosionstyp är det viktigt att vattnet inte har hög halt av kolsyra. I Holland rekommenderar man därför (tillfälligt innan någonting bättre hittas) att $\text{SI} > -0,2$.

Jonbyte

Starka katjonbytare förändrar inte korrosionsförutsättningarna så mycket. Eftersom kalcium byts mot natrium blir vattnet lite aggressivare mot cementrör. Svaga katjonbytare minskar både kalcium- och vätekarbonathalten. Efter luftningen är dessutom pH-värdet högre. Jämn kopparkorrosion sjunker efter avhärdningen och luftning. Vätekarbonathalten bör inte bli för låg eftersom då uppstår risk för jämn järnkorrosion och punktkorrosion. CARIX-processen har en gynnsam effekt i och med att både jämn järnkorrosion (lägre sulfathalt) och jämn kopparkorrosion (lägre vätekarbonathalt, högre pH) borde minska .

Kemiska metoder:

De kemiska metoderna minskar framför allt kopparkorrosionen. Framför allt vid avhärdning med kalk måste man kontrollera förutsättningarna för jämn järnkorrosion och punktkorrosion (genom en låg vätekarbonathalt).

Membrantekniker:

Membrantekniker ger förutsättningar för minskning av både jämn järn- och kopparkorrosion om efterjustering av vattnet sker på lämpligt sätt.

8.8 Hälsa och magnesium

Som nämnts i kapitel 3.6 finns det ett samband mellan förekomsten av hjärtsjukdomer och magnesiumhalten i dricksvatten. Ur hälsomässig synpunkt är det alltså bäst att inte ta bort magnesium till en nivå under 10 mg/l.

Jonbyte

Med jonbyte tas både kalcium och magnesium bort. I allmänhet är jonbytare mer selektiva för kalcium vilket gör att magnesiumhalten minskar relativt mindre än kalciumhalten. Dock kan magnesiumhalten minska betydligt. Natriumhalten ökar väsentligt.

Membrantechniker

Med membrantechniker minskar kalcium och magnesium relativt sett lika mycket.

Kemiska metoder

Både utfällning och kristallisering tar framför allt bort kalcium, medan magnesiumhalten knappast förändras. Natriumhalten ökar vid användning av lut eller soda.

Angående hälsa i samband med magnesium har de kemiska metoderna alltså små fördelar i jämförelse med jonbyte och membrantechniker.

8.9 Kostnader

I allmänhet är det svårt att jämföra kostnader för de olika metoderna med varandra. Kostnaderna beror ju på de specifika omständigheterna. För ett särskilt fall är det förstås möjligt att presentera kostnader för avhårdning vid antingen jonbyte, kristallisering eller membran.

Eftersom det är inte möjligt att förkasta en av teknikerna för olika fall bör man för varje enskilt fall studera vilken metod som är bäst. Ofta beror valet inte bara på kostnaderna utan också på andra för- och nackdelar med de olika metoderna (imponderabilia). Detta gäller framför allt om skillnaden i kostnader är inte så stor.

I det här kapitlet jämförs kostnader för de olika metoderna på ett översiktligt sätt. Kostnader kan uppdelas i drift- och anläggningskostnader. Driftkostnader är tex kostnader för utnyttjande av maskiner (underhåll), kemikalie- och energikostnader, samt kostnader för arbete.

Anläggningskostnaderna är byggnads-, inrednings-, och konsultkostnader o.s.v. Det är summan av alla kostnader för att realisera hela installationen.

Anläggningskostnaderna brukar man betala av på ett visst antal år. Detta belopp kallas kapitalkostnader och kan beräknas med räntan (r) och avskrivningsterminen (n). (Avskrivningsterminen är ofta olika för olika delar av anläggningen. Här används 30 år för den civila delen och 15 år för den mekaniska och elektrotekniska delen. [20])

Summan av kapitalkostnader och driftkostnader är exploateringskostnaderna. De kan användas som bas för en kostnadsjämförelse. Exploateringskostnaderna (driftkostnader och kapitalkostnader) kan man också uttrycka i kostnader per m^3 producerat vatten.

Driftkostnader för jonbyte består av:

- regenereringskemikalier;
- energi;
- arbete;
- underhåll;
- ersättning jonbytesmaterial.
- avlopp avloppsvatten (saltlösning);

Driftkostnader för kristallisering består av:

- kemikalier (oftast lut eller kalk);
- energi;
- arbete;
- underhåll;
- ympmaterial (oftast sand);
- avlopp kalciumkarbonatkorn.

Driftkostnader för membrantekniker består av:

- energi;
- membranersättning;
- arbete;
- konditioneringsämnen (syra, polyfosfat);
- underhåll;
- avlopp avloppsvatten (saltlösning).

Med förbrukningen och priser på energi, kemikalier osv kan man beräkna driftkostnaderna. En uppskattning av driftkostnaderna för de olika metoderna ges i tabell 8.1 [4, 20, 46, 49,62]

De relativa kapitalkostnaderna (kostnaderna uttryckt per m^3 behandlat vatten) och exploateringskostnaderna beror förutom på räntan och avskrivningsterminen bland annat på det vattenflöde som måste behandlas. I allmänhet gäller det att desto mindre flödet är, ju högre de relativa kapitalkostnaderna för anläggningen blir.

Dessutom kan de specifika omständigheterna på platsen påverka kapitalkostnaderna väldigt mycket. Därför är det svårt att ge en allmän bild angående dessa kostnader.

För ett vattenverk med ett flöde på i storleksordning 200 m³ per timme och de ovannämnda avskrivningsterminer ges de rapporterade kapitalkostnaderna för kristallisering, CARIX-processen och membrantechniker i tabell 8.1 [4, 20, 46, 49,62].

Tabell 8.1. Uppskattning av driftkostnader (vid 1 och 3 mmol hårdhetsreducering), kapitalkostnader (kapacitet ungefär 200 m³/h, ränta 8 %) och exploateringskostnader.

	Driftkostnader kr/m ³	Kapital- kostnader kr/m ³	Exploaterings- kostnader kr/m ³
Kristallisering	0,2 - 0,5	0,6	ca. 1
CARIX	0,7 - 1,4	2,0	ca. 3
Membran	0,7 - 1,1	2,0	ca. 3

Det visar sig att kristallisering är den billigaste metoden. Därefter kan jonbyte, framför allt starka katjonbytare, också vara relativt billig, speciellt för mindre anläggningar. Tillämpning av starka katjonbytare har dock så många andra nackdelar (höjning natriumhalten, saltlösning) att den tekniken inte är att rekommendera. Detsamma gäller faktiskt för svaga katjonbytare. Vid svaga katjonbytare ökar natriumhalten visserligen inte, men den tekniken är dyrare och också här produceras en koncentrerad saltlösning under regenereringen.

CARIX-processen blir intressant om näst hårdhet, också sulfat (nitrat och klorid) måste tas bort. Därefter kan CARIX-processen vara intressant om det inte finns ett filtreringssteg på det vattenverk, där avhårdning borde tillämpas. För CARIX-processen räcker ju luftning som efterbehandling medan kristallisering behöver ett filtreringssteg så att kristallisering blir mycket dyrare om också filter måste byggas.

För membran gäller i princip detsamma som för CARIX-processen. Med membran tas dock alla komponenter i vattnet bort.

9 SLUTSATSER

Central avhärdning av dricksvatten ger olika fördelar:

- minskad kopparkorrosion så att kopparhalten i dricksvatten och avloppsslam sjunker;
- mindre utfällning av kalciumkarbonat i varmvattenberedare vilket ger ett mindre slitage och en lägre energiförlust;
- minskad användning av tvål och tvättmedel;
- högre komfort för konsumenterna.
- minskning av antalet hushålls-jonbytare, som är relativt dyra och inte alltid hygieniskt pålitliga.

I Sverige har man börjat intressera sig för central avhärdning i viss omfattning. För att reglera avhärdningen i Sverige på ett bra sätt bör man först titta på de vattenkvalitetsnormer som är viktiga för avhärdning. Just nu finns det inget samband mellan normer för kalcium, vätekarbonat, och pH som är betydelsefulla för vattensammansättningen.

På de få ställen där man tillämpar central avhärdning i Sverige använder man starka katjonbytare (kalcium byts mot natrium) som inte är särskilt bra för vattenkvaliteten, ett aggressivt vatten med en hög natriumhalt uppstår. En alternativ metod är svaga katjonbytare i vilka både kalcium och vätekarbonat tas bort. Dessutom blir pH-värdet högre efter luftningen. Svaga katjonbytare är bättre för vattenkvaliteten i och med att korrosionen på koppar kan minimeras, men problemet med att ta hand om den saltlösning som uppstår efter regenereringen gäller även här.

De senaste 20 åren har olika tekniker utvecklats som ger en bättre vattenkvalitet och som dessutom är bättre för miljön:

- kristallisering i en fluidiserande bädd;
- CARIX-processen;
- membrantekniker.

Alla dessa processer ger en höjning av pH (CARIX-processen och membranteknikerna efter luftning) och en minskning av kalcium- och vätekarbonathalten.

Vid de sista två processerna får man dessutom en minskning av andra ämnen. För CARIX-processen är det framför allt sulfat som också tas bort. Membranteknikerna kan ta bort alla ämnen i vattnet.

Både CARIX-processen och membranteknikerna är dock fortfarande mycket dyrare (exploateringskostnaderna för båda är ca 3 kr/m³) än kristalliserings-processen (exploateringskostnaderna är ungefär 1 kr/m³). Därför bör man i de flesta fall välja kristallisering i en fluidiserande bädd om man ska införa central avhärdning av dricksvatten. Vill man förutom avhärdning också ta bort andra ämnen kan man ta CARIX-processen och membranteknikerna under övervägande.

Kristallisering kan ske med antingen kalk eller lut. Soda är inte vanligt och förhöjer natriumhalten mycket. Valet beror på råvattensammansättning. Vid användning av kalk sjunker vätekarbonathalten (alkaliteten) två gånger så mycket som kalciumhalten, medan vid användning av lut sjunker kalcium- och vätekarbonathalten ungefär lika mycket.

En kristalliseringsreaktor kan placeras på olika ställen i vattenverket. Vill man behandla råvatten är det i de flesta fall bättre att lufta först. Som efterbehandling behöver man minst ett snabbfiltreringssteg.

I tabell 9.1 har de olika metoderna sammanfattats på ett översiktligt sätt i en "+/-" tabell. Tydligt är att jonbyte (starka och svaga jonbytare) inte har många fördelar i jämförelse med de andra teknikerna. Kristallisering är på några viktiga punkter bättre än jonbyte och är billigare än CARIX-processen och membranteknikerna.

Tabell 9.1 Kvalitativ jämförelse mellan olika metoder för avhärdning

Aspekt (kapitel)	jonbyte	CARIX	krist.	membran
Förbehandling (8.1)	+/-	+/-	+(/-)	+/-
Efterbehandling (8.2)	+	+	-	+
Hjälpämnen (8.3)	-	+/-	-	+
Automatiserbarhet (8.4)	+	+	-	+
Avfallsämnen (8.5)	-	+/-	+	+/-
Kvalitet dricksvatten (8.6)	+/-	+	+	+
Korrosion (8.7)	+/-	+	+	+
Hälsa och Mg (8.8)	+/-	+/-	+	+/-
Kostnader (8.9)	+/-	-	+	-

+ = relativt (bra/lätt/inte mycket)

- = relativt (dåligt/svårt/mycket)

Detta projekt borde fortsätta med ett andra VA-FORSK-projekt om avhärdning med tyngdpunkten på normer i Sverige och ett antal praktikfall där man tänker tillämpa avhärdning.

10 LITTERATUR

- 1 Lind Johansson, E., T. Hedberg, & Bo Berghult, 1994. Invändig korrosion av kopparledningar för dricksvattendistribution. - Vatten 2: 103-111.
- 2 Van den Hoven, Th.J.J. & M.W.M. van Eekeren, 1988. Optimale samenstelling van drinkwater. KIWA N.V. Hoofdafdeling Speurwerk.. Nieuwegein.
- 3 Mattson, E. 1990. Tappvattensystem av kopparmaterial. Korrosioninstitutet. AB Svensk Byggtjänst. ISBN 91-7332-558-9.
- 4 Kostense, A. 1988. Ontharden in korrelreactoren. KIWA N.V. Hoofdafdeling speurwerk. Nieuwegein.
- 5 Energy and Environmental Analysis Inc. 1979,. Health and Corrosion Impact of Soft Water. Virginia.
- 6 Rubenowitz, E., Axelsson, G. & R. Rylander, 1995. Magnesium in drinking water and death from acute myocardial infarction. Department of Environmental Medicine, Göteborg University. Göteborg.
- 7 Wijziging van het Waterleidingbesluit (Stb. 1960, 345), supplement bij de Nederlandse Staatscourant van 28 februari 1983, nr. 41.
- 8 Livsmedelverket. 1993. Livsmedelsverkets kungörelse om dricksvatten. Statens livsmedelsverks författningssamling. SLV FS 1993:35.
- 9 Friend, J.F.C. & R.E. Loewenthal, 1992. STASOFT III. Computer program for chemical conditioning of low and medium salinity waters. Pretoria.
- 10 DHV Water BV. 1991. Handleiding KALKKOO. versie 3.2. Amersfoort.
- 11 VAV. 1991. Vattenbeskaffenhet 1989, uppgifter över bakteriologisk och fysikalisk-kemisk beskaffenhet hos rå- och renvatten vid kommunala vattenverk. VAV Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen.
- 12 Eriksson, U. 1994. Jonbytesteknik m m för yt- och grundvatten - ett sätt att minimera kemikalieanvändningen. Rust VA-projekt. Stockholm.
- 13 Hedberg, T. & E. Lind-Johansson, 1993. Study of the Influence of Alkalinity and Calcium on Copper Corrosion. - McIntyre, P. & Mercer, A.D. (Eds). Corrosion and Related aspects of Materials for Potable Water Supplies. The institute of Materials. ISBN 0-901716-47-2.
- 14 Palm, O. 1993. Renare slam. Åtgärder för kommunala avloppsreningsverk. - Remiss från SNV. Stockholm.

- 15 Vattenteknik AB. 1992. Vattenbehandlingsmetoder. En bok om dricksvatten, badvatten och processvatten. Malmö.
- 16 Waterzuivering II. H150-112. deel 2: nabehandelingstechnieken. Collegediktaat Landbouw Universiteit Wageningen. Vakgroep Waterzuivering.
- 17 De Blois, M.R. 1990. Onderzoek naar de troebelheid van gekookt water en de kalkafzettingen van verwarmd water bij toepassing van ontharding van drinkwater middels korrelreactoren. Landbouw Universiteit Wageningen. Vakgroep Waterzuivering. DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV. Vakgroep Drink- en proceswater.
- 18 Crawford, H.B. (ed) & G. Cline (ed.). 1990. Water treatment plants - Design and construction. I. American Society of Civil Engineers. II. Amerikan Water Works Association.
19. Van Dijk, J.C. 1991. Membrane Filtration. TU Delft. Faculty of Civil Engineering. Division of Sanitary Engineering.
20. Wouters, J.W. , Nooijen, W.F.J.M. & P.J. de Moel, 1993. Wat kost zuiver water? H₂O 13, pp 344-348.
- 21 Aeijselts Averink, C.W., Dijkstra, I.T., & J.C. van Dijk. 1995. Theorie en modellering van membraanfiltratie. H₂O 10, pp 302-307.
- 22 Van den Boomgaard, Th. 1992. Membraantechnologie voor de drinkwaterbereiding. H₂O 8, pp 212-216.
- 23 Brink, H., Van Eekhout, J.M.J.M. & M.M. van Nederlof, 1994. Toenemende belangstelling voor conditionering in Duitsland. H₂O 10. pp. 271-273.
- 24 Rop, K. & M. Rutte. 1992. Helder ontharden met kalk in een reactor met vlakke bodem. H₂O 12. pp 306-315.
- 25 Bos, R.H.M., 1992. Ontharding pompstation Assen volgende week in bedrijf. H₂O 12. pp. 326-330.
- 26 Van Eekeren, M.W.M. 1992. Verbeterde kalkmelk voor ontharding. H₂O 12. pp. 317-325
- 27 Oostelbos, P.G.J.M. 1993. Nuttige afzet kalkkorrels betekent organisatie. H₂O 2. pp. 48-49, 27.
- 28 Merks, C.W.A.M., Bos R.H.M. & M.M. Nederlof. 1995. Kwaliteitstest voor kalkmelk. H₂O 3. pp. 67-70.

- 29 Rutte, M. & K. Rop. 1995. Helder ontharden met kalk in reactoren met een vlakke bodem; de bedrijfsresultaten van het eerste jaar. *H₂O* 3. pp. 71-78.
- 30 Widarsson, L.E. 1994. Rapport efter Studieresa till Holland (1994-06-06--10). Malmö.
- 31 Van den Hoven, Th.J.J., Baggelaar, P.K. & G.K. Ekkers. 1990. Koperafgifte door drinkwaterleidingen. mededeling nummer 111. KIWA NV, Hoofdafdeling speurwerk, Nieuwegein.
- 32 KIWA, 1979. Ontharding voor huishoudelijk gebruik . Mededeling nr. 61. KIWA N.V. Rijswijk.
- 33 KIWA, 1982. Methodieken centrale ontharding. Mededeling nr. 62. KIWA N.V.
- 34 Van Dijk, J.C. & D.A. Wilms. 1991. Water treatment without waste material - fundamentals and state of the art of pellet softening. *J Water SRT- Aqua*. Vol. 40, No. 5, pp. 263-280.
- 35 Baldauf, B., Schredelseker, F., Henkel, M., Gatz, K.W. & H. Sontheimer. 1989. Untersuchungen zur Schnellentkarbonisierung bei der Trinkwasseraufbereitung. *GWF-Wasser/Abwasser*. 130, Heft 11. pp. 569-577.
- 36 Roelands, J. & J.P.A. Stribos. 1990. Toepassing van ongebluste kalk bij pelletontharding werkt goed en levert kostenbesparingen op. *H₂O* 18. pp. 477-481.
- 37 Stetter, D., Beforth, H., Kemougne, D., Hörster, E. & H. Overath, 1987. Sedimentationsstabile Kalchmilch - ein neuer Weg zur Trinkwasser-Entsäuerung. *Brunnenbau, Bau von Wasserwerken, Rohleitungsbau (BBR)*.
- 38 Lonsdale, E.K., Merten, U., & R.L. Riley (1965). Transport properties of Cellulose Acetate Osmotic Membranes. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 9, p 1341.
- 39 Rutte, M. & P.L. Buijink. 1988. Een heldere kijk op troebel water. *H₂O* (21). nr 14. pp. 390-395.
- 40 Wilms, D. 1989. Onthardingsverloop in een korrelreactor; kwantificering van de invloed van procesvariabelen. *H₂O* (22). nr. 20. pp. 628-632.
- 41 Baldauf, G. & M. Henkel. 1988. Untersuchungen zur Optimierung der Schnellentkarbonisierung bei der Trinkwasseraufbereitung. Abschlussbericht zum BMFT-Forschungsvorhaben 02WT 502 7 der Stadtwerke Mainz AG. Bereich Wasserchemie am Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe (TH). nr. 32.

- 42 Verberne, A.J.P., De Blois, M.R. & D. Wilms. 1991. Ontharding van ruw grondwater met korrelreactoren. DHV Water BV.
- 43 KIWA. 1974. Central softening. Report of the committee on central softening. KIWA N.V., Rijswijk.
- 44 Höll, W.H.. 1994. Ionenaustauschverfahren. Kernforschungszentrum Karlsruhe, Institut für Radiochemie, Abteilung Wassertechnologie. 8. Mulheimer Wassertechnisches Seminar: Zentrale Enthärtung und Entcarbonisierung von Trinkwasser - Stand des Wissens und neuere Entwicklungen.
- 45 Wenli, G., Wensheng, H. & W.H. Höll. 1994. Combined nitrate and hardness elimination from drinking water by the CARIX-process. J Water SRT-Aqua. Vol. 43. nr 2. pp 95-101.
- 46 Höll, W.H. & K. Hagen. 1992. Municipal drinking water treatment by the CARIX ion exchange process. Ion Exchange Advances, Proceedings of IEX ' 92. Ed. M.J. Slater.Elsevier Application Science. pp. 136-143.
- 47 Steeb, B. 1988. Teilentsalzung nach dem CARIX-Verfahren mit Schwerpunkt Enthärtung. DVGW Schriftenreihe Wasser nr. 107.
- 48 Höll, W.H. The CARIX-plant at Bad Rappenau. Kernforschungszentrum Karlsruhe, Institut für Radiochemie, Abteilung Wassertechnologie.
- 49 Wiesner, M.R., Hackney, J., Sethi, S., Jacangelo, J.G. & Laine, J.M. 1994. Cost Estimates for membrane filtration and conventional treatment. Journal AWWA. pp. 33-41.
- 50 Morin, O.J. 1994. Membrane plants in North America.Journal AWWA. pp 42-54.
- 51 Eriksson, P. 1988. Nanofiltration extends the range of membrane filtration.. Environmetal Progress. Vol. 7. nr. 1. pp. 58-62.
- 52 Watson, B.M. & C.D. Hornburg. 1989. Low-energy membrane nanofiltration for removal of color, organics and hardness from drinking water supplies. Desalination, vol. 72. pp. 11-22.
- 53 Cadotte, J., Forester, R., Kim, M., Petersen, R. & T. Stocker. 1988. Nanofiltration broaden the use of membrane separation technology. Desalination. Vol. 70. pp. 77-88.
- 54 Conlon, W.J. & S.A. McClellan. 1989. Membrane Softening: A treatment process comes of age. Journal AWWA. pp. 47-51.

- 55 Wouters, J.W. & W.F.J.M. Nooijen. 1993. Partial desalination- a valuable alternative to long-distance transport. J Water SRT-Aqua Vol. 42, nr 1. pp. 1-7.
- 56 Van Dijk, J.C., Munneke, B.R., Kramer, B. & J.W. Wouters. 1991. Membrane filtration: A realistic option in the field of water supply? Desalination. Vol. 81. pp 229-247.
- 57 Mulder, M. 1991. Basic principles of membrane technology. Center for Membrane Science and Technology. University of Twente, The Netherlands. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- 58 Pankow, J.F. 1991. Aquatic Chemistry Concepts. Department of environmental Science and Engineering. Oregon Graduate Institute. Beaverton.
- 59 Degremont, 1973. Water Treatment Handbook.
- 60 Loewenthal, R.E., H.N.S. Wiechers & G.v.R. Marais. 1986. Softening and stabilization of municipal waters. Water Research Commision. Pretoria. Republic of South Africa.
- 61 Boer, R.W. de. 1990. Membraanfiltratie. Toepasbaarheid in de afvalwater-zuivering. DHV Water BV. Amersfoort.
- 62 Verberne, A.J.P. & J.W. Wouters. 1992. Membraanfiltratie voor de drink-waterbereiding. Economische optimalisatie van ontwerpparameters. DHV Water BV. Amersfoort.

Bilaga 1. Totalhårdheten i °dH beroende av kalcium- och magnesiumhalten uttryckt i mg/l eller mmol/l

		Mg (mmol/l)															
		0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
Ca (mmol/l)	0,0	0,0	1,1	2,2	3,4	4,5	5,6	6,7	7,8	9,0	10,1	11,2	12,3	13,4	14,6	15,7	16,8
	0,2	1,1	2,2	3,4	4,5	5,6	6,7	7,8	9,0	10,1	11,2	12,3	13,4	14,6	15,7	16,8	17,9
	0,4	2,2	3,4	4,5	5,6	6,7	7,8	9,0	10,1	11,2	12,3	13,4	14,6	15,7	16,8	17,9	19,0
	0,6	3,4	4,5	5,6	6,7	7,8	9,0	10,1	11,2	12,3	13,4	14,6	15,7	16,8	17,9	19,0	20,2
	0,8	4,5	5,6	6,7	7,8	9,0	10,1	11,2	12,3	13,4	14,6	15,7	16,8	17,9	19,0	20,2	21,3
	1,0	5,6	6,7	7,8	9,0	10,1	11,2	12,3	13,4	14,6	15,7	16,8	17,9	19,0	20,2	21,3	22,4
	1,2	6,7	7,8	9,0	10,1	11,2	12,3	13,4	14,6	15,7	16,8	17,9	19,0	20,2	21,3	22,4	23,5
	1,4	7,8	9,0	10,1	11,2	12,3	13,4	14,6	15,7	16,8	17,9	19,0	20,2	21,3	22,4	23,5	24,6
	1,6	9,0	10,1	11,2	12,3	13,4	14,6	15,7	16,8	17,9	19,0	20,2	21,3	22,4	23,5	24,6	25,8
	1,8	10,1	11,2	12,3	13,4	14,6	15,7	16,8	17,9	19,0	20,2	21,3	22,4	23,5	24,6	25,8	26,9
	2,0	11,2	12,3	13,4	14,6	15,7	16,8	17,9	19,0	20,2	21,3	22,4	23,5	24,6	25,8	26,9	28,0
	2,2	12,3	13,4	14,6	15,7	16,8	17,9	19,0	20,2	21,3	22,4	23,5	24,6	25,8	26,9	28,0	29,1
	2,4	13,4	14,6	15,7	16,8	17,9	19,0	20,2	21,3	22,4	23,5	24,6	25,8	26,9	28,0	29,1	30,2
	2,6	14,6	15,7	16,8	17,9	19,0	20,2	21,3	22,4	23,5	24,6	25,8	26,9	28,0	29,1	30,2	31,4
	2,8	15,7	16,8	17,9	19,0	20,2	21,3	22,4	23,5	24,6	25,8	26,9	28,0	29,1	30,2	31,4	32,5
	3,0	16,8	17,9	19,0	20,2	21,3	22,4	23,5	24,6	25,8	26,9	28,0	29,1	30,2	31,4	32,5	33,6
	3,2	17,9	19,0	20,2	21,3	22,4	23,5	24,6	25,8	26,9	28,0	29,1	30,2	31,4	32,5	33,6	34,7
	3,4	19,0	20,2	21,3	22,4	23,5	24,6	25,8	26,9	28,0	29,1	30,2	31,4	32,5	33,6	34,7	35,8
	3,6	20,2	21,3	22,4	23,5	24,6	25,8	26,9	28,0	29,1	30,2	31,4	32,5	33,6	34,7	35,8	37,0
Ca (mg/l)	3,8	21,3	22,4	23,5	24,6	25,8	26,9	28,0	29,1	30,2	31,4	32,5	33,6	34,7	35,8	37,0	38,1
	4,0	22,4	23,5	24,6	25,8	26,9	28,0	29,1	30,2	31,4	32,5	33,6	34,7	35,8	37,0	38,1	39,2
	4,2	23,5	24,6	25,8	26,9	28,0	29,1	30,2	31,4	32,5	33,6	34,7	35,8	37,0	38,1	39,2	40,3
	4,4	24,6	25,8	26,9	28,0	29,1	30,2	31,4	32,5	33,6	34,7	35,8	37,0	38,1	39,2	40,3	41,4
	4,6	25,8	26,9	28,0	29,1	30,2	31,4	32,5	33,6	34,7	35,8	37,0	38,1	39,2	40,3	41,4	42,6
	4,8	26,9	28,0	29,1	30,2	31,4	32,5	33,6	34,7	35,8	37,0	38,1	39,2	40,3	41,4	42,6	43,7
	5,0	28,0	29,1	30,2	31,4	32,5	33,6	34,7	35,8	37,0	38,1	39,2	40,3	41,4	42,6	43,7	44,8
	5,2	29,1	30,2	31,4	32,5	33,6	34,7	35,8	37,0	38,1	39,2	40,3	41,4	42,6	43,7	44,8	45,9
	5,4	30,2	31,4	32,5	33,6	34,7	35,8	37,0	38,1	39,2	40,3	41,4	42,6	43,7	44,8	45,9	47,0
	5,6	31,4	32,5	33,6	34,7	35,8	37,0	38,1	39,2	40,3	41,4	42,6	43,7	44,8	45,9	47,0	48,2
	5,8	32,5	33,6	34,7	35,8	37,0	38,1	39,2	40,3	41,4	42,6	43,7	44,8	45,9	47,0	48,2	49,3
	6,0	33,6	34,7	35,8	37,0	38,1	39,2	40,3	41,4	42,6	43,7	44,8	45,9	47,0	48,2	49,3	50,4
		Mg (mg/l)															
		0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0
Ca (mmol/l)	0,0	0,0	1,2	2,3	3,5	4,6	5,8	6,9	8,1	9,2	10,4	11,5	12,7	13,8	15,0	16,1	17,3
	10,0	1,4	2,6	3,7	4,9	6,0	7,2	8,3	9,5	10,6	11,8	12,9	14,1	15,2	16,4	17,5	18,7
	20,0	2,8	4,0	5,1	6,3	7,4	8,6	9,7	10,9	12,0	13,2	14,3	15,5	16,6	17,8	18,9	20,1
	30,0	4,2	5,4	6,5	7,7	8,8	10,0	11,1	12,3	13,4	14,6	15,7	16,9	18,0	19,2	20,3	21,5
	40,0	5,6	6,8	7,9	9,1	10,2	11,4	12,5	13,7	14,8	16,0	17,1	18,3	19,4	20,6	21,7	22,9
	50,0	7,0	8,2	9,3	10,5	11,6	12,8	13,9	15,1	16,2	17,4	18,5	19,7	20,8	22,0	23,1	24,3
	60,0	8,4	9,6	10,7	11,9	13,0	14,2	15,3	16,5	17,6	18,8	19,9	21,1	22,2	23,4	24,5	25,7
	70,0	9,8	11,0	12,1	13,3	14,4	15,6	16,7	17,9	19,0	20,2	21,3	22,5	23,6	24,8	25,9	27,1
	80,0	11,2	12,4	13,5	14,7	15,8	17,0	18,1	19,3	20,4	21,6	22,7	23,9	25,0	26,2	27,3	28,5
	90,0	12,6	13,8	14,9	16,1	17,2	18,4	19,5	20,7	21,8	23,0	24,1	25,3	26,4	27,6	28,7	29,9
	100,0	14,0	15,2	16,3	17,5	18,6	19,8	20,9	22,1	23,2	24,4	25,5	26,7	27,8	29,0	30,1	31,3
	110,0	15,4	16,6	17,7	18,9	20,0	21,2	22,3	23,5	24,6	25,8	26,9	28,1	29,2	30,4	31,5	32,7
	120,0	16,8	18,0	19,1	20,3	21,4	22,6	23,7	24,9	26,0	27,2	28,3	29,5	30,6	31,8	32,9	34,1
	130,0	18,2	19,4	20,5	21,7	22,8	24,0	25,1	26,3	27,4	28,6	29,7	30,9	32,0	33,2	34,3	35,5
	140,0	19,6	20,8	21,9	23,1	24,2	25,4	26,5	27,7	28,8	30,0	31,1	32,3	33,4	34,6	35,7	36,9
	150,0	21,0	22,2	23,3	24,5	25,6	26,8	27,9	29,1	30,2	31,4	32,5	33,7	34,8	36,0	37,1	38,3
	160,0	22,4	23,6	24,7	25,9	27,0	28,2	29,3	30,5	31,6	32,8	33,9	35,1	36,2	37,4	38,5	39,7
	170,0	23,8	25,0	26,1	27,3	28,4	29,6	30,7	31,9	33,0	34,2	35,3	36,5	37,6	38,8	39,9	41,1
	180,0	25,2	26,4	27,5	28,7	29,8	31,0	32,1	33,3	34,4	35,6	36,7	37,9	39,0	40,2	41,3	42,5
	190,0	26,6	27,8	28,9	30,1	31,2	32,4	33,5	34,7	35,8	37,0	38,1	39,3	40,4	41,6	42,7	43,9
	200,0	28,0	29,2	30,3	31,5	32,6	33,8	34,9	36,1	37,2	38,4	39,5	40,7	41,8	43,0	44,1	45,3
Ca (mg/l)	210,0	29,4	30,6	31,7	32,9	34,0	35,2	36,3	37,5	38,6	39,8	40,9	42,1	43,2	44,4	45,5	46,7
	220,0	30,8	32,0	33,1	34,3	35,4	36,6	37,7	38,9	40,0	41,2	42,3	43,5	44,6	45,8	46,9	48,1
	230,0	32,2	33,4	34,5	35,7	36,8	38,0	39,1	40,3	41,4	42,6	43,7	44,9	46,0	47,2	48,3	49,5
	240,0	33,6	34,8	35,9	37,1	38,2	39,4	40,5	41,7	42,8	44,0	45,1	46,3	47,4	48,6	49,7	50,9
	250,0	35,0	36,2	37,3	38,5	39,6	40,8	41,9	43,1	44,2	45,4	46,5	47,7	48,8	50,0	51,1	52,3
	260,0	36,4	37,6	38,7	39,9	41,0	42,2	43,3	44,5	45,6	46,8	47,9	49,1	50,2	51,4	52,5	53,7
	270,0	37,8	39,0	40,1	41,3	42,4	43,6	44,7	45,9	47,0	48,2	49,3	50,5	51,6	52,8	53,9	55,1
	280,0	39,2	40,4	41,5	42,7	43,8	45,0	46,1	47,3	48,4	49,6	50,7	51,9	53,0	54,2	55,3	56,5
	290,0	40,6	41,8	42,9	44,1	45,2	46,4	47,5	48,7	49,8	51,0	52,1	53,3	54,4	55,6	56,7	57,9
	300,0	42,0	43,2	44,3	45,5	46,6	47,8	48,9	50,1	51,2	52,4	53,5	54,7	55,8	57,0	58,1	59,3

Bilaga 2. Hårt vatten i Sverige: enkätfrågorna

Avhårdning i Sverige - en enkät

1 Inledning

I Sverige har flera vattenverk en ganska hög totalhårdhet och dessutom en hög vätekarbonathalt. Hårt vatten ger ett antal nackdelar för både leverantören och konsumenten av dricksvatten. De viktigaste är:

- 1 - korrosion av dricksvattenrör av koppar;
- 2 - koppar i dricksvatten och slam;
- 3 - förslitning av varmvattenberedare genom utfällning av kalciumcarbonat;
- 4 - förslitning av kläder;
- 5 - en högre energikonsumtion;
- 6 - en högre konsumtion av tvål och tvättmedel;
- 7 - problem vid flera industriprocesser.

De flesta nackdelarna (3 t.o.m. 7) kan förhindras genom att installera en avhärtningsanläggning precis innan vattnet används (avhårdning i husen). Då handlar det om relativt små anläggningar, oftast jonbytare.

En annan möjlighet är avhårdning på vattenverk, innan vattnet distribueras. För de något större vattenverken är det billigare och dessutom bakteriologiskt säkrare, eftersom det i privata anläggningar kan ske en mikrobiologisk tillväxt. En annan fördel med den här så kallade centrala avhårdningen är att nackdelarna 1 och 2 också kan förhindras.

Det finns olika metoder för att avhärda vatten:

- jonbyte;
- kemiska metoder (fällning eller kristallisation);
- membrantekniker (ultra- , nano- eller hyperfiltrering).

Alla metoder är faktiskt lämpliga för avhårdning. Vilken metod som väljs är beroende av bl. a. vattensammansättningen och storleken på vattenverket samt kostnaden.

På visa ställen i Sverige (t.ex. Trelleborg och Ystad) tillämpas redan central avhårdning. Utomlands (framför allt i Holland och Tyskland) har man dock större erfarenhet av central avhårdning. I de länderna avhärddas en stor del av den totala vattenproduktionen med fördelaktiga resultat.

Den här enkäten ingår som en del i ett VA-forsk projekt och är ett försök att få en bättre bild av den svenska situationen angående hårt vatten.

Frågorna i enkäten är uppdelade i flera rubriker:

- vattenverk (bara vattenverken med en hög hårdhet (total hårdhet > 60 mg Ca/l eller HCO_3 > 120 mg/l) är utvalda);
- vattensammansättning;
- avhärdning, erfarenheter i Sverige;
- klagomål (från konsumenterna angående hårt vatten);
- avsikter med avhärdning;
- kontaktpersoner.

Resultaten från enkäten skall användas som en del av en rapport som ska skrivas för VA-Forsk och som ska handla om avhärdning. Rapporten ska komma ut till sommaren och också innehålla en litteratursammanställning om avhärdning av vatten, en process som kan bli aktuell även hos oss.

2 Vattenverk

Anläggning:

Antal anslutna personer:

Vattenproduktion (m³/år):

Typ av vattentäkt

ytvatten/grundvatten

Processteg för rening:

(fyll i era processteg, till exempel: 1-luftning, 2-öppet snabbfilter, 3-jonbytare, osv)

1)	
2)	
3)	
4)	
5)	
6)	
7)	
8)	
9)	
10)	

Kommentarer:

3 Vattensammansättning

I uppgifter i VAV -statistiken från 1989 fattas ett antal komponenter med betydelse för avhärdning. Förhoppningsvis kan nedanstående tabell ifyllas med nya uppgifter.

Analysår: _____

Vattentyp		Råvatten				Renvatten			
komp.	enhet	min	med	max	antal	min	med	max	antal
total hårdhet	mg Ca/l								
Ca	mg/l								
Mg	mg/l								
Na	mg/l								
Fe	mg/l								
Mn	mg/l								
HCO ₃	mg/l								
SO ₄	mg/l								
Cl	mg/l								
PO ₄	mg/l								
org. ämn. - KMnO ₄ - COD _{Mn} - TOC	mg/l								
pH	(-)								
temp.	°C								

4 Avhårdning

Dessa frågor ska bara besvaras när avhårdning tillämpas.

Tillämpad avhärtningsmetod: _____
 Leverantör: _____
 Byggår: _____
 Antal enheter: _____
 Kapacitet per enhet: (m³/dygn) _____
 Använda kemikalier: _____

Kostnader OBS - endast för avhärtningsprocessen!			
investeringar	Skr:		
underhållning, ersättning			Skr/år:
	Pris/enhet	använd kvantitet/år	Kostnader
kemikalie 1:	Skr/ton:	ton:	Skr/år:
kemikalie 2:	Skr/ton:	ton	Skr/år:
kemikalie 3:	Skr/ton	ton:	Skr/år:
energi	Skr/kWh:	kWH	Skr/år:
avlopp, avloppsvatten	Skr/ton:	ton	Skr/år:
arbete, drift och underhåll	Skr/(man.år):	man.:	Skr/år
Totalkostnader			Skr/år:

5 Klagomål

Uppskattning av antalet klagomål med anledning av hårt vatten.

Exempel på klagomål:

antal/år

- problem med utfällning av CaCO_3
i varmvattenberedare och/eller i duschen:
- problem med grumlighet efter kokning av vattnet:
- problem med installerade jonbytare:
- en dålig smak på t.ex. te:
-
-
-
- o.s.v.

För Er som redan tillämpar avhärdning, vore det intressant för oss att få veta hur många klagomål Ni hade före installationen och hur många det är nu?

6 Avsikter med avhärdning

Har ni avsikten att införa central avhärdning?

Vilken metod ska väljas i så fall?

På vilket ställe i reningsprocessen?

Har man gjort någon undersökning först ?

(litteraturstudie eller praktisk forskning)

Övriga anmärkningar: _____

7 **Kontakperson**

Namn och telefonnummer till den person som kan ringas för ytterligare frågor:

Namn: _____
Befattning: _____
Telefonnummer: _____

Sänd in enkätsvaret helst före slutet av mars till Institutionen för VA- teknik, Chalmers tekniska högskola, 412 96 Göteborg.

Tack för din hjälp!

Om Du vill ställa frågor svarar Mark de Blois som arbetar med projektet gärna på frågor (telefonnummer: 031-7722147)

Mark de Blois och Torsten Hedberg, 27 februari 1995.

Bilaga 3. Hårt vatten i Sverige: VAV-statistik och resultat från enkäten

Hårt dricksvatten i Sverige
VAV-statistik enkätresultat

nr	kommun	nr	vattenverk	Enkät svar						antal anslutna personer VAV	vattenpr. m3/år VAV	antal anslutna personer enkät	vattenpr. m3/år enkät
				Rubrik	1	2	3	4	5				
		VAV											
1	Aneby	604.01	Aneby	1	1	1	0	0	15	3500	417	3700	416
2	Avesta	2084.02	Germundsbo	1	1	1	0	1	15	6030 *	749	10000	700
3	Bjuv	1260.02	Holk	1	1	1	0	1	11	0	663	0	992
	Bjuv	1260.01	Ljungsård	1	1	1	0	1	15	12000	3083	10500	1750
4	Borgholm	885.01	Köpingsvik	1	1	5	0	1	11	6475	1144	7500	1200
5	Borlänge	2081.02	Frostbrunnadalen	1	1	5	0	1	10	5500	824	5000	597
	Borlänge	2081.01	Tjärna	1	1	5	0	1	10	39000	6903	30000	5260
6	Botkyrka	127.02	Segersjö	0						6290 *	652		
7	Boxholm	560.01	Pölen-Höjden	1	1	1	0	1	10	4140	479	4120	420
8	Bromölla	1162.01	Bromölla	0						7600	635		
9	Burölv	1231.01	Åkarp	1	1	0	0	0	0	1900	318	0	0
10	Båstad	1168.01	Båstad	1	1	1	1	1	10	7600	255	850	55
11	Eda	1730.02	Ämotsfors	1	1	1	0	1	10	1800	295	1900	237
12	Enköping	381.01	Munksundet	1	1	1	0	1	10	15850	1721	15000	1500
	Enköping	381.02	Vänsjöbrö	1	1	1	0	1	10	7800	843	11000	1000
13	Gagnef	2026.03	Bäsna	1	0	5	0	0	0	1600	187	1856	267
	Gagnef	2026.01	Tallbacken	1	0	5	0	0	0	3300	441	3418	370
14	Gnesta	480.02	Gnesta	1	1	1	0	0	10	5110	458	5400	470
15	Gotland	980.03	Hemse	1	1	1	0	1	15	1500	266		
	Gotland	980.05	Klintehamn	1	1	1	0	1	0	1600	225		
	Gotland	980.04	Slite	1	1	1	0	1	0	1800	288	600	219
	Gotland	980.01	Visby	1	0	5	0	0	11	15240 *	2248	22000	2915
16	Hallstahammar	1961.02	Kolbäck	1	1	1	0	1	10	2900	683	3000	645
17	Haninge	136.01	Hanveden	1	1	1	0	1	0	8690 *	1293	15000	800
18	Hedemora	2083.02	Långshyttan	0						2600	302		
	Hedemora	2083.01	Petersburg	0						7000	1017		
	Hedemora	2083.03	Viggesnäs	0						1800	272		
19	Hässleholm	1183.01	Hässleholm	0						22500	2184		
	Hässleholm	1183.03	Vinslöv	0						3850	279		
20	Hörby	1266.01	Hörby	0						8314	830		
21	Höör	1267.01	Karlsvik	1	1	1	0	0	0	9000	950	12000	888
22	Kinda	513.03	Björkfors	1	1	1	0	0	10	1900	139	170	16
	Kinda	513.01	Kisa	1	1	1	0	1	10	4800	413	4800	400
23	Kristianstad	1180.01	Kristianstad	1	1	1	0	1	0	33000	4056	35000	4250
	Kristianstad	1180.03	Tollarp	1	1	1	0	0	10	3000	303	3500	394
	Kristianstad	1180.02	Åhus	1	1	1	1	1	0	8000	1059	8000	1042
24	Krokom	2309.04	Fötlinge	1	1	1	0	1	10	800	127	800	113
	Krokom		Ånge	1	1	1	1	1	0			600	64
25	Kävlinge	1261.01	Kävlinge	1	1	1	0	0	10	5500	772	0	0
26	Laholm	1381.01	Skottorp	0						5357	918		
27	Leksand	2029.03	Insjön	1	1	1	0	1	11	2600	301	2800	320
28	Lomma	1262.01	Lomma	0						1700	133		
29	Lund	1281.01	Källby-Prästberga	1	1	1	0	1	10	9800	1213	10500	1400
30	Malmö	1280.01	Bulltofta	1	1	1	0	1	15	55000	7200	42000	5000
31	Mark	1563.01	Fritsla	1	1	1	0	0	0	12100 *	1304	17910	1271
32	Norrtälje	188.01	Norrtälje	1	0	1	0	0	0	14000	1730		
33	Nyköping-Oxelös.	499.02	Fruängen	1	1	1	0	1	10	10420 *	908	49000	1044
34	Nynäshamn	192.02	Nynäshamn, grundv.	0						4690 *	589		
	Nynäshamn	192.03	Ösmo, grundv.	0						1360 *	151		

nr	kommun	nr	vattenverk	Enkät svar						antal	vattenpr.	antal	vattenpr.
				Rubrik						anslutna		anslutna	
				1	2	3	4	5	6	personer	m3/år	personer	m3/år
		VAV								VAV	VAV	enkät	enkät
35	Orsa	2034.01	Boggas	1	1	1	0	1	0	6300	657	4900	625
36	Simrishamn	1181.01	Hamnabro	1	1	1	0	1	15	6700	898	2304	963
37	Sjöbo	1265.01	Sjöbo	0						8230	787		
38	Skurup	1264.01	Skurup	1	1	1	1	0	0	6962	1062	7200	1150
39	Sydvatten AB	1296.01	Vomb	1	1	1	0	1	11	350000	33100	300000	33000
40	Säter	2082.01	Säter	0						7100	676		
41	Söderköping	582.01	Söderköping	0						5851	920		
42	Tierp	360.01	Arvidsbo	0						5090	625		
	Tierp	360.02	Västland	0						2237	453		
	Tierp	360.03	Ödenskälla	0						2500	346		
43	Tomelilla	1160.02	Smedsdorp	0						2500	376		
	Tomelilla	1160.01	Tomelilla	0						5650	992		
44	Torsås	834.01	Bergkvarna	1	1	1	0	1	10	4400	383	4000	360
45	Trelleborg	1287.01	Trelleborg	1	1	1	1	0	0	17700	2798	26200	2517
46	Trosa	480.01	Trosa	1	1	1	0	1	10	5330	480	4500	406
	Trosa	480.03	Vagnhärad	1	1	1	0	1	10	3730	308	4000	330
47	Ulricehamn	1584.01	Ulricehamn	1	1	1	1	1	0	8500	870	10700	1084
48	Uppsala	380.09	Almunge	1	1	1	1	0	10	1290	155	710	147
	Uppsala	380.08	Björklunge	1	1	1	0	1	10	2800	377	2920	410
	Uppsala	380.02	Galgbacken	1	1	1	0	1	11	0	7429	139500	4728
	Uppsala	380.05	Lilla Djurgården	1	1		0		10	0	35	0	0
	Uppsala	380.07	Lövstalot	1	1	1	0	0	10	3180	439	3090	398
	Uppsala	380.03	Stadsträdgården	1	1	1	0	0	11	126000	3956		
	Uppsala	380.01	Storvad	1	1	1	0		11	0	9520		
	Uppsala	380.06	Storvreta	1	1	1	0	0	10	5700	698	6475	892
	Uppsala	380.04	Sunnersta	1	1	1	0	0	11	0	666		
49	Vara	1660.02	Kvänum-Jung	1	1	1	1	0	0	1937	221		191
	Vara	1660.01	Lassag	1	1	1	1	1	0	5652	742		
50	Vellinge	1233.01	Skanör-Falsterbo-R	1	1	1	1	0	0	25985	1783	19000	1900
	Vellinge	1233.02	Vellinge	1	1	1	1	0	0	9000	948	9700	1281
51	Vårgårda	1527.01	Algutstorp	0						4200	437		
52	Värmdö	120.01	Ingarö	0						12000	382		
53	Västerås	1980.02	Ansta	1	1	1	0	1	10	3500	940	3600	500
54	Ystad	1286.01	Nedrabby	0						17000	2670		
55	Äre	2321.03	Mörsil	1	1	1	0	1	10	900	199	877	178
56	Ästorp	1167.01	Kvidinge	1	1	1	0	1	10	5090 *	483	12700	520
	Ästorp	1167.02	Ästorp	1	1	1	0	1	0	7510 *	713		790
57	Ätvidaberg	561.01	Ätvidaberg	1	1	1	0	1	10	8250	1369	8600	1063
58	Älvkarleby	319.01	Kronsågen	1	1	1	0	1	10	8740	1182	9212	1200
59	Östhammar	382.01	Östhammar Ed	0						4000	411		
TOTAL				65			11			1097830	133706		

nr	kommun	nr	vattenverk	pH råvatten	renvatten	pH råvatten	renvatten
		VAV		VAV	VAV	enkät	enkät
1	Aneby	604.01	Aneby	7,4	8,0	7,7	8
2	Avesta	2084.02	Germundsbo	8,2	8,4	7,8	8
3	Bjuv	1260.02	Holk	7,1	7,3	7,5	7,4
	Bjuv	1260.01	Ljungsgård	6,2	7,2	6,6	7,3
4	Borgholm	885.01	Köpingsvik	7,2	7,6	7,7	8,1
5	Borlänge	2081.02	Frostbrunnadalen		8,1	8,2	8,2
	Borlänge	2081.01	Tjärna	8,1	8,0	8,1	8,1
6	Botkyrka	127.02	Segersjö	6,8 m	7,8 m		
7	Boxholm	560.01	Pölen-Höjden	7,3	7,3	7,8	7,8
8	Bromölla	1162.01	Bromölla	7,3	7,6		
9	Burlöv	1231.01	Åkarp	7,5	7,4		
10	Båstad	1168.01	Båstad	7,5		7,1	7,5
11	Eda	1730.02	Åmotfors	7,6	7,7	7,5	7,7
12	Enköping	381.01	Munksundet		7,6	8,1	8,1
	Enköping	381.02	Vånsjöbrö		7,4	8	8
13	Gagnef	2026.03	Bäsna	8,0 m	8,0 m	8	8
	Gagnef	2026.01	Tallbacken	8,1 m	8,1 m		
14	Gnesta	480.02	Gnesta	7,5	7,4	7,8	8,3
15	Gotland	980.03	Hemse	7,5	7,8		
	Gotland	980.05	Klintehamn	6,8	7,6	7,7	7,6
	Gotland	980.04	Slite		7,5 m	8,1	7,9
	Gotland	980.01	Visby	7,6	7,6	7,7	7,8
16	Hallstahammar	1961.02	Kolbäck	7,0	8,2		7,9
17	Haninge	136.01	Hanveden	7,8	8,0		8
18	Hedemora	2083.02	Långshyttan	7,2	7,4		
	Hedemora	2083.01	Petersburg		7,1		
	Hedemora	2083.03	Viggesnäs		7,8		
19	Hässleholm	1183.01	Hässleholm		7,6		
	Hässleholm	1183.03	Vinslöv	7,6	7,7		
20	Hörby	1266.01	Hörby	7,7	7,2 m		
21	Höör	1267.01	Karlsvik	7,7	7,6	7,9	8
22	Kinda	513.03	Björkfors		7,4	7,4	7,3
	Kinda	513.01	Kisa		7,5	7,3	7,8
23	Kristianstad	1180.01	Kristianstad	7,7	8,1	7,6	8,1
	Kristianstad	1180.03	Tollarp		7,7	8	8
	Kristianstad	1180.02	Åhus	8,2	8,2	8,2	8,3
24	Krokom	2309.04	Föllinge	7,1	7,2	7,3	7,5
	Krokom		Ånge	6,9	7,8	6,9	7,8
25	Kävlinge	1261.01	Kävlinge		7,4		
26	Laholm	1381.01	Skottorp	7,6			
27	Leksand	2029.03	Insjön	8,1	8,0	8,1	8,1
28	Lomma	1262.01	Lomma	7,7	7,7		
29	Lund	1281.01	Källby-Prästberga	7,9	8,1	7,4	7,4
30	Malmö	1280.01	Bulltofta	7,5	8,0	7,3	7,3
31	Mark	1563.01	Fritsla	8,6	8,1		8,1
32	Norrtälje	188.01	Norrtälje	7,2	7,6		
33	Nyköping-Oxelös.	499.02	Fruängen	7,6	7,6	7,6	7,6
34	Nynäshamn	192.02	Nynäshamn, grundv.	7,3	8,2		
	Nynäshamn	192.03	Ösmo, grundv.	7,2	8,4		

nr	kommun	nr	vattenverk	pH		pH	
				råvatten	renvatten	råvatten	renvatten
		VAV		VAV	VAV	enkät	enkät
35	Orsa	2034.01	Boggas	8,0	8,0		8,2
36	Simrishamn	1181.01	Hamnabro		7,3	7,7	7,8
37	Sjöbo	1265.01	Sjöbo	7,4	7,5 m		
38	Skurup	1264.01	Skurup	7,3	7,4	6,8	7,2
39	Sydvatten AB	1296.01	Vomb	7,8	7,7	7,6	7,7
40	Säter	2082.01	Säter		7,7		
41	Söderköping	582.01	Söderköping	7,8	7,8		
42	Tierp	360.01	Arvidsbo	8,3	8,0		
	Tierp	360.02	Västland	7,3	7,5		
	Tierp	360.03	Ödenskälla	7,8	7,7		
43	Tomelilla	1160.02	Smedsdorp		7,4		
	Tomelilla	1160.01	Tomelilla	7,3	7,9		
44	Torsås	834.01	Bergkvarna	7,3	8,2	7,6	8
45	Trelleborg	1287.01	Trelleborg	7,2	7,4	7,4	7,4
46	Trosa	480.01	Trosa	7,7	7,7	7,6	7,6
	Trosa	480.03	Vagnhärad	7,7	7,8	7,8	7,8
47	Ulricehamn	1584.01	Ulricehamn	8,1	8,2	7,8	8,1
48	Uppsala	380.09	Almunge	7,6	7,9	7,5	7,7
	Uppsala	380.08	Björklinge	7,2	7,5	7,4	7,4
	Uppsala	380.02	Galgbacken	7,4	7,4	7,5	7,4
	Uppsala	380.05	Lilla Djurgården	7,6	7,5		
	Uppsala	380.07	Lövstalot		7,6	7,5	7,5
	Uppsala	380.03	Stadsträdgården	7,5	7,4	7,5	7,5
	Uppsala	380.01	Storvad	7,3	7,4	7,5	
	Uppsala	380.06	Storvreta	7,5	7,4	7,4	7,4
	Uppsala	380.04	Sunnersta	7,4	7,5	7,55	7,5
49	Vara	1660.02	Kvänum-Jung	7,3	7,8	7,5	7,6
	Vara	1660.01	Lassag	7,2	7,5	7,5	7,8
50	Vellinge	1233.01	Skanör-Falsterbo-R	7,2	7,3 m	7,2	7,3
	Vellinge	1233.02	Vellinge	7,2	7,4	7,2	7,5
51	Vårgårda	1527.01	Älgutstorp	7,6	7,6		
52	Värmdö	120.01	Ingarö	7,6	8,1		
53	Västerås	1980.02	Ansta		6,9	7,7	7,8
54	Ystad	1286.01	Nedraby	7,5 m	7,7 m		
55	Åre	2321.03	Mörsil		8,0	7,7	7,7
56	Åstorp	1167.01	Kvidinge	7,7	7,8		8,4
	Åstorp	1167.02	Åstorp	7,9	7,4		8,5
57	Ätvidaberg	561.01	Ätvidaberg	8,1	8,2	7,9	7,8
58	Älvkarleby	319.01	Kronsågen		7,9	7,6	7,6
59	Östhammar	382.01	Östhammar Ed	7,4	7,8		
TOTAL							
				m	maximum	m	maximum

nr	kommun	nr	vattenverk	TH råvatten VAV	mmol/l	TH renvatten VAV	mmol/l	Ca råvatten enkät	Mg råvatten enkät	TH råvatten enkät	TH råvatten enkät	Ca renvatten enkät	Mg renvatten enkät	TH renvatten enkät	TH renvatten enkät
1	Aneby	604.01	Aneby	91	2,28	48	1,20	61	4,5	69	1,7	56	4,6	64	1,6
2	Avesta	2084.02	Germundsbo	73	1,83	73	1,83	63	6	73	1,8	58	5,9	68	1,7
3	Bjöv	1260.02	Holk	158	3,95	155	3,88	115	14	139	3,5	110	13	133	3,3
4	Borgholm	1260.01	Ljungsård	128	3,20	138	3,45	93	18	124	3,1	95	21	132	3,3
5	Borlänge	885.01	Köpingsvik	99	2,48	99	2,48	140 TH		140	3,5	140 TH		140	3,5
6	Borlänge	2081.02	Frostbrunnadalen	58	1,45	58	1,45	50 TH		50	1,3	50 TH		50	1,3
7	Borlänge	2081.01	Tjärna	53	1,33	53	1,33	45,6	2,9	51	1,3	45,6	2,9	51	1,3
8	Borlänge	127.02	Segersjö	66	1,65 m	60	1,50 m								
9	Borlänge	560.01	Pölen-Höjden	70	1,75	75	1,88	73	3,5	79	2,0	73	3,3	79	2,0
10	Borlänge	1162.01	Bromölla	84	2,10	83	2,08								
11	Borlänge	1231.01	Åkarp	113	2,83	112	2,80								
12	Borlänge	1168.01	Båstad	81	2,03			93,4	7,8	107	2,7	52,8	5	61	1,5
13	Borlänge	1730.02	Åmotfors	66	1,65	65	1,63	40	6,4	51	1,3	46	7,1	58	1,5
14	Borlänge	381.01	Munksundet	110	2,75	110	2,75	120	16	148	3,7	120	16	148	3,7
15	Borlänge	381.02	Vänsjöbrä	106	2,65	106	2,65	110	19	143	3,6	110	19	143	3,6
16	Borlänge	2026.03	Båna	55	1,40 m	55	1,38 m	59	3,1	64	1,6	59	3,1	64	1,6
17	Borlänge	2026.01	Tallbacken	60	1,50 m	58	1,45 m	53	2,8	58	1,4	53	2,8	58	1,4
18	Borlänge	480.02	Gnesta	92	2,30	43	1,08	29,4	12,6	51	1,3	43,3	13,8	67	1,7
19	Borlänge	980.03	Hemse	91	2,28	102	2,55								
20	Borlänge	980.05	Klinthamn	280	7,00	105	2,63	134	19	167	4,2	127	25	170	4,3
21	Borlänge	980.04	Slite	90	2,25 m	90	2,25 m	98	17	123	3,1	98	17	123	3,1
22	Borlänge	980.01	Visby	100	2,50	102	2,55	72	22	110	2,8	72	22	110	2,8
23	Borlänge	1961.02	Kolbäck	54	1,45	54	1,35	48,4	13,4	72	1,8	48,4	13,4	72	1,8
24	Borlänge	136.01	Hanveden	85	2,10	65	1,63					82	10	99	2,5
25	Borlänge	2083.02	Långshyttan	37	0,93	43	1,08								
26	Borlänge	2083.01	Petersburg	75	1,88	66	1,65								
27	Borlänge	2083.03	Viggesnäs	69	1,73	69	1,73								
28	Borlänge	1183.01	Hälsjöholm	88	2,20	88	2,20								
29	Borlänge	1183.03	Vinslöv	88	2,20	88	2,20								
30	Borlänge	1266.01	Hörby	66	1,65	67	1,68 m								
31	Borlänge	1267.01	Karlsvik	77	1,93	70	1,75	60	9,9	77	1,9	60	9,2	76	1,9
32	Borlänge	513.03	Björkfors	93	2,33	93	2,33	12	2,3	16	0,4	12	2,2	16	0,4
33	Borlänge	513.01	Kisa	68	1,70	68	1,70	61	2,5	65	1,6	67	4,3	74	1,9
34	Borlänge	1180.01	Kristianstad	83	2,08	92	2,30	81,6	5,1	90	2,3	82,1	6,7	94	2,3
35	Borlänge	1180.03	Tollarp	54	1,35	54	1,35	47,5	3,49	54	1,3	47,5	3,49	54	1,3
36	Borlänge	1180.02	Åhus	82	2,05	52	1,30	65,8	11,5	86	2,1	29,9	4,97	39	1,0
37	Borlänge	2309.04	Föllinge	87	2,18	24	0,60					20	2,5	24	0,6
38	Borlänge		Ånge					62	9	78	1,9	44	8	58	1,4
39	Borlänge	1261.01	Kävlinge	92	2,30										
40	Borlänge	1381.01	Skottorp	59	1,48										
41	Borlänge	2029.03	Insjön	64	1,60	65	1,63	70 TH		70	1,8	66 TH		66	1,7
42	Borlänge	1262.01	Lomma	150	3,75	117	2,93								
43	Borlänge	1281.01	Källby-Prästberga	130	3,25	18	0,45	89	22	127	3,2	92	22	130	3,3
44	Borlänge	1280.01	Bultofa	115	2,88	120	3,00	91	17	121	3,0	92	17	122	3,0
45	Borlänge	1563.01	Fritsla	56	1,40	34	0,85					30	2,5	34	0,9
46	Borlänge	188.01	Norrälje	125	3,13	64	1,60								
47	Borlänge	499.02	Fruängen	84	2,10	87	2,18	66	12	87	2,2	69,5	11	89	2,2
48	Borlänge	192.02	Nynäshamn, grundv.	125	3,13	50	1,25								
49	Borlänge	192.03	Ösno, grundv.	83	2,08	48	1,20								

nr	kommun	nr	vattenverk	HCO3 råvatten	mmol/l VAV	HCO3 renvatten	mmol/l VAV	HCO3 råvatten	mmol/l enkät	HCO3 renvatten	mmol/l enkät	HCO3 renvatten	mmol/l enkät	SO4 renvatten	mmol/l VAV	Cl renvatten	mg/l VAV
1	Aneby	604.01	Aneby	200	3,28	210	3,44	153,00	2,51	39,00	0,64	24	0,25	22	0,62		
2	Avesta	2084.02	Germundsbo	170	2,79	168	2,75	171,00	2,80	175,00	2,87	16		21	0,59		
3	Bjuv	1260.02	Holk	466	7,64	476	7,80	490,00	8,03	500,00	8,20	155	1,61	56	1,58		
4	Borgholm	1260.01	Ljungsgränd	206	3,38	209	3,43	240,00	3,93	220,00	3,61	182	1,90	32	0,90		
5	Borlänge	885.01	Köpingsvik	165	2,70	165	2,70					85	0,89	19	0,54		
6	Borlänge	2081.02	Frostbrunnadalen	122	2,00	122	2,00					14		6	0,17		
7	Borlänge	2081.01	Tjärna	138	2,26	138	2,26					12		6	0,17		
8	Borlänge	127.02	Segersjö	180	2,95	180	2,95	180,00	2,95	170,00	2,79	54	0,56 m	75	2,11 m		
9	Bromölla	560.01	Pölen-Höjden	180	2,95	180	2,95					23	0,24	21	0,59		
10	Båstad	1162.01	Bromölla	355	5,82	1231	341	5,59				33	0,34	13	0,37		
11	Eda	1231.01	Åkarp	190	3,11							2	0,02	80	2,25		
12	Enköping	1168.01	Båstad	162	2,66	167	2,74 m	225,50	3,70	282,50	4,63	58	0,60	95	2,68 m		
13	Enköping	1730.02	Åmotfors	267	4,38	267	4,38	160,00	2,62	170,00	2,79	64	0,67	25	0,70		
14	Gagnef	381.01	Munksundet	280	4,59	280	4,59	300,00	4,92	300,00	4,92	39	0,41	42	1,18		
15	Gagnef	381.02	Vänsjöbrö	162	2,66 m	162	2,66 m					13	0,14 m	7	0,20 m		
16	Gagnef	2026.03	Båsta	151	2,48 m	151	2,48 m					13	0,14 m	6	0,17 m		
17	Gagnef	2026.01	Tallbacken	225	3,69	225	3,69	121,00	1,98	152,80	2,50	69	0,72	81	2,28		
18	Gagnef	480.02	Gnesta	253	4,15	253	4,15					34	0,35	25	0,70		
19	Göteborg	980.03	Hemse	279	4,57	279	4,57	343,00	5,62	341,00	5,59	31	0,32	14	0,39		
20	Göteborg	980.04	Klinterhamn	281	4,61 m	281	4,61 m	288,00	4,72	300,00	4,92	39	0,41	25	0,70		
21	Göteborg	980.01	Visby	271	4,44	271	4,44	287,00	4,70	295,00	4,84	34	0,35	23	0,65		
22	Hallstahammar	1961.02	Kolbäck	160	2,62	160	2,62	210,00	3,44	210,00	3,44	78	0,81	37	1,04		
23	Hallstahammar	136.01	Hanveden	105	1,72	105	1,72			113,00	1,85	10		3	0,08 m		
24	Hedemora	2083.02	Långshyttan	131	2,15	102	1,67 m					13		11	0,31		
25	Hedemora	2083.01	Petersburg	161	2,64	161	2,64					15		9	0,25		
26	Hedemora	2083.03	Viggesnäs	150	2,46	150	2,46					41	0,43	29	0,82		
27	Hälsjöholm	1183.01	Hälsjöholm	190	3,11 m	190	3,11 m					29	0,30	25	0,70 m		
28	Hälsjöholm	1183.03	Vinslöv	150	2,46 m	150	2,46 m					32	0,33 m	28	0,79 m		
29	Hörby	1266.01	Hörby	227	3,72	219	3,59	170,00	2,79	170,00	2,79	32	0,33 m	94	2,65		
30	Kinda	513.03	Björkfors	24	0,39	24	0,39	23,00	0,38	25,00	0,41	13	0,14	2	0,06		
31	Kristianstad	513.01	Kisa	200	3,28 m	200	3,28 m	99,00	1,62	140,00	2,30	31	0,32	32	0,90 m		
32	Kristianstad	1180.01	Kristianstad	250	4,10	260	4,26	268,00	4,39	260,00	4,26	17	0,18	22	0,62		
33	Kristianstad	1180.03	Tollarp	140	2,30	140	2,30	130,00	2,13	130,00	2,13	15	0,16	11	0,31		
34	Kristianstad	1180.02	Åhus	240	3,93	250	4,10	270,00	4,43	265,00	4,34	50	0,52	31	0,87		
35	Krokron	2309.04	Fällinge	195	3,20	66	1,08	66,00	1,08	67,00	1,10	8		10	0,28 m		
36	Krokron		Ånge					204,00	3,34	212,00	3,48						
37	Kävlinge	1261.01	Kävlinge	200	3,28	200	3,28							26	0,73		
38	Laholm	1381.01	Skottorp	148	2,43												
39	Leksand	2029.03	Insjön	153	2,51	156	2,56	165,00	2,70	170,00	2,79	16	0,17	11	0,31		
40	Lomma	1262.01	Lomma	385	6,31												
41	Lund	1281.01	Källby-Prästberga	360	5,90	350	5,74	380,00	6,23	360,00	5,90	7	0,00	194	5,46		
42	Malmö	1280.01	Bultofra	360	5,90	349	5,72	342,00	5,61	334,00	5,48	20	0,21	76	2,14		
43	Mark	1563.01	Fritsla	139	2,28	89	1,46			93,00	1,52			17	0,48		
44	Norrålle	188.01	Norrålle	244	4,00	146	2,39					49	0,51	11	0,31		
45	Nyköping-Oxelös.	499.02	Fruängen	185	3,03	189	3,10	191,00	3,13	189,00	3,10	55	0,57	31	0,87		
46	Nynäshamn	192.02	Nynäshamn, grundv.	205	3,36	93	1,52					87	0,91	21	0,59		
47	Nynäshamn	192.03	Ösno, grundv.	105	1,72	82	1,34					78	0,81	62	1,75		

nr	kommun	nr	vattenverk	HCO3 råvatten mg/l VAV	HCO3 råvatten mmol/l VAV	HCO3 råvatten mg/l enkät	HCO3 råvatten mmol/l enkät	HCO3 råvatten mg/l enkät	HCO3 råvatten mmol/l enkät	SO4 renvatten mg/l VAV	Cl renvatten mg/l VAV	
35	Örsa	2034.01	Boggas	136	2,23	133,00	2,18	132,00	2,16	120	1,25	7
36	Sirnishamn	1181.01	Hamnabro	310	5,08	275,00	4,51	290,00	4,75	52	0,54 m	39
37	Sjöbo	1265.01	Sjöbo	212	3,48	205	3,36 m	370,00	6,07	59	0,61	18
38	Skurup	1264.01	Skurup	366	6,00	361	5,92	370,00	6,07	50	0,52	15
39	Sydsvatten AB	1296.01	Vomb	192	3,15	190	3,11	181,00	2,97	14		19
40	Säter	2082.01	Säter	129	2,11	129	2,11	181,00	2,97	53	0,55	10
41	Söderköping	582.01	Söderköping	143	2,34	274	4,49 m			32	0,90	0,28
42	Tierp	360.01	Arvidsbo	174	2,85	175	2,87			22	0,00	32
		360.02	Västland	227	3,72	230	3,77			16	0,45	16
		360.03	Ödenskälla	278	4,56	262	4,30			25	0,26	14
43	Tomellilla	1160.02	Smedsdorp			220	3,61			48	0,50	19
		1160.01	Tomellilla	300	4,92	330	5,41			89	0,93	0,45
44	Torsås	834.01	Bergkvarna	110	1,80	141	2,31	140,00	2,30	86	0,90	25
45	Trelleborg	1287.01	Trelleborg	428	7,02 m	420	6,89	428,00	7,02	46	0,48	41
46	Trosa	480.01	Trosa	164	2,69	158	2,59	154,00	2,51	100	1,04	1,15
		480.03	Vagnhärad	151	2,48	149	2,44	175,00	2,87	50	0,52	39
47	Ulricehamn	1584.01	Ulricehamn	121	1,98	122	2,00	120,00	1,97	30	0,31	13
48	Uppsala	380.09	Almunge	122	2,00	86	1,41	107,00	1,75	36	0,38	66
		380.08	Björklinge	339	5,56	324	5,31	242,00	3,97	54	0,56	20
		380.02	Galbacken	232	3,80	275	4,51	242,00	3,97	54	0,56	35
		380.05	Lilla Djurgården	355	5,82	309	5,07	282,00	4,62	40	0,48	19
		380.07	Lövstallet	280	4,79	280	4,59	300,00	4,92	46	0,48	19
		380.03	Stadstrågård	292	4,79	296	4,85	273,00	4,48	54	0,56	27
		380.01	Storväd	287	4,70	275	4,51	277,00	4,54	40	0,42	19
		380.06	Storvreta	300	4,92	292	4,79	310,00	5,08	27	0,28	13
		380.04	Sunnersta	301	4,93	300	4,92	310,00	5,08	48	0,50	38
49	Vara	1660.02	Kvänum-Jung	336	5,51	329	5,39	338,00	5,54	109	1,14	54
		1660.01	Lassag	299	4,90	217	3,56	189,00	3,10	125	1,30	33
50	Vellinge	1233.01	Skarör-Falsterbo-R	365	5,98	359	5,89 m	357,00	5,85	71	0,74 m	33
		1233.02	Vellinge	365	5,98	357	5,85	366,00	6,00	87	0,91	67
51	Välgårda	1527.01	Algutstorp	122	2,00	80	1,31			55	0,57	22
52	Värmdö	120.01	Ingarö							37	0,39	23
53	Västerås	1980.02	Ansta			177	2,90	160,00	2,62	58	0,60	38
54	Ystad	1286.01	Nedraaby	245	4,02 m	221	3,62 m			74	0,77 m	31
55	Åre	2321.03	Mörsil	140,00	2,30	92	1,51	181,00	2,97	15		10
56	Åstorp	1167.01	Kvidinge	210	3,44	220	3,61	190,00	3,11	52	0,54	32,00
		1167.02	Åstorp	148	2,43	216	3,54	150,00	2,46	29	0,30	1
57	Ätvidaberg	561.01	Ätvidaberg			216	3,54	220,00	3,61	18	0,19	9
58	Älvkarleby	319.01	Kronsjön	315	5,16	295	4,84			65	0,68	14
59	Östhammar	382.01	Östhammar Ed									51
TOTAL												

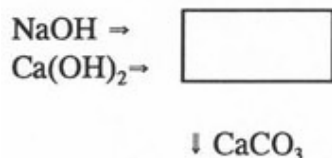
nr	kommun	nr	vattenverk	(+)- (-)	TH (rå) - TH (ren)	HC. (rå) - HC. (ren)	Avh. PO4 ?	Fe råvatten	Ca renvatten	Ca mmol/l	Mg renvatten	Mg mmol/l	Mn råvatten	KMnO4 råvatten
		VAV		VAV	VAV	VAV		VAV	VAV	VAV	VAV	VAV	VAV	VAV
1	Aneby	604.01	Aneby	-2,16	1,08	-0,16		3,50	89	2,23			0,70	
2	Avesta	2084.02	Germundisbo	0,30	0,03	0,10 m		0,40	73	1,83			0,77	
3	Bjuv	1260.02	Holk	-4,86	0,08	0,10 m		1,20					0,20	
	Bjuv	1260.01	Ljungsgränd	-1,22	-0,25	0,10 m		0,24					1,92	
4	Borgholm	885.01	Köpingsvik	-0,06	0,00	0,10 m		0,45					0,12	
5	Borlänge	2081.02	Frostbrunnadalen	0,73										
	Borlänge	2081.01	Tjärna	0,22	-0,05	0,20		0,58					0,13	
6	Botkyrka	127.02	Segersjö	0,15									0,56 m	
7	Boxholm	560.01	Pölen-Höjden	-0,27	-0,13	0,00		1,06					0,23	
8	Bromölla	1162.01	Bromölla	0,15	0,02	0,00		0,22	81	2,03	1	0,04	0,00	1 m
9	Burlöv	1231.01	Åkarp	-2,29	0,03	0,23		3,95					0,18	9
10	Båstad	1168.01	Båstad					0,05 m					0,05 m	
11	Eda	1730.02	Åmotfors	-3,37	0,02	-0,08		0,25	70	1,75 m			0,24	4
12	Enköping	381.01	Munksundet	-0,91					108	2,70	15	0,65		
	Enköping	381.02	Vånsjöbrö	-1,29					85	2,13	18	0,78		
13	Gagnef	2026.03	Bäsna	-0,37	0,02	0,00		0,05 m					0,01 m	
	Gagnef	2026.01	Tallbacken	-0,02	0,05	0,00		0,05 m					0,01 m	
14	Gnesta	480.02	Gnesta	-5,26	1,23	0,01 m	ja	1,10	38	0,95	10	0,43 m	0,29	6
15	Gotland	980.03	Hemse	-0,46	-0,28	0,48		0,05 m					0,05 m	4 m
	Gotland	980.05	Klintehamn	-0,36	4,38	1,90		0,10					0,15	8
	Gotland	980.04	Slite											
	Gotland	980.01	Visby	-0,86	-0,05	0,43		0,05 m					0,05 m	8
16	Hallstahammar	1961.02	Kolbäck	-1,28	0,10	0,33		0,01 m	55	1,38			0,03 m	
17	Haninge	136.01	Hanveden	-1,14	0,48	0,08		3,10	65	1,63			0,37	2
18	Hedemora	2083.02	Långshyttan	0,39	-0,15	0,48		0,40	35	0,88			0,96	17
	Hedemora	2083.01	Petersburg	1,28					60	1,50				
	Hedemora	2083.03	Viggessnäs	0,41					54	1,35				
19	Hässelholm	1183.01	Hässelholm	-0,68					68	1,70	4	0,17		
	Hässelholm	1183.03	Vinslöv	-0,02	0,00	-0,16		0,04	83	2,08	3	0,13	0,05 m	5
20	Hörby	1266.01	Hörby	-0,56	-0,03	0,10 m		0,18					0,08	
21	Höör	1267.01	Karlsvik	-3,40	0,18	0,13		0,50					0,11	
22	Kinda	513.03	Björkfors	3,93										
	Kinda	513.01	Kisa	-1,43					73	1,83				
23	Kristianstad	1180.01	Kristianstad	-0,64	-0,23	-0,16		0,16	81	2,03	6	0,26	0,05 m	6
	Kristianstad	1180.03	Tollarp	-0,22					48	1,20	4	0,17		
	Kristianstad	1180.02	Åhus	-3,41	0,75	-0,16 ja		0,34	44	1,10	5	0,22	0,05 m	10
24	Krokom	2309.04	Föllinge	-0,16	1,58	2,11		0,05 m					0,05 m	3
	Krokom		Ånge						94	2,35				
25	Kävlinge	1261.01	Kävlinge										0,20	
26	Laholm	1381.01	Skottorp										0,06	
27	Leksand	2029.03	Insjön	0,05	-0,02	-0,05		0,11	66	1,65			0,03	1 m
28	Lomma	1262.01	Lomma		0,83			4,70					0,14	11
29	Lund	1281.01	Källby-Prästberga	-9,21	2,80	0,16		4,90					0,07	8
30	Malmö	1280.01	Bulltofta	-2,28	-0,13	0,18		0,71	90	2,25	19	0,83	0,18	8
31	Mark	1563.01	Fritsla		0,55	0,82		0,02 m					0,11	4
32	Norrälje	188.01	Norrälje	-0,52	1,53	1,61		0,03					0,02 m	8
33	Nyköping-Oxelös.	499.02	Fruängen	-0,77	-0,07	-0,07		0,23	66	1,65	12	0,52	0,34	2
34	Nynäshamn	192.02	Nynäshamn, grundv	-1,43	1,88	1,84		3,50	51	1,28			0,75	3
	Nynäshamn	192.03	Osma, grundv.	-2,32	0,88	0,38		3,70	51	1,28			0,40	6

nr	kommun	nr	vattenverk	(+)- (-)	TH (rå) - TH (ren) mmol/l	HC. (rå) - HC. (ren) mmol/l	Avh. ?	PO4 råvatten mg/l	Fe råvatten mg/l	Ca råvatten mg/l	Ca mmol/l	Mg råvatten mg/l	Mg mmol/l	Mn råvatten mg/l	KMnO4 råvatten mg/l
		VAV		VAV	VAV	VAV		VAV	VAV	VAV	VAV	VAV	VAV	VAV	VAV
35	Orsa	2034.01	Boggas		0,00	0,00		0,10 m	0,05 m					0,03 m	
36	Simrishamn	1181.01	Hannabro	-0,92	0,10	0,41		0,10 m	0,49	130	3,25	11	0,48	0,22	9
37	Sjöbo	1265.01	Sjöbo	-1,75	0,98	0,11 ja		0,10 m	0,05 m					0,05 m	5
38	Skurup	1264.01	Skurup	-0,77	2,05	0,08 ja		0,10 m	1,40			8	0,35	0,04	8
39	Sydsvatten AB	1296.01	Vomb	-4,44	0,00	0,03		0,01	0,12	86	2,15	6	0,26	0,07	4
40	Säter	2082.01	Säter	0,20						52	1,30				
41	Söderköping	582.01	Söderköping	-2,80	0,02	-2,15		0,10 m	0,05 m					0,05 m	1
42	Tierp	360.01	Arvidsbo		0,73	-0,02 ja		0,10 m	0,02					0,01 m	2
	Tierp	360.02	Västland	-2,12	1,03	-0,05 ja		0,10 m	0,18					0,03	
	Tierp	360.03	Ödensållå	-0,65	0,02	0,26		0,01 m	0,01					0,01	2
43	Tornedalen	1160.02	Smedsörp	-0,06	0,00					92	2,30	6	0,26		
	Tornedalen	1160.01	Tornedalen	-4,72	1,68	-0,49 ja		0,10 m	3,50	57	1,43	5	0,22	0,22	10
44	Torsås	834.01	Bergkvarna	-1,01	0,00	-0,51		0,10 m	2,60	84	2,10			0,70	
45	Trelleborg	1287.01	Trelleborg	-5,99	2,23	0,13 ja		0,07	2,12	40	1,00	12	0,52	0,05	
46	Trosa	480.01	Trosa	-0,74	0,10	0,10		0,01 m	0,36	67	1,68 m	12	0,52 m	0,42	5
	Trosa	480.03	Vagnhärad	-1,24	0,00	0,03		0,01 m	0,08	59	1,48	14	0,61 m	0,01 m	5
47	Ulricehamn	1584.01	Ulricehamn	-1,59	0,73	-0,02 ja		0,10 m	0,13	32	0,80			0,10	1 m
48	Uppsala	380.09	Almunge	-1,60	0,33	0,59		0,08 m	0,30			5	0,22	0,07	58
	Uppsala	380.08	Björklunge	-0,32	0,00	0,25		0,05 m	0,01 m			10	0,43	0,01 m	2
	Uppsala	380.02	Gelgbacken	-0,58	-0,28	-0,70		0,05 m	0,07			10	0,43	0,01 m	14
	Uppsala	380.05	Lilla Djurgården	-0,81	0,38	0,75		0,05 m	0,01 m	85	2,13	15	0,65	0,06	3
	Uppsala	380.07	Lövstallet	-0,25								9	0,39		
	Uppsala	380.03	Stadsträdgården	-0,99	-0,08	-0,07		0,05 m	0,01 m			14	0,61	0,04	5
	Uppsala	380.01	Storvad	-0,58	0,10	0,20		0,05 m	0,02			10	0,43	0,01 m	5
	Uppsala	380.06	Storvreta	-0,32	0,07	0,13		0,06	0,01			8	0,35	0,01 m	2
	Uppsala	380.04	Sunnersta	-1,19	0,13	0,02		0,05 m	0,01 m			15	0,65	0,01 m	2
49	Vara	1660.02	Kvånum-Jung	-8,19	3,23	0,11 ja		0,50 m	0,20	20	0,50			0,40	4
	Vara	1660.01	Lassag	-4,44	3,68	1,34 ja		0,05 m	3,70	50	1,25			0,90	4 m
50	Vellinge	1233.01	Skandör-Falsterbo-R	-6,85	2,35	0,10 ja		0,10 m	0,30					0,05 m	5
	Vellinge	1233.02	Vellinge	-6,23	2,35	0,13 ja		0,10 m	0,95					0,05 m	
51	Vårdå	1527.01	Ågutstorp	-0,28		0,69									1 m
52	Värmdö	120.01	Ingårö		0,00			0,02	0,05					0,01	2
53	Västerås	1980.02	Ansta	-1,18						50	1,25				
54	Ystad	1286.01	Nedaby	-3,59	1,53	0,39 ja		0,10 m	0,70 m					0,07 m	2 m
55	Åre	2321.03	Mörsil	1,46											
56	Åstorp	1167.01	Kvidinge	-0,67	0,18	0,16		0,10 m	0,13					0,37	
	Åstorp	1167.02	Åstorp	-0,74	-0,68	-0,16		0,10 m	0,30					0,05 m	
57	Åtvidaberg	561.01	Åtvidaberg	-0,16	-0,10	0,28		0,10 m	0,07	58	1,45			0,28	
58	Älvkarleby	319.01	Kronsjö	-0,41											
59	Östhammar	382.01	Östhammar Ed	-4,53	1,65	0,33 ja		0,40 m	0,03	63	1,58			0,02 m	23
	TOTAL														

Bilaga 4. Sambandet mellan kemikaliedosering och Ca-halt, m- och p-tal

Balanser över en avhärtningsreaktor

Betrakta ett vätske-element som man doserar kemikalier till ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ och NaOH) och som flyttar sig genom en avhärdningsreaktor. Genom kristallisering (eller utfällning) lämnar CaCO_3 vätska-elementet. Schematiserat:



För Ca-halten, m- och p-talet kan man nu ställa up följande balanser:

- (1) $dCa = dos (Ca(OH)_2) - krist (CaCO_3)$
- (2) $dm = 2 \times dos (Ca(OH)_2) + dos (NaOH) - 2 \times krist (CaCO_3)$
- (3) $dp = 2 \times dos (Ca(OH)_2) + dos (NaOH) - krist (CaCO_3)$

Där:

dCa - Ca-halten efter reaktorn minus Ca-halten före reaktorn;
dm - m-talet efter reaktorn minus m-talet före reaktorn;
dp - p-talet efter reaktorn minus p-talet före reaktorn;
dos (Ca(OH)₂) - dosering Ca(OH)₂;
dos (NaOH) - dosering NaOH;
krist (CaCO₃) - kristallisering CaCO₃.

Eliminering av den okända krist (CaCO_3) ger tre ekvationer:

$$\begin{array}{ll} 2 \times (1) - (2) \text{ -----} > (4) & 2 \times dCa - dm = -dos (NaOH); \\ (1) - (3) \text{ -----} > (5) & dCa - dp = -dos (Ca(OH)_2) - dos (NaOH); \\ (2) - 2 \times (3) \text{ -----} > (6) & dm - 2 \times dp = -2 \times dos (Ca(OH)_2) - dos (NaOH). \end{array}$$

Om $\text{dos}(\text{NaOH}) = 0$, då gäller:

$$(4a) \quad dCa = dm/2$$

Om dos $(\text{Ca(OH)}_2) = 0$, då gäller:

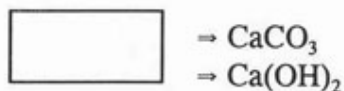
$$(1a) \quad dCa = -k_{\text{krist}} (CaCO_3)$$

Härmed kan härledas:

$$(7) \quad dm - dp = dCa$$

Balanser över ett filter

Betrakta nu ett vätskeelement som flyttar sig genom ett filter. Anta att bara Ca(OH)_2 och CaCO_3 tas bort. Schematiserat:



Balanser för Ca-halten, m- och p-talet ger (bt betyder borttagen):

(8) $d\text{Ca} = -bt(\text{CaCO}_3) - bt(\text{Ca(OH)}_2);$

(9) $dm = -2 \times bt(\text{CaCO}_3) - 2 \times bt(\text{Ca(OH)}_2);$

(10) $dp = -bt(\text{CaCO}_3) - 2 \times bt(\text{Ca(OH)}_2);$

Om $bt(\text{CaCO}_3) = 0$, då gäller:

(11) $d\text{Ca} = dm/2;$

(12) $d\text{Ca} = dp/2;$

(13) $dm = dp;$

Om $bt(\text{Ca(OH)}_2) = 0$, då gäller:

(14) $d\text{Ca} = dm/2;$

(15) $d\text{Ca} = dp;$

(16) $dm = 2 \times dp.$

Om alltså Ca(OH)_2 används för avhärdningen, då gäller som balans för systemet reaktor och filter tillsammans: $d\text{Ca} = dm/2$.



Box 47607 117 94 Stockholm

Tfn 08-506 002 00

Fax 08-506 002 10

E-post svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se