

5 .FRAMTIDENS DRICKSVATTENDISTRIBUTION

– KAN VI DRA NYTTA AV DAGENS KUNSKAP?

Dagens kunskap inom området korrosion i distributionsledning för dricksvatten är avsevärt bättre än den var för bara ett antal år sedan. Allt eftersom kraven på dricksvattnet skärps och nya rörmaterial introduceras föds dock behov av ytterligare undersökningar för att utreda nya frågeställningar. Kunskapsuppbyggnaden är således en ständigt pågående process och skall så vara.

Eftersom råvatten, beredningsprocess, distributionsnät och konsumtionsmönster skiljer sig åt från område till område och från kommun till kommun, måste åtgärder som vidtas vara anpassade för den speciella situation som råder i just det område där åtgärden ska sättas in. Generellt bör man dock tänka på några grundprinciper:

- Processen för dricksvattenberedning skall vara så utformad att den hela tiden ger en stabil dricksvattenkvalitet, oberoende av råvattnets kvalitet och producerad volym. Detta mål kan vara svårt att uppnå om till exempel råvattnet vid olika tider på året uppvisar helt olika kvalitet med avseende på innehåll av NOM. Det är dock värt att lägga ner omsorg på att uppnå detta mål, eftersom en varierande vattenkvalitet ger upphov till omlagringar i de skyddande korrosionsproduktskikten, vilket alltid är ogynnsamt ur korrosionssynpunkt.
- Man bör aldrig använda två olika vatten med olika kvalitet för att försörja samma distributionsområde, så att området ibland har det ena, ibland det andra vattnet. Lämpligen blandas istället vattnen på ett kontrollerat sätt innan de distribueras. Alternativt kan distributionsområdet delas upp, så att de olika delarna försörjs med olika vatten.
- Långa uppehållstider i distributionsnäten bör undvikas. Om vattnet blir stillastående i rörledningarna under lång tid försämras vattnets kvalitet och till följd av korrosion och

mikrobiologisk aktivitet kommer syrehalten i vattnet att bli mycket låg, vilket får till följd att de skyddande korrosionsproduktskikten löses upp och frilägger ytan för fortsatt korrosion.

Vid val av rör för dricksvattendistribution, ny- eller omläggning, kan det vara klokt att så långt möjligt minimera antalet olika material i distributionsområdet. Det är alltid lättare att anpassa dricksvattenkvaliteten till ett homogent distributionsnät än till ett som innehåller många olika material. Man måste också vara medveten om, att olika rörmaterial påverkar dricksvattenkvaliteten på olika sätt och att detta i sin tur påverkar korrosionssituationen på efterföljande material.

- Innan nya material tas i bruk måste de vara väl utprovade med utgångspunkt från alla de krav från olika aspekter som kan ställas på ett distributionsrör för dricksvatten. Detta kan röra sig om rena korrosionsfrågor eller om materialet i något annat avseende påverkar dricksvattenkvaliteten och i förlängningen kvaliteten hos avloppsvatten och avloppsslam. Det kan handla om möjligheten till mikrobiologisk aktivitet, risk för rörbrott och livslängdsfrågor. Andra frågeställningar kan handla om miljövänliga tillverkningsprocesser och återvinning. Sist men inte minst är priset självfallet en betydelsefull faktor. Denna får dock inte vara allena rådande. Kostnaderna för att byta ut ett material efter en tids användning är alltför stora för att medge att man använder de kommunala distributionsnäten som försöksanläggning.

Utöver dessa råd kan självfallet korrosionsegenskaperna hos respektive material ge upphov till rekommendationer. Man bör då hålla i minnet att dricksvattenkvaliteten förändras över distributionsnätet och det är den kvalitet som vattnet har när det når det aktuella materialet som är av intresse. Kvaliteten ut från vattenverket är av helt underordnad betydelse.

Vilken vattenkvalitet ska man välja om man har järn- och kopparrör i distributionsnätet?

Eftersom så många parametrar är av betydelse för korrosionsprocessen, kan framställningen lätt bli invecklad. Låt därför tre olika vatten med skilda sammansättningar illustrera effekten av de olika vattenkvalitetsparametrarna. I ett verkligt fall måste självfallet modellberäkningarna kombineras med ett utförligt kontrollprogram för att säkerställa effekten av en viss åtgärd. Som modell har följande tre vatten valts, tabell 7:

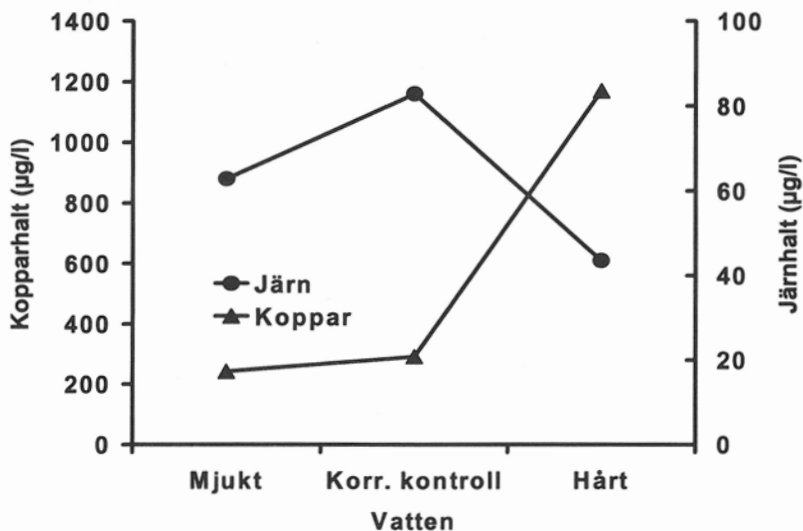
Parameter	Mjukt vatten	Korrosions-kontrollerat vatten	Hårt vatten
pH	8,5	8,0	7,6
Total karbonathalt (mg HCO ₃ ⁻ /l)	30	60	300
Kalciumhalt (mg/l)	8	20	80
Klorid (mg/l)	7	18	70
Sulfat (mg/l)	19	48	96
NOM (COD _{Mn}) (mg /l O ₂)	3	2	1

Tabell 7. Vattenkvaliteten hos tre olika typvatten.

Dessa tre vatten förekommer alla i Sverige och för samtliga är värdena på respektive parameter godkända utan anmärkning enligt Livsmedelsverkets dricksvattenkungörelse. Emellertid varierar halterna av korrosionsprodukter för rörmaterialen högst avsevärt, som framgår av figur 18.

Parameter	Eget vatten
pH	
Total karbonathalt (mg HCO ₃ ⁻ /l)	
Kalciumhalt (mg/l)	
Klorid (mg/l)	
Sulfat (mg/l)	
NOM (COD _{Mn}) (mg /l O ₂)	

Vårt vatten liknar mest:

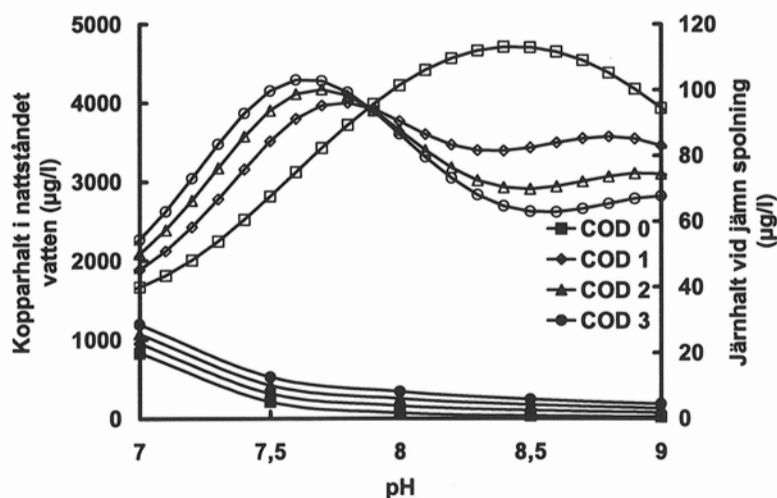


Figur 18. Modellberäkningar av kopparhalten i nattståndet vatten och järnhalten vid jämn spolning för de olika vattnet i tabell 5.

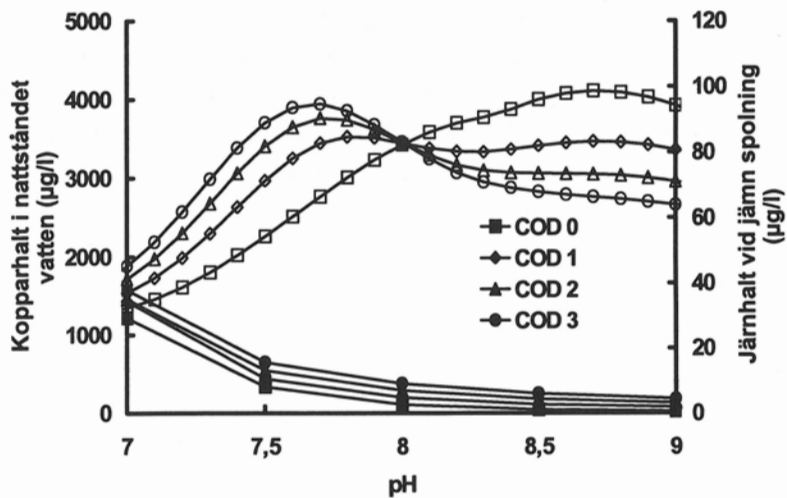
Figur 19a visar korrosionshastighetens beroende av pH och NOM för det mjuka vattnet, figur 19b för det korrosionskontrollerade och figur 19c för det hårda vattnet. Effekten av pH är uppenbar, där låga pH-värden är gynnsamma för järn i samtliga vatten. Det framgår också att medan NOM har en korrosionsdämpande effekt för järn i det mjuka vattnet vid

pH = 8,5, är effekten omvänd för det hårda vattnet, vid pH = 7,6. Eftersom det korrosionskontrollerade vattnet har ett pH där kurvorna för olika NOM-halt skär varandra är effekten av NOM just här obetydlig. Efter en liten pH-justering i ena eller andra riktningen blir dock effekten påtaglig. Jämförs de olika diagrammen, framgår också att en högre alkalinitet generellt sett är bättre för järn än en lägre.

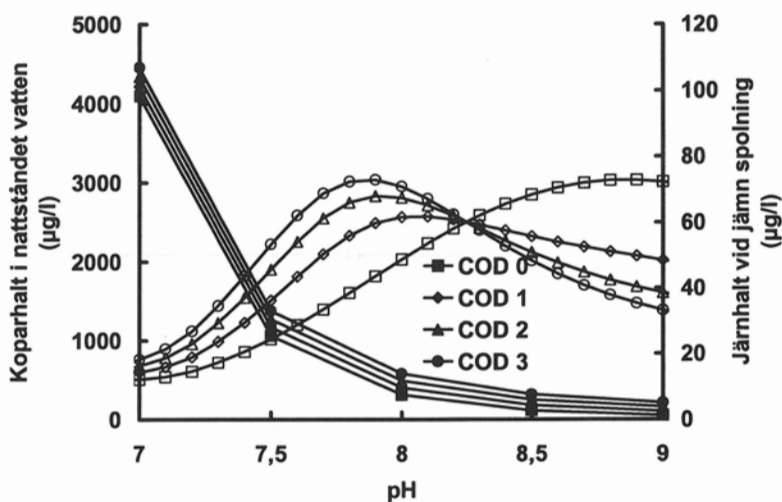
För koppar är situationen lite enklare. Kopparhalten i nattståndet vatten tilltar med ökande NOM-halt och ökande alkalinitet samt minskande pH.



Figur 19a. Modellberäkningar av kopparhalten i nattståndet vatten (fyllda symboler) och järnhalten vid jämn spolning (ofyllda symboler) som funktion av pH och NOM-halt (COD_{Mn} i mg/l O_2) för ett mjukt vatten.



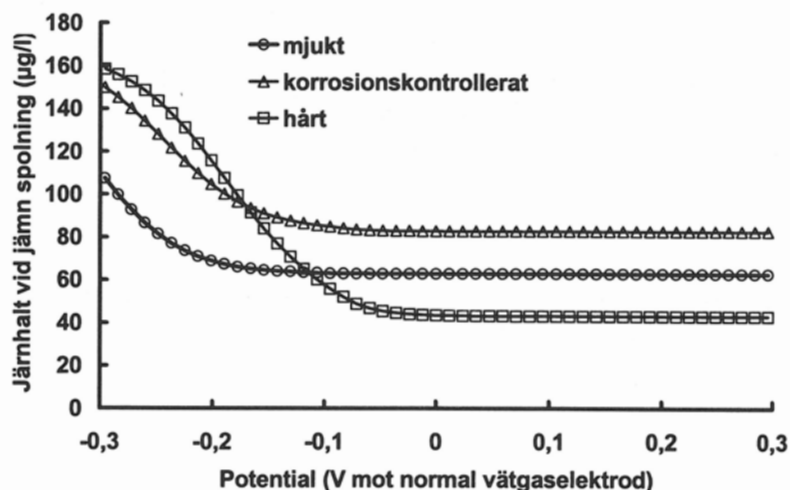
Figur 19b. Modellberäkningar av kopparhalten i nattståndet vatten (fyllda symboler) och järnhalten vid jämn spolning (ofyllda symboler) som funktion av pH och NOM-halt (COD_{Mn} i mg/l O_2) för ett korrosionskontrollerat vatten.



Figur 19c. Modellberäkningar av kopparhalten i nattståndet vatten (fyllda symboler) och järnhalten vid jämn spolning (ofyllda symboler) som funktion av pH och NOM-halt (COD_{Mn} i mg/l O_2) för ett hårt vatten.

Beräkningarna för järn är baserade på det fall när det finns relativt god tillgång på syre i vattnet. När syrehalten på grund av korrosion eller mikrobiologisk aktivitet sjunkit i vattnet blir

situationen en annan, figur 20. Generellt sett blir korrosionshastigheten för järn högre när syrehalten är lägre till följd av att andra ytkomplex bildas på ytan i dessa fall. Förändringarna kan vara dramatiska, som i fallen med det hårda vattnet, där korrosionshastigheten förändras från att ha varit den lägsta bland de olika vattnen till att vara bland de högsta. Det är således viktigt för järn att hålla vattnet väl syresatt i distributionsnäten, att ge vattnet så kort uppehållstid som möjligt.



Figur 20. Modellberäkningar av järnhalten vid jämn spolning, som funktion av potentialen (syrehalten) för de olika vattnen i tabell 7.

Kopparrören förekommer företrädesvis inne i fastigheter. Där är uppehållstiden tidvis lång och detta får till följd att syrehalten sjunker. Omlagringsprocesser mellan olika korrosionsprodukter, stabila vid olika syrehalt, pågår således ständigt. Modellen för kopparhalten i nattståndet vatten bygger på att dessa omlagringar sker. Vore situationen en annan, med korta uppehållstider, skulle kopparhalterna vara avsevärt lägre.

Med utgångspunkt från dessa resultat kan slutsatsen dras, att med måttliga halter naturligt organiskt material i vattnet och med ett distributionsnät som innehåller både järn- och kopparledning, är en vattenkvalitet liknande den som angivits för "korrosionskontrollerat vatten" att föredra. Dock bör pH höjas några tiondelar.

Rostfritt stål – ett alternativ till koppar för inomhusinstallationer?

Som framgår av tidigare kapitel är hastigheten för allmänkorrosion på den undersökta kvaliteten av rostfritt stål i en egen härad och alltså avsevärt lägre än den på både järn och koppar. Det är således meningslöst att i figurform beskriva dricksvattenkvalitetens betydelse för korrosionen.

Idag är koppar det helt dominerande materialet för inomhusinstallationer. Rördimensioner och kopplingar finns lätt tillgängliga i alla önskvärda storlekar. Koppar är en mjuk metall vilket gör att den är lättbearbetad, montören kan snabbt och enkelt bocka den på plats. Vanligt idag är även de mjuka, plastöverdragna prisolrören, som leveras på rulle, vilka bidrar till att mycket lite "spill" av materialet erhålles, då exakta längder kan kapas på plats. Koppar är också en metall som återvinns.

Rostfritt stål är än så länge ett relativt oprövat material för denna tillämpning i Sverige. Däremot har andra länder, såsom Japan och Tyskland under lång tid installerat rostfritt stål. Även rostfria material återvinns i tillverkningsprocessen.

Idag finns det bara ett tillgängligt system i Sverige vad gäller svetsfri hopfogning av rostfria rör – Mapress-systemet. Skarvning sker genom muffar med o-ringar av gummi som kläms ihop plastiskt med specialverktyg. Detta innebär att systemet blir statiskt och när en skarv är gjord, kan den inte tas isär. Å andra sidan räknas systemet som skarvlöst och kan därför byggas in. Skarvning sker utan lödning, varför heta arbeten undviks.

Det rostfria stålet är styvt i jämförelse med koppar, vilket gör att kapning och bockning tar mer tid i anspråk. Färdiga böjar och andra detaljer finns tillgängliga, men det innebär också att ett stort antal delar måste bäras med vid installationen. Idag är den minsta rördimensionen för det rostfria stålet 15 mm, medan de vanligaste dimensionerna på kopparledning är 12 eller 10 mm. Detta innebär att den rostfria installationen kräver mer utrymme.

Vad kostar det då?

En uppskattning av skillnad i ekonomi och utförande för installation av rostfria rör jämfört med kopparrör för ett småhus och ett flerfamiljshus har gjorts. Lägenheten och villan har valts

utifrån Statistiska Centralbyråns uppgifter rörande invånarantal, lägenhets- och villastorlekar.

En typlägenhet beräknades vara 66 m², innehållande en vattenklosett, ett tvättställ, en diskbänk, en dusch och en tvättmaskin. Lägenheten ligger i ett flerfamiljshus med 27 lägenheter fördelade på 5 plan och med gemensamma utrymmen, såsom tvättstuga och förråd.

Typvillan har en storlek på 123 m² och innehåller 2 vattenklosetter, två tvättställ, en diskbänk, en dusch och / eller ett badkar, en tvättmaskin, en blandare eller tvättbänk samt någon form av vattenutkastare för trädgård.

I kostnadsberäkningen har enbart det material och arbete som bedömts skilja sig åt mellan de båda alternativen rostfritt och koppar tagits med. Detta innebär att armatur, värmeanläggningar, avlopp mm inte är medräknade, då de är lika i de båda fallen. Materialkostnader som använts är listpriser tillhandahållna av grossister och tillverkare. De rostfria rören levereras i längder om 6 m varför ett materialspill på 10 % medtagits i beräkningen. Samma spill har antagits för de förkromade kopparrören som används i våtrumsdelarna. Arbetstiden är beräknad utifrån de grundtider som anges i "VVS-grundtid". En korrektion har gjorts vad gäller rostfritt, där arbetstiden har utökats med 5 % på grund av montörernas ovana vid materialet.

Totalkostnaden för material och montage utfört av fackmän, av ett vattenburet uppvärmningssystem och va-installationer i typvillan skiljer sig med cirka 1 % till kopparens fördel jämfört med det rostfria materialet. För flerfamiljshuset, där lägenheter och varmvatten värms upp med värmepump och fjärrvärme, blir merkostnaden för det rostfria materialet cirka 3 %. I beräkningarna har material som inte skiljer sig åt för installation av de båda rörmaterialen utelämnats. Alltså medför det rostfria alternativet en närmast försumbart högre installationskostnad.

Blir det någon miljövinst?

Flera undersökningar har visat, att så mycket som 70 % av den koppar som återfinns i avloppsvattnet härstammar från distributionsnätet för dricksvatten. Om Göteborg och Rya-verken används som modell innebär detta att närmare 7 ton koppar per år i inkommande avloppsvatten härrör från distributionsnätet för dricksvatten.

Vid riggförsöken med rostfria rör, SS 2347, i kommuner med olika dricksvattenkvalitet som gjordes inom ramen för detta projekt, visade det sig, att en viss utlösning av nickel kunde observeras i två av kommunerna. Medianhalten av nickel uppgick som mest till 0,4 µg/l efter 23 timmars stagnation i rören med en inre diameter av 13 mm. Högt räknat kan alltså 0,5 µg/l användas som riktvärde för korrosionen med avseende på nickel. Om korrosionen antas pågå med konstant hastighet motsvarar detta en nickelutlösning av 0,07 µg per dygn och meter rör.

Normalvillan enligt tidigare har ca 90 m vattenledning. Familjen i villan kan antas bestå av fyra personer, varför den fiktiva ledningssträckningen per person blir 22,5 m. Om normal-lägenheten, med ledningssträckningen ca 40 m befolkas av två personer, blir ledningssträckningen per person 20 m.

Under antagandet att nickelhalten tillväxer linjärt med tiden, kan en årlig nickelmängd som tillförs Rya-verket beräknas:

$0,07 \mu\text{g/d, m} * 22,5 \text{ m} * 365 \text{ d/år} * 584\ 000 \text{ anslutna personer} =$
0,3 kg Ni/år

Rya-verket skulle således få ett tillskott på drygt 0,01 % av nuvarande nickelmängd (2130 kg/år).

Inte ens under det extrema antagandet att allt vatten momentant får nickelhalten 0,5 µg/l blir tillskottet dramatiskt:

$0,5 \mu\text{g/l} * 190 \text{ l/p, d} * 365 \text{ d/år} * 584\ 000 \text{ anslutna personer} =$
20 kg Ni/år

I detta fall skulle tillskottet vara i storleksordningen 1 %.

I resultaten är inte hänsyn tagen till personlig användning av vatten på arbetsplatser. Om detta antas ge ett lika stort tillskott, vilket är högt räknat, blir således ändå inte tillskottet av nickel mer än i storleksordningen 0,03 % eller 2 % av nuvarande nickelmängd beroende på beräkningsmodell.

Med utgångspunkt från ovanstående diskussion kan rostfritt stål vara ett samhällsekonomiskt intressant alternativ till koppar för inomhusinstallationer.

6. ATT KOMMA IHÅG

- För att kunna kontrollera korrosionen i distributionsnätet bör man vinlägga sig om att producera en jämn vattenkvalitet från vattenverket, att aldrig utsätta samma distributionsnät för olika vattenkvaliteter vid olika tillfällen, att undvika långa uppehållstider, att använda rörmaterial som är väl utprovade och att minimera antalet olika material.
- Järnhalten i vattnet liksom även järnkorrosionen bestäms av ytkomplexbildning. Låga pH-värden ger låg järnkorrosion. En högre alkalinitet ger mindre järnkorrosion än en lägre. NOM ökar järnkorrosionen vid lägre pH-värden, men reducerar den vid höga. När syrehalten är låg, till exempel vid långa uppehållstider, blir järnhalten i vattnet hög.
- Kopparhalten efter några timmars stillestånd i kopparledning bestäms av en jämvikt med den metastabila fasen fast koppar(II)hydroxid. Lågt pH, högt alkalinitet och hög NOM-halt ger högre kopparhalter. Korrosionshastigheten på koppar är initialt en funktion av förhållandet mellan koldioxid och klorid. Därefter tillväxer kopparhalten som en funktion av logaritmen av koldioxidhalten och NOM-halten.
- Det rostfria stålet SS 2347 har avsevärt lägre korrosionshastighet än både järn och koppar i svenska dricksvatten. Bildningshastigheten av det passiverande skiktet är snabbare än upplösningen till följd av inverkan av ytkomplex, varför korrosionshastigheten fortsätter att sjunka under lång tid.
- Järn, koppar och rostfritt stål kan alla utsättas för lokala korrosionsangrepp. För att undvika lokala korrosionsangrepp bör man tänka på att välja förstklassiga rörkvaliteter, att undvika kopplingar mellan olika ädla metalliska material, att undvika alltför höga sulfat- och kloridhalter, åtminstone i relation till alkaliniteten, att undvika höga halter NOM, alltför låga pH-värden (< 7), varierande vattenkvalitet

och dålig vattenomsättning. Läckströmmar och magnetfält bör också undvikas.

- För att åstadkomma ett bra kompromissvatten mellan järn och koppar vid måttliga NOM-halter, bör en viss alkalinitet ($> 40 \text{ mg/l HCO}_3^-$) väljas i kombination med ett $\text{pH} > 8,2$. Om NOM-halten är lägre än 1 mg/l O_2 räknat som COD(Mn) kan ett högt pH och en förhöjd kalciumhalt väljas.
- Rostfritt stål kan vara ett samhällsekonomiskt intressant alternativ till koppar i inomhusinstallationer, med försumbart högre installationskostnader och betydligt mindre påverkan på avloppsslammet.

A1. GRUNDLÄGGANDE KORROSION

Begreppet korrosion kommer av grekiskans *corrodere* som betyder gnaga eller fräta bort och kan definieras som en vanligen oönskad kemisk reaktion mellan ett material och dess omgivning. Denna relativt vida definition innefattar således nedbrytning av olika material såsom plast, gummi, papper, glas, sten, betong och metall i skiftande miljöer, till exempel luft, rökgas, vatten, olja och jord. Rent mekaniskt slitage har dock uteslutits. Om miljön begränsas till vattenlösning och materialet är metalliskt är processen vanligen elektrokemisk korrosion.

Förutsättningar för elektrokemisk korrosion

Två metaller av olika ädelhet i kontakt med varandra i en vattenlösning brukar innebära att korrosion uppträder på det mindre ädla materialet. Detta kallas en **galvanisk cell**. En järn- och en kopparbit på varandra i en skål med dricksvatten med kopparjoner i ger efter en stund järnjoner i vattnet. För att elektrokemisk korrosion ska kunna uppträda måste dock ett antal förutsättningar vara uppfyllda. Det måste finnas

- en **anodreaktion** eller **oxidationsreaktion**. Detta är oftast en metall som bildar metalljoner under avgivande av elektroner. Järnet i exemplet ovan som oxideras till järnjoner är en anodreaktion.
- en **katodreaktion** eller **reduktionsreaktion**. Till varje anodreaktion måste finnas en katodreaktion där elektronerna upptas. Reduktionen av kopparjoner till kopparmetall under upptagande av elektroner är en katodreaktion.
- **elektrisk kontakt**. Elektronerna kan inte vandra genom luft eller vatten. Därför ligger metallbitarna i exemplet på varandra.
- **elektrolytisk kontakt** eller **jonledning**. Laddningar måste också kunna transporteras i vattnet för att sluta den elekt-

Galvanisk korrosion

kan uppträda när två material av olika ädelhet är elektriskt förenade i en elektrolyt.

Anod- och katodreaktion

är de oxidations- och reduktionsreaktioner som tillsammans utgör en elektrokemisk cell, till exempel en korrosionscell eller ett batteri.

Elektrolyt

kallas lösningen där en elektrokemisk reaktion försiggår.

riska kretsen. Därför är skålen fylld med vatten med joner i.

- en **kemisk drivande kraft**. På kemiskt språk brukar detta kallas att det inte är **termodynamisk jämvikt**. Så småningom kan en kemisk reaktion nå jämvikt och detta innebär att fram- och tillbakareaktionen går med samma hastighet. Då blir nettohastigheten noll och totalreaktionen upphör. I korrosionssammanhang är jämvikt ovanlig.
- **fysisk möjlighet** för reaktionen att ske. Om så inte är fallet talar man om **kinetiska hinder** eller **hastighetshinder**. Det kan vara korrosionsprodukter som faller ut på ytan och hindrar transporten av joner. Det kan också vara så att reaktionen behöver aktiveras för att ske. Detta senare fallet kan liknas vid en situation där man för att komma ner för backen på andra sidan först måste bestiga en bergstopp som är i vägen. Om toppen är alltför brant är det skönast att stanna där man är.

Kinetik

är läran om kroppars och partiklars rörelse.

Om bara en av dessa förutsättningar inte är uppfylld kan korrosionen inte ske. All korrosionsbekämpning går således ut på att eliminera en eller flera av ovanstående förutsättningar.

Syrgasreduktion

Syrgasreduktion

När en metallatom går i lösning måste den först oxideras, d.v.s. avge elektroner och därmed bli jon. Elektronerna som bildas ska på något vis förbrukas och det sker ofta genom att syrgas reduceras och tar upp elektroner. Av syrgasen och vatten bildas då hydroxidjoner (OH^-)

Om, som i det tidigare exemplet, en järn- och en kopparbit ligger på varandra i en skål med dricksvatten, men inga kopparjoner tillsätts vattnet kommer ändå järn att gå i lösning. Om däremot ett tätt lock läggs över skålen kommer reaktionen så småningom att avstanna. Detta händer därför att syret i vattnet tar slut. Den vanligaste katodreaktionen i korrosionssammanhang är nämligen reduktion av syre. Syret tar upp elektroner och bildar tillsammans med vatten hydroxidjoner. Korrosionshastigheten är i många sammanhang beroende av syrehalten, så att en hög syrehalt ger högre hastighet än en låg.

Dessvärre är det så, att även kopparbiten kan tas ur skålen; korrosionen fortsätter ändå. På vissa ställen på järnbiten kommer då syrgasreduktion att försiggå medan järn kommer att oxideras på andra ställen. Detta innebär att järnbiten får både anod- och katodställen.

Passivskikt och koncentrationsceller

Järnoxider och -hydroxider kommer att bildas på järnytan i skålen eftersom dessa är svårösliga. Detta gör att korrosionen går långsammare. Det är då inte tillgången på syre i vattnet som är begränsande för korrosionshastigheten, utan transporten genom oxidskiktet. Detta skikt som sänker korrosionshastigheten kallas ibland **passivskikt** och kan vara olika bra och skyddande. Aluminium är en mycket oädel metall, men tack vare sitt passivskikt av aluminiumoxid kan ändå aluminium användas som konstruktionsmaterial i många sammanhang. Om en droppe vatten läggs på en järnbit är förutsättningarna uppfyllda för elektrokemisk korrosion och järn börjar oxideras. Tillgången på syre är som störst i droppens ytterkant och avtar sedan till följd av korrosionen in mot droppens mitt. Syrgasreduktionen kommer att fortsätta på järnytan där syrehalten är som störst, det vill säga, från ytterkant och en bit in i droppen. I mitten är syrehalten låg och där kommer istället järnet att gå i lösning. Någonstans mellan anod- och katodställena möts järnjoner från anodprocessen och hydroxidjoner från syrgasreduktionen och där kommer **rost** att bildas. Anod och katodställena kommer därmed att bli separerade och inga korrosionsprodukter faller ut och skyddar anodstället, varför korrosionen kan fortgå obehindrat. Detta kallas för en **koncentrationscell**. Sådana kan också bildas till exempel under trasiga lackskikt, där anodprocessen sker in under lacken och syrgasreduktionen närmare skadan i lacken. Koncentrationsceller ger ofta **gropfrätning**, en form av korrosion som är allvarlig eftersom den kan orsaka hål i konstruktionsmaterialet. En annan typ av **lokalt korrosionsangrepp** är **punktkorrosion** som ofta uppträder i samband med att metallens passivskikt (vanligen av metalloxid) är instabilt eller har blivit skadat. Punktkorrosion ger ofta mycket små hål och tiden till genombrott på materialet kan vara kort.

Korrosionsskydd

Att skydda sig mot elektrokemisk korrosion innebär att eliminera dess förutsättningar. Detta kan ske på olika sätt:

- **Målning** skyddar det oädla materialet från omgivningen (vattnet). Om vidhäftningen är bra och färgen stabil kan målning ge ett gott skydd. Målningen är dock känslig för skador eftersom koncentrationsceller lätt kan uppstå.
- **Katodiskt skydd** innebär att metallen görs "ädlare" genom applicering av offeranoder av ett oädlare material (ofta för-

Passivskikt

är ett ytskikt av till exempel en metalloxid som hämmar transporten av joner till och från ytan och på så sätt sänker korrosionshastigheten.

Rost

är en vattenhaltig järn(III)oxohydroxid som finns i flera former. Den vanligaste heter götit.

Koncentrationscell

uppstår när tillgången på något som ska reagera, t. ex. syre, avgör vad som blir anod- och katodyta.

Gropfrätning

uppträder ofta som ett resultat av koncentrationsceller eller om katodytan är stor i förhållande till anodytan och kan orsaka hål i konstruktionsmaterialet. Ett specialfall av gropfrätning är punktkorrosion.

Punktkorrosion

är en korrosionstyp som på kort tid kan orsaka perforering av konstruktionsmaterialet med mycket små hål. Orsaken till punktkorrosion är dåligt känd, men defekter i passivskiktet spelar stor roll. Kan ge omfattande läckageskador men inte nödvändigtvis höga halter av korrosionsprodukter.

Katodiskt skydd

får en konstruktion om den sätts i kontakt med en mindre ädel metall än konstruktionsmaterialet. Katodiskt skydd kan också åstadkommas med en yttre pålagd ström.

zinkning, så kallad galvanisering). En yttre pålagd ström kan också ge samma verkan.

- **Täckning med ädlare metall**, till exempel förkromning, är en metod som ofta används av kosmetiska skäl. Detta är en ur korrosionssynpunkt dålig metod, eftersom ett hål i den täckande metallen ger förutsättningar för allvarliga korrosionsangrepp. Två olika material med olika ädelhet i elektrisk kontakt med varandra (galvanisk cell) där katodytan är mycket större än anodytan ger mycket höga korrosionsströmmar. Det lilla anodstället förvandlas därför snabbt till ett hål om övriga förutsättningar för korrosion är uppfyllda.
- Förändring av **elektrolytens (vattnets) sammansättning** kan påtagligt minska korrosionshastigheten genom att till exempel ge korrosionsprodukterna en sammansättning och en utfällningshastighet som ger bra passivskikt. Kemikalier kan också tillsättas som direkt fäster på ytan och passiverar denna, så kallade **inhibitorer**.
- **Konstruktion mot korrosion** kan innebära att man väljer material som passar förutsättningarna, och att man undviker galvaniska celler och konstruktioner där koncentrationsceller lätt uppstår (hål och fickor med stillastående vatten). För vattendistribution kan det också röra sig om att inte alltför höga strömningshastigheter uppnås. Därmed kan **erosionskorrosion** undvikas.
- **Inspektion och underhåll** är viktiga åtgärder för att kostsamma reparationer skall undvikas.

Erosionskorrosion

orsakas av att det strömmande vattnet med eventuella partiklar "slipar" bort skyddsskikt på insidan av rörväggen i böjar och förträngningar och frilägger ytan för fortsatt korrosion. Uppträder om rördimensionen orsakar för höga strömningshastigheter.

Att från början konstruera rätt är självfallet den viktigaste förutsättningen för att undvika framtida korrosionsproblem och kostnader.

A2. HUR GJORDES FÖRSÖKEN?

Järn och koppar

Fältmätningar

Fältmätningar gjordes i ett 15-tal kommuner för att hitta samband mellan vattenkvalitet och järn- och kopparhalter. De olika kommunernas dricksvattenkvalitet är mycket varierande, allt från högalkalina vatten till extremt lågalkalina, och ett antal med korrosionskontrollerat vatten. Prover togs fyra gånger om året vid olika årstider.

För järnbestämning togs prover från 6 brandposter i varje kommun. Brandposterna var kopplade till järnledningar och var valda så att två satt på huvudledningar, två i ändledningar och två där emellan. Prover togs vid tider för låg konsumtion efter 10 minuters spolning med ett flöde på 20 l/min.

Kopparprover togs på 6 ställen i varje kommun i slumpvis utvalda offentliga och privata fastigheter. Vid varje provtillfälle togs 2 prover, ett med nattståndet vatten och ett efter 10 minuters spolning med ett flöde av 20 l/min.

Kupongmätningar

Kuponger av järn och koppar exponerades för stillastående vatten av olika kvalitet. Järn- och kopparhalterna bestämdes dagligen under ett antal veckor. Efter denna period registrerades också viktnedgången hos kupongerna och mängden korrosionsprodukter.

Vattenkvaliteterna som används var dels syntetiskt dricksvatten med varierande pH och total karbonat- och kalciumhalt, parametrar som är lätta att påverka vid vattenverken, dels användes naturliga vatten. Syftet var att studera såväl de oorganiska dricksvattenparametrarnas som NOM:s inverkan på korrosionen och korrosionsprodukterna. För att få vatten med olika innehåll av NOM, blandades vatten från ett råvatten med relativt hög halt av NOM. De oorganiska dricksvattenparamet-

rarna justerades därefter genom tillsats av karbonat, kalcium, klorid och sulfat. I huvudsak har NOM från en ytvattentäkt använts, men i några försök har även NOM från ett grundvatten använts.

Elektrokemiska mätningar

Parallellt med kupongmätningar och fältmätningar gjordes grundläggande elektrokemiska mätningar. Syftet med dessa mätningar var att mer ingående studera hur korrosionsprocesser sker på järn och koppar som funktion av dricksvattenkvaliteten. Vattenkvaliteterna som studerades var de samma som i kupongmätningarna. Korrosionsprocesserna studerades med hjälp av potentiodynamiska svep. Elektroder gjordes av rent järn och koppar. Då det är de initiala korrosionsprocesserna som studeras med denna teknik är det viktigt att ha en väl definierad yta, som är lika vid varje mättillfälle. Före varje mätning slipades därför elektrodytan med finkornigt slippapper och tvättas i ultraljudsbad. Från dessa mätningar erhöles bland annat korrosionspotential och korrosionsström, som i sin tur kan räknas om till korrosionshastighet.

Pilotskaleförsök

Rör av koppar, monterade i riggar, exponerades för syntetiskt dricksvatten enligt ett schema som simulerade normal användning med stillestånd och tappning. Kopparhalter i vattnet bestämdes liksom pH och alkalinitet. Försöken utfördes i tre kommuner.

Rostritt stål, 2347

En kvalitet av rostfritt stål undersöktes, SS 2347, vilken är den kvalitet som enligt branschen bäst lämpar sig för inomhusinstallationer. Materialet är ett så kallat syrafast stål med sammansättning enligt följande: krom 16,9%, nickel 11,0% och molybden 2,1%.

Elektrokemiska undersökningar

Potentiodynamiska svep användes även vid undersökning av dricksvattenkvalitetens betydelse för korrosionsprocesserna på rostfritt stål. Före varje mätning polerades ytan, vilket innebär att hela ytan gjordes tillgänglig för korrosionsprocessen. Allmän korrosionen kan dock antas vara mycket låg på rostfritt stål på grund av de passiverande oxidskikt av järn och krom som bildas på ytan, egenskaper som karakteriserar ett rostfritt stål.

Detta innebär att de strömmar som uppmäts är mycket högre än vad som förväntas i praktiken, eftersom ytan hos ett rostfritt rör alltid är i sitt passiva (oxiderade) tillstånd när det tas i bruk. Man kan dock anta att processerna är de samma, men att den för korrosion tillgängliga ytan är mycket mindre då ytan är oxiderad. Från de potentiodynamiska svepen kan, förutom korrosionsströmmar och korrosionspotential, genombrottspotentialen bestämmas. Detta är ett vanligt sätt att karakterisera möjligheten till punktkorrosion. Denna potential definieras som den potential vid vilken genombrott i det skyddande oxidskiktet kan detekteras i form av drastiskt ökande strömmar. Denna potential ligger oftast mycket högre än den uppmätta potentialen i systemet och att den skulle vara ett mått på stabiliteten hos oxidskiktet vid vilopotentialen kan således ifrågasättas. Som komplement till de potentiodynamiska mätningarna gjordes även kronoamperometriska försök. I dessa mätningar mäts strömmen som funktion av tiden vid en bestämd potential. Potentialen i dessa mätningar valdes till ett värde några tiotal millivolt anodiskt om vilopotentialen för systemet. Strömmarna mättes under 1-17 timmar.

Såväl syntetiskt dricksvatten, som naturliga vatten användes i försöken.

Pilotskalestudier

Rör av rostfritt stål monterades i riggar och exponerades för dricksvatten i fyra kommuner med olika dricksvattenkvalitet. I varje kommun monterades tre rör parallellt för att öka mät-säkerheten. Rören var anslutna till utgående vatten från vattenverket och spolades efter ett schema simulerande normal användning med stillestånd och spolning. Halter av de i stålet ingående metallerna (järn, krom, nickel, molybden) bestämdes i till riggarna inkommande vatten och i vattnet efter stillestånd i rören en gång i veckan under första månaden efter montering, därefter var fjortonde dag under en tvåmånadsperiod och slutligen en gång i månaden tills försöken avbröts. Riggarna var i drift i 9-12 månader. I samband med bestämning av metallinnehållet i vattnet bestämdes även pH, alkalinitet, kalcium-, klorid- och sulfathalt.

Efter cirka halva försöksperioden togs ett av rören ner och insidan av rören analyserades med hjälp av svepelektronmikroskopi. Anslutet till mikroskopet fanns röntgenutrustning, vilket möjliggör identifiering av förekommande grundämnen på ytan. Med denna analys erhöles därför såväl en topografisk bild av ytan, som en ytanalys. Denna analys utfördes också på rören efter avslutad försöksperiod.

A3. KORROSIONSPARAMETRARNA

OLIKA LÄNDERS REKOMMENDATIONER FÖR VATTENKVALITET

I nedanstående tabell har olika länders rekommendationer för "korrosionsparametrarna" vad gäller dricksvattenkvalitet sammanställts. På vissa håll saknas rekommendationer och då har istället gränsvärdena använts. Det är slående vilka variationer i rekommendationer respektive parameter uppvisar och man har anledning att konstatera att korrosionshänsyn inte alltid varit vägledande för normsättningen utan snarare landets dominerande vattenkvalitet.

Nedanstående sammanställning är kortfattad i så motto att olika länders specialparagrafer vad gäller specifika material utelämnats.

	pH	Alkalinitet mg/l HCO_3^-	Kalcium mg/l	Klorid mg/l	Sulfat mg/l	COD _{Mn} mg/l O ₂
Sverige	7,5-9	≥60	20-60	<100	<100	≤2
Norge	7,5-8,5	36-60	15-25	≤25	≤25	≤2
Danmark	7-8	≥100	20-200	≤50	≤50	≤1,5
Finland	7,5-8,8	≥36	≤100	≤25	≤50	≤2
Holland	7,8-8,3	≥120	≤150	≤150	≤100	-
Tyskland	6,5-9,5	-	≤400	≤250	≤250	≤5
England	5,5-9,5	≥30	≥60	≤400	≤250	-
U. S. A.	6,5-8,5	-	-	≤250	≤250	-
EU	6,5-9,5	-	-	-	≤250	≤5

A4. BERÄKNINGSMATRISER

När man önskar göra jämviktsberäkningar på komplexa system är det praktiskt att ta datorn till hjälp. Grundläggande är då att systematisera reaktionerna och ge dem en form som lätt kan överföras till datorn. Tillvägagångssättet är att välja ut det minsta antal komponenter med vilka man kan beskriva hela systemet. Med hjälp av dessa komponenter bildar man sedan alla förekommande produkter, fasta såväl som lösliga, och beskriver i matrisform hur dessa bildas samt tilldelar dem en jämviktskonstant.

Om ytkomplex finns närvarande kan dessa inkorporeras i matrisen på samma sätt som övriga komplex, men med skillnaden att ytan utgör en av komponenterna. I de aktuella beräkningarna har konstant kapacitansmodellen utnyttjats där ytan karakteriseras av en koncentration, en specifik ytarea och en specifik kapacitans.

På de följande sidorna återges de matriser som använts för jämviktsberäkningarna på järn- respektive kopparsystemen. I järnmatrisen har en tvåprotonig modellsyra, H_2U , använts som beskrivning för det naturliga organiska materialet. Komponenterna är H^+ , Ca^{2+} , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} , U^{2-} , Fe^{2+} , $>FeOH$, e^- , där $>$ symboliserar ytan.

I kopparmatrisen har en modell använts för inverkan av det naturliga organiska materialet där 5 aktiva ställen beskrivs med en koncentration, relaterad till koncentrationen av det naturliga organiska materialet, och en komplexkonstant. Komponenterna är H^+ , CO_3^{2-} , Cu , Ca^{2+} , Cl^- , e^- , L1, L2, L3, L4, L5, där L1-L5 symboliserar de aktiva ställena på det naturliga organiska materialet.

	logK	H ⁺	Ca ²⁺	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	U ²⁻	Fe ²⁺	>FeOH	e ⁻	Ytladdning
H ⁺	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ca ²⁺	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
CO ₃ ²⁻	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Cl ⁻	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
SO ₄ ²⁻	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
U ²⁻	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Fe ²⁺	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
>FeOH	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
e ⁻	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
HCO ₃ ⁻	10,33	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
H ₂ CO ₃	16,68	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0
HU ⁻	9	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
H ₂ U	14	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0
CaU	7	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
CaOH ⁺	-12,85	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
CaCO ₃	3,2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
CaHCO ₃ ⁺	11,59	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
CaSO ₄	2,31	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
FeU	10	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
FeOH ⁺	-9,5	-1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Fe(OH) ₂	-20,6	-2	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Fe(OH) ₃ ⁻	-31	-3	0	0	0	0	0	1	0	0	0
FeSO ₄	2,2	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
Fe ³⁺	-13	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	0
FeU ⁺	15	0	0	0	0	0	1	1	0	-1	0
FeOH ²⁺	-15,2	-1	0	0	0	0	0	1	0	-1	0
Fe(OH) ₂ ⁺	-18,7	-2	0	0	0	0	0	1	0	-1	0
Fe(OH) ₄ ⁻	-34,6	-4	0	0	0	0	0	1	0	-1	0
Fe ₂ (OH) ₂ ⁴⁺	-29	-2	0	0	0	0	0	2	0	-2	0
FeSO ₄ ⁺	-9	0	0	0	0	1	0	1	0	-1	0
Fe(SO ₄) ₂ ⁻	-7,6	0	0	0	0	2	0	1	0	-1	0
FeCl ₂ ²⁺	-11,5	0	0	0	1	0	0	1	0	-1	0
FeCl ₂ ⁺	-10,9	0	0	0	2	0	0	1	0	-1	0
>FeOH ₂ ⁺	7,47	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1
>FeO ⁻	-9,51	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	-1
>FeOCa ⁺	-5,85	-1	1	0	0	0	0	0	1	0	1
>FeOFe ⁺	1,23	-1	0	0	0	0	0	1	1	0	1
>FeOFe ²⁺	-4,85	-1	0	0	0	0	0	1	1	-1	2
>FeCO ₃ H	20,78	2	0	1	0	0	0	0	1	0	0
>FeCO ₃ ⁻	12,71	1	0	1	0	0	0	0	1	0	-1
>FeCO ₃ Ca ⁺	15,69	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1
>FeCO ₃ Fe ⁺	16,89	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1
>FeUH	25,7	2	0	0	0	0	1	0	1	0	0
>FeU ⁻	17,7	1	0	0	0	0	1	0	1	0	-1
Ca(OH) ₂ (s)	-22,81	-2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
CaCO ₃ (s)	8,35	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
CaSO ₄ (s)	4,62	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
Fe(OH) ₂ (s)	-12,9	-2	0	0	0	0	0	1	0	0	0
FeCO ₃ (s)	10,7	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
Fe ₃ O ₄ (s)	-30,5	-8	0	0	0	0	0	3	0	-2	0
Fe(OH) ₃ (s)	-12,3	-3	0	0	0	0	0	1	0	-1	0

	logK	H ⁺	CO ₃ ²⁻	Cu	Ca ²⁺	Cl ⁻	e ⁻	L1	L2	L3	L4	L5
H ⁺	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO ₃ ²⁻	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cu	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Ca ²⁺	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Cl ⁻	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
e ⁻	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
L1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
L2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
L3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
L4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
L5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
HCO ₃ ⁻	10.33	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H ₂ CO ₃	16.68	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CuOH ⁺	-19.19	-1	0	1	0	0	-2	0	0	0	0	0
Cu(OH) ₂	-27.69	-2	0	1	0	0	-2	0	0	0	0	0
Cu(OH) ₃ ⁻	-38.29	-3	0	1	0	0	-2	0	0	0	0	0
Cu(OH) ₄ ²⁻	-51.09	-4	0	1	0	0	-2	0	0	0	0	0
Cu ₂ (OH) ₂ ²⁺	-33.28	-2	0	2	0	0	-4	0	0	0	0	0
CuCO ₃	-4.79	0	1	1	0	0	-2	0	0	0	0	0
Cu(CO ₃) ₂ ²⁻	-1.29	0	2	1	0	0	-2	0	0	0	0	0
CuCl ⁺	-10.99	0	0	1	0	1	-2	0	0	0	0	0
CaOH ⁺	-12.85	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
CaCO ₃	3.2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
CaHCO ₃ ⁺	11.59	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Cu ⁺	-8.79	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0
Cu ²⁺	-11.49	0	0	1	0	0	-2	0	0	0	0	0
CuCl	-5.43	0	0	1	0	1	-1	0	0	0	0	0
CuCl ₂ ⁻	-3.59	0	0	1	0	2	-1	0	0	0	0	0
CuCl ₃ ²⁻	-2.94	0	0	1	0	3	-1	0	0	0	0	0
CuCl ₄ ³⁻	-3.59	0	0	1	0	4	-1	0	0	0	0	0
CuL ₁	-7.57	0	0	1	0	0	-2	1	0	0	0	0
CuL ₂	-9.97	-1	0	1	0	0	-2	0	1	0	0	0
CuL ₃	-11.83	-1	0	1	0	0	-2	0	0	1	0	0
CuL ₄	-18.95	-2	0	1	0	0	-2	0	0	0	1	0
CuL ₅	-21.62	-2	0	1	0	0	-2	0	0	0	0	1
CuO(s)	-19.14	-2	0	1	0	0	-2	0	0	0	0	0
CuCO ₃ (s)	-1.89	0	1	1	0	0	-2	0	0	0	0	0
Cu ₂ (OH) ₂ CO ₃ (s)	-17.18	-2	1	2	0	0	-4	0	0	0	0	0
Cu ₃ (OH) ₂ (CO ₃) ₂ (s)	-16.47	-2	2	3	0	0	-6	0	0	0	0	0
Ca(OH) ₂ (s)	-22.81	-2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
CaCO ₃ (s)	8.35	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Cu ₂ O(s)	-21.83	-2	0	2	0	0	-2	0	0	0	0	0

A5. ORDLISTA

(II) betecknar jonens laddning, i detta fall + 2.

> (**tecknet för ytkomplex**) indikerar bindningen till ytan.

Alkalinitet är ett mått på vattnets förmåga att motstå försurning. Begreppet är släkt med buffertförmågan. Vanligen är alkaliniteten ungefär lika med totalhalten karbonat i vattnet.

Allmän korrosion innebär att korrosionsprocessen sker jämnt fördelad över hela ytan. Ger sällan upphov till läckage, men kan orsaka höga halter av korrosionsprodukter i vattnet.

Anod- och katodreaktion är de oxidations- och reduktionsreaktioner som tillsammans utgör en elektrokemisk cell, till exempel en korrosionscell eller ett batteri.

aq är en förkortning för aqua som betyder vatten, d.v.s. vattenlösning.

Aromatiska ämnen är föreningar innehållande omättade kolväteringar.

Buffertförmåga är ett mått på systemets känslighet för tillsatser av baser och syror. Hög buffertförmåga innebär att vattnets pH förändras lite vid en sådan tillsats.

Detektionsgräns är den lägsta koncentration av ett ämne som med given sannolikhet kan bestämmas med en specificerad metod.

Elektrolyt kallas lösningen där en elektrokemisk reaktion försiggår.

Erosionskorrosion orsakas av att det strömmande vattnet med eventuella partiklar "slipar" bort skyddsskikt på insidan av rörväggen i böjar och förträngningar och frilägger ytan för fortsatt korrosion. Uppträder om rördimensionen orsakar för höga strömningshastigheter.

Funktionella grupper är delar av kemiska föreningar med speciella egenskaper.

Galvanisk korrosion kan uppträda när två material av olika ädelhet är elektriskt förenade i en elektrolyt.

Gropfrätning uppträder ofta som ett resultat av koncentrationsceller eller om katodytan är stor i förhållande till anodytan och kan orsaka hål i konstruktionsmaterialet. Ett specialfall av gropfrätning är punktkorrosion.

Hypoklorit är en av flera desinfektionskemikalier använda i dricksvattensammanhang för att begränsa den mikrobiologiska aktiviteten.

Hårdhet är i dricksvattnet vanligen lika med summan av halterna kalcium (Ca^{2+}) och magnesium (Mg^{2+}). Hårdhet mäts i mg/l Ca^{2+} eller i tyska hårdhetsgrader ($^{\circ}\text{dH}$) som är ungefär mg/l $\text{Ca}^{2+}/7,1$.

Inhibitorer är tillsatskemikalier (oorganiska eller organiska) som har till uppgift att förhindra korrosion genom att skydda ytan. Exempel: silikat- och fosfatjoner.

Katodiskt skydd får en konstruktion om den sätts i kontakt med en mindre ädel metall än konstruktionsmaterialet. Katodiskt skydd kan också åstadkommas med en yttre pålagd ström.

Kinetik är läran om kroppars och partiklars rörelse.

Koncentrationscell uppstår när tillgången på något som ska reagera, t. ex. syre, avgör vad som blir anod- och katodyta.

Korrosion är en vanligen oönskad reaktion mellan ett material och dess omgivning. Upplösning av metaller sker genom elektrokemisk korrosion.

Korrosionskontroll är en samlad beteckning på åtgärder ämnade att begränsa korrosion eller korrosionens återverkningar.

Kristallisationsprocess är den process som sker när ett fast salt bildas.

Kuprit – koppar(I)oxid

Langeliers index (LSI) Indikerar om vattnet är övermättat med avseende på kalciumkarbonat eller inte.

Malakit – koppar(II)hydroxokarbonat

Mekanism är en beskrivning av reaktionsförloppet.

Meta stabil fas Meta betyder mellan. En fas är meta stabil om den existerar endast under ett övergångsskede.

Naturligt organiskt material förkortas NOM och är ett samlingsbegrepp för en stor mängd organiska molekyler. Mäts som COD_{Mn} (organisk syreförbrukning, mg/l O_2) eller TOC (totalt organiskt kol, mg/l C).

Ozon är en kraftigt oxiderande syreförening med den kemiska beteckningen O_3 .

Passivering innebär en blockering av den elektrokemiska reaktionen, till exempel genom skyddsskiktets bildning.

Passivskikt är ett ytskikt av till exempel en metalloxid som hämmar transporten av joner till och från ytan och på så sätt sänker korrosionshastigheten.

pH-värdet är ett mått på vattnets surhetsgrad eller innehåll av vätejoner, H^+ . Ju lägre pH desto surare vatten. Ett neutralt vatten har $pH = 7$.

Polära grupper är molekyldelar med ojämn laddningsfördelning.

Punktkorrosion är en korrosionstyp som på kort tid kan orsaka perforering av konstruktionsmaterialet med mycket små hål. Orsaken till punktkorrosion är dåligt känd, men defekter i passivskiktet spelar stor roll. Kan ge omfattande läckageskador men inte nödvändigtvis höga halter av korrosionsprodukter.

Redoxpotential är den potential som inrättar sig som ett resultat av systemets oxiderande och reducerande egenskaper. Kan översättas till vattnets innehåll av syre och andra oxiderande kemikalier.

Rost är en vattenhaltig järn(III)oxohydroxid som finns i flera former. Den vanligaste heter götit.

Rostfritt stål är ett samlingsnamn på ett stort antal material där järn legerats med minst 12 % krom och som passiverar till följd av kromoxidbildning.

Syrgasreduktion När en metallatom går i lösning måste den först oxideras, d.v.s. avge elektroner och därmed bli jon. Elektronerna som bildas ska på något vis förbrukas och det sker ofta genom att syrgas reduceras och tar upp elektroner. Av syrgasen och vatten bildas då hydroxidjoner (OH^-).

Tenorit – koppar(II)oxid

Vilopotential är den potential som ett material naturligt antar i en viss omgivning.

Ytkomplex är en förening mellan molekyler på ytan och i lösning. Ytkomplex liksom komplex i lösning är inte fasta föreningar och finns inte kvar i samma form om vattnet torkas bort.

Övermättnad uppstår om halterna i vattnet av respektive ingående joner i ett fast salt överstiger lösligheten av saltet.

A6. REFERENSER

Allmänt om korrosion och elektrokemi:

Mattson, M., *"Basic Corrosion Technology for Scientists and Engineers"*, Ellis Horwood Limited, Chichester, U.K. (1989).

Nagy, Z., *"Modern Aspects of Electrochemistry"*, (ed. J. O'M Bockris et. al.), Plenum Press, New York, vol. 25, s. 135 (1993).

Southampton Electrochemistry Group, *"Instrumental Methods in Electrochemistry"*, (ed. Kemp, T. J.), Southampton, Ellis Horwood Limited (1990).

Vik, E. A. och Hongve, D., *"Innvendig korrosjon av vannledninger"*, NTNF:s utvalg for drikkevannsforskning (1986).

Allmänt om vattenkemi:

Schock, M. R., *"Water Quality and Treatment - A Handbook a Community Water Supplies"*, (ed. F. W. Pontius) 4th Edn., AWWA, McGraw-Hill Inc. (1990).

Stumm, W. och Morgan, J. J., *"Aquatic Chemistry - Chemical Equilibria and Rates in Natural Water"*, 3rd Edn., New York, John Wiley & Sons Inc. (1996).

Naturligt organiskt material:

Cabaniss, S. E. och Shuman, M. S., *Geochim. Cosmochim. Acta*, **52**, s. 185 (1988).

Edzwald, J.K. och Benschoten, J.E., *"Chemical Water and Waste Water Treatment"*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg (1990).

Schnitzer, M. och Kahn, S.U., *"Humic Substances in the Environment"*, Marcel Dekker, New York (1972).

Stumm, W. och Morgan, J. J., *"Aquatic Chemistry - Chemical Equilibria and Rates in Natural Water"*, 3rd Edn., New York, John Wiley & Sons Inc. (1996).

Rostfritt stål:

Arts, W., Bretschneider, H.-J och Landgraf, C., *Z. Wasser-Abwasser-Forsch*, **19**, s. 176 (1986).

"Avesta Sheffield Corrosion Handbook", Avesta, Sverige (1999).

Drogowska, M., Brossard, L. och Ménard, H., *J. Appl. Electrochem.*, **28**, s. 491 (1998).

Drogowska, M., Ménard, H. och, Brossard, L. *J. Appl. Electrochem.*, **27**, s. 169 (1997).

*Elfström Broo, A., Berghult, B. Och Hedberg, T., "The Influence of Drinking Water Quality on the Corrosion of Stainless Steel EN 1.4401 (SS2347), *Proc. Pipe Material Selection in Drinking Water Systems*, Göteborg, Sverige (2000).

Mattson, M., *"Basic Corrosion Technology for Scientists and Engineers"*, Ellis Horwood Limited, Chichester, U.K. (1989).

*Rydne, U. och Zetterberg, B., *"Rostfritt stål som ett alternativt material till koppar i tappvattenledningar för bostäder"*, Examensarbete, Vatten Miljö Transport, Chalmers tekniska högskola, (2000).

Schwenk, W., *GWF Wasser-Abwasser*, **133**, s. 6 (1992).

Strehblow, H.H., *"Corrosion Mechanisms in Theory and Practice"*, Eds. Marcus, P. och Oudar, J., Marcel Dekker, New York (1995).

Järnkorrosion:

* Berghult, B., Hedberg, T och Elfström Broo, A, "Drinking Water Distribution: Corrosion Control in Swedish Municipalities", *J. Water SRT-Aqua*, **48**(2), s. 44 (1999).

* Berghult, B., Elfström Broo, A., Hedberg, T och Lind Johansson, E., "Corrosion of Water Mains with Special Respect to Iron Pipes", *Proc. "12th Scandinavian Corrosion Congress & Eurocorr '92"*, Dipoli, Espoo, Finland, s. 253 (1992).

Committe on Control of Water Quality in Transmission and Distribution Systems, *J.AWWA*, **76**, s. 83 (1984).

* Elfström Broo, A., Berghult, B. och Hedberg, T., "Drinking Water Distribution- the Effect of Natural Organic Matter (NOM) on the Corrosion of Iron and Copper", *Wat. Sci. Tech.*, **40**(9), s. 17 (1999).

* Elfström Broo, A., Berghult, B. och Hedberg, T., "Drinking Water Distribution- Improvemnts of the Surface Complexation Model for Iron Corrosion", *Proc. Pipe Material Selection in Drinking Water Systems*, Göteborg, Sverige (2000).

* Enander, L. och Berghult, B., *VATTEN*, **50**, s. 7 (1994).

Ferguson, J. F., *Internal Corrosion of Water Distribution Systems*, (ed. S. Crnkovich) AWWA Research Foundation, Nashville, Tennessee, USA, s. 617 (1985).

Fiksdal, L. och Blekkan, R., Vannkvalitet og korrosjon på støpejern, B1-1993-3, Intitutt for Vassbygging, NTH, Trondheim, Norway (1993).

Fiksdal, L., Proc. *Internal Corrosion in Water Distribution Systems*, (eds. T. Hedberg, E. A. Vik och J. F. Ferguson), Chalmers University of Technology, Göteborg, Sverige, s. 111 (1996).

* Hedberg, T., Lind Johansson, E., Sander, A., Berghult, B. och Elfström Broo, A., "Experiences from Corrosion Control of Soft and Acidic Waters" Proc. Corrosion, IWSA, Buenos Aires, s. 45 (1996).

Kuch, A., *Internal Corrosion of Water Distribution Systems*, (ed. S. Crnkovich) AWWA Research Foundation, Nashville, Tennessee, USA, s. 88 (1985).

Kuch, A., *Corr. Sci.*, **28**, s. 221 (1988).

Langelier, F. W., *J. AWWA*, **28**, s. 1500 (1936).

Larson, T. E. och Skold, R. V., *J. AWWA*, **49**, s. 1294 (1956).

Pisigan, R. A. J. och Singley, J. E., *J. AWWA*, **79**(2), s. 62 (1987).

Reiber, S. H., Ferguson, J. F. och Benjamin, M. M., , *J. AWWA*, **79**(2), s. 71 (1987).

* Sander, A., Berghult, B., Ahlberg, E., Elfström Broo, A., Lind Johansson, E. och Hedberg, T., *Corrosion Science*, **39**, s. 77 (1997).

* Sander, A., Berghult, B., Elfström Broo, A., Lind Johansson, E. och Hedberg, T., *Corrosion Science*, **38**, s. 443 (1996).

* Sander, A., "*Iron Corrosion in Drinking Water Distribution Systems - a Corrosion Rate Study*" Licentiatuppsats, Chalmers Tekniska Högskola, Inst. för vattenförsörjnings- och avloppsteknik, Göteborg, Sverige (1996).

Schock, M. R. och Neff, C. H., Proc. *11th Water Quality Conference*, AWWA Research Foundation, Nashville, Tennessee, U.S.A, (1982).

Sontheimer, H, Kölle, W. och Snoeyink, V. L., *J. AWWA*, **73**(11), s. 572 (1981).

Sontheimer, H., *Wasser. Abwasser. Forsch.*, **21**, s. 219 (1988).

Stumm, W., *J. AWWA*, **48**, s. 300 (1956).

Tillmans, J, Hirsch, P. och Weintraub, W., *Gas und Wasserfach.*, **70**, s. 919 (1927).

Kopparkorrosion:

* Berghult, B., Elfström Broo, A. och Hedberg, T. "Corrosion Control Measures in Sweden and the Effect of Succession Order", Proc. *Pipe Material Selection in Drinking Water Systems*, Göteborg, Sverige (2000).

Dodrill, D. och Edwards, M. *J. AWWA*, **87**(7), s. 74 (1995).

Drogowska, M., Brossard, L. och H. Menard, *J. Electrochem Soc.*, **139**, s. 39 (1992).

Edwards, M., Schock, M. R. och T. E. Meyer, *J. AWWA*, **88**(33), s. 81 (1996).

Edwards, M., Ferguson, J. F. och Reiber, S. H., *J. AWWA*, **86**(7), s. 74 (1994).

Edwards, M., Meyer, T. och Rehring, J., *J. AWWA*, **86**(12), s. 73 (1994).

* Elfström Broo, A., Berghult, B. och Hedberg, T., "Copper Corrosion in Drinking Water Distribution Systems - the Influence of Water Quality", *Corrosion Science*, **39**(6), s.1119, (1997).

* Elfström Broo, A., Berghult, B. och Hedberg, T., "Copper Corrosion in Drinking Water Systems and its Environmental Consequences" Proc. *Corrosion*, IWSA, Buenos Aires, s 121 (1996).

* Elfström Broo, A., Berghult, B. och Hedberg, T., "Copper Corrosion in Water Distribution Systems - the Influence of Natural Organic Matter (NOM) on the Solubility of Copper Corrosion Products", *Corrosion Science*, **40**(9), s.1479, (1998).

Ferguson, J. F., Korshin, G. V., Perry S. A. L. och Faris, B., *Proc. Water Quality Technology Conference, Part II- Session 3D*, s 1481, AWWA, Miami, FL (1993).

* Hedberg, T. och Lind Johansson, E., "Study of the Influence of Alkalinity and Calcium on Copper Corrosion", Proc. *Corrosion and Related Aspects of Materials for Potable Water Supplies*, s 259, The Institute of Materials, London, UK (1993).

Korshin, G. V., Perry, S. A. och Ferguson, J. F., *J. AWWA*, **88**(7), s.36 (1996).

* Lind Johansson, E., Hedberg T. och Berghult, B., *VATTEN*, **50**, s. 103 (1994).

Lind Johansson, E., *Imporance of Water Composition of Prevention of Internal Copper and Iron Corrosion*, Avhandling, Chalmers Tekniska Högskola, Inst. för vattenförsörjnings- och avloppsteknik, Göteborg, Sverige (1989).

Meyer T. E. och Edwards, M., *Critical Issues in Water and Wastewater Treatment*. s. 9, Proc. 1994 National Conference on Environmental Engineering (eds. J. N. Ryan and M. Edwards), Boulder, Colorado (1994).

Rehring, J. P. och Edwards, M., *Corrosion*, **52**(4), s. 307 (1996).

* *Proc. Internal Corrosion in Water Distribution Systems*, (eds. T. Hedberg, E. A. Vik and J. F. Ferguson), Göteborg , Sverige (1996).

Stone, A., Spyridakis, D., Benjamin, M., Ferguson, J., Reiber, S. och Osterhus, S., *J. AWWA*, **79**(2), s. 75 (1987).

Werner, W., Sontheimer, H., Groß, H-J, Gerlach, M. och D. Horvath, *-Gwf-Wasser / Abwasser*, **135**, s. 92 (1994).

Ytkomplex:

Blesa, M. A., Morando, P. J. och Regazzoni, A. E., *Chemical Dissolution of Metal Oxides*, CRC Press, Boca Raton (1994).

Dzombak, D. A. och Morel, F. M. M., *Surface Complexation Modeling - Hydrous Ferric Oxide*, John Wiley & Sons, New York (1990).

Gunneriusson, L., "Aqueous Speciation and Surface Complexation to Goethite (α -FeOOH), of Divalent Mercury, Lead and Cadmium", Avhandling, Umeå Universitet (1993).

Lövgren, L., *Complexation Properties of a Bog - Water and the Surface of Goethite (α -FeOOH) Particles*, Avhandling, Umeå Universitet (1990).

Sontheimer, H., *Z. Wasser. Abwasser. Forsch*, **21**, s. 219 (1988).

Stumm, W., *Chemistry on the Solid - Water Interface*, John Wiley & Sons, New York (1992).

Stumm, W., Ed., *Aquatic Surface Chemistry: Chemical Processes at the Particle- Water Interface*, Environmental Science and Technology, New York, John Wiley & Sons (1987).

Stumm, W., *The Inner - Sphere Surface Complex: A Key to Understanding Surface Reactivity*, 203rd National Meeting of the American Chemical Society, San Fransisco, California, USA, American Chemical Society (1995).

van Cappellen, P., Charlet, L., Stumm, W. och Wersin, P., *Geochim. Cosmochim. Acta*, **57**, s. 3505 (1993).

van Geen, A., Robertson, A. P och Leckie, J. O., *Geochim. Cosmochim. Acta*, **58**, s. 2073 (1994).

Med stjärna markerade referenser är producerade inom projektet.

*Koka soppa på en spik?
Nä, rosten kom med vattnet.*



Rapporter utgivna i VA-FORSK-serien fr o m 1995

- 1995-01 Ringar på vattnet – VA-verken och Agenda 21, *Anna Helmrot, Gunnel Jonsson, Örjan Eriksson*
- 1995-02 Transport av föroreningar i avloppssystem. Beräkningsmöjligheter med MouseTRAP, *Claes Hemebring, Cecilia Appelgren*
- 1995-03 Alternativa avloppssystem i Bergsjön och Hamburgsund. Delrapport från ECO-GUIDE-projektet, *Per-Arne Malmqvist, Hans Björkman, Majlis Stenberg, Ann-Carin Andersson, Anne-Marie Tillman, Erik Kärrman*
- 1995-04 Utvärdering av biologisk fosforavskiljning vid Öresundsverket i Helsingborg – Processtekniska och mikrobiologiska aspekter, *Magnus Christensson, Karin Jönsson, Natuschka Lee, Ewa Lie, Per Johansson, Thomas Welander, Kjetill Ostgaard*
- 1995-05 Internkontroll vid VA-verk. Arbetsbok för upprättande och genomförande av internkontrollprogram för arbetsmiljön vid va-
verk, *Ingvar Borgström, Anders Karlsson*
- 1995-06 Regional VA-samverkan – Potential och principer, *Lennart Hansson, Ola Mattisson*
- 1995-07 Hårdhetshöjning av dricksvatten med krita-kolsyra, ett alternativ till kalk-kolsyra – Fullskaleförsök vid Öxsjöverket Lerum, *Dan Göthe, Bertil Israelsson*
- 1995-08 Våtmarksrening vid Landsbro ARV, *Leif Lorentzon, Göran Nilsson, Yvonne Gunnevik, Carl Odelberg, Thomas Svensson*
- 1995-09 Tvättmedel – Effekter på reningsverk och miljö, *Cajsa Wahlberg*
- 1995-10 Utvärdering av VAVs läckagestatistik, *Ann-Christin Sundahl, Åse Hasselkvist*
- 1995-11 Trädrötter och avloppsledning. En fördjupad undersökning av rotproblem i nya avloppsledning, *Örjan Stål, Jörgen Rosenlöf*
- 1995-12 Renovering av vattenledningar. Riktlinjer för metodval, dimensionering och utförande, *Thomas Johansson, Per Romdal, Øistein Torgersen*
- 1995-13 Nya kemikalier – En utmaning för kommunala reningsverk. Förstudie, *Björn Frostell, Bengt Hultman, Jonas Röttorp, Peter Solyom*
- 1995-14 CD-ROM inom VA, *Leif W Linde, Gunnar Petersson*
- 1995-15 Kvalitetssäkerhet och leveranssäkerhet i distributionssystem för dricksvatten, *Bengt Zagerholm, Rolf Bergström*
- 1995-16 Försöksrapport från biologisk fosforavskiljning vid Jämshögs reningsverk, Olofströms kommun, *Carl-Johan Legeth*
- 1996-01 Organiskt avfall som växtnäingsresurs. Potential och förslag till forsknings- och utvecklingsinsatser, *H B Wittgren*
- 1996-02 Rotinfrängning i avloppsledning. En undersökning av omfattning och kostnader i Sveriges kommuner, *Örjan Stål*
- 1996-03 Källsorterad humanurin i kretslopp – Förstudie i tre delar, *Håkan Jönsson, Anna Olsson, Thor Axel Stenström, Gunnel Dalhammar*
- 1996-04 VA sett på nytt sätt – Driftentreprenader i några kommuner, *Gösta Fredriksson, Bo Lannblad, Bengt Larsson, Åke Mattsson*
- 1996-05 Avrinningsområdesbaserade organisationer som aktiva planeringsaktörer, *Jan-Erik Gustafsson*
- 1996-06 Bedömningsgrunder för ovidkommande vatten i avloppsnät. Metodikmanual, *Ann-Marie Gustafsson, Gilbert Svensson*
- 1996-07 Snösmältningspåverkan på avloppssystem inom urbana områden, *Claes Hemebring*
- 1996-08 Rening av avloppsslam från tungmetaller och organiska miljöfarliga ämnen, *Erik Levlin, Lars Westlund, Bengt Hultman*
- 1996-09 Kemikaliers effekter i VA-sammanhang. En datasammanställning, *Ingemar Dellien*
- 1996-10 Syrgas i kombination med luftinblåsning vid pilotförsök med kväverening vid Västerås reningsverk, *Hermann Wiklund, Kjell-Ivar Dahlqvist, Bernt Ericsson*
- 1996-11 Export av svenskt kommunalt VA-kunnande, *Gösta W Fredriksson, Åke Mattsson*
- 1996-12 Litteraturlöslösning för grundvatten i urban miljö på Internet, *Chester Svensson*
- 1996-13 Konkurrensutsättning av VA-verksamheten, *Stig Tunestål*
- 1997-01 Utvärdering av VA-lösningar i ekobyar, *J-E Haglund, B Olofsson*
- 1997-02 Aktivt stöd till fastighetsägare vid nybyggnad av VA-nät, *Roland Strandberg, Märten Wärnö*
- 1997-03 Dosering av biokultur i en igensatt infiltrationsanläggning – En utvärdering, *Jenny Holmgren*
- 1997-04 Biogasanläggningar i Sverige, *Anna Lindberg*
- 1997-05 VA-försörjning i ny skepnad – Om konkurrens och strukturomvandling i Vaxholm, *Ola Mattisson*
- 1997-06 Fosfors växttillgänglighet i olika typer av slam, handelsgödsel samt aska, *Kersti Linderholm*
- 1997-07 Dricksvatten och korrosion – En handbok för vattenverken, *Bo Berghult, Ann Elfström Broo, Torsten Hedberg*
- 1997-08 Alternativa avloppssystem i Bergsjön och Hamburgsund. Sammanfattande slutrapport från ECO-GUIDE-projektet, *Per-Arne Malmqvist, Majlis Stenberg*
- 1997-09 Analys av avloppssystem med datormodeller. Tillämpningsexempel med MOUSE-systemet, *Bo Granlund, Mats Andréasson*
- 1997-10 Läcksökning med hjälp av tryckslagsmätningar – Transientmetoden, *Lennart Jönsson, Anders Svensson*
- 1997-11 Modellering av ekologisk dagvattenhantering, *Cecilia Wennberg*
- 1997-12 Avvattning av avloppsslam med naturnära metoder – Erfarenheter från ett fullskaleförsök i Lövånger, *Daniel Hellström, Elisabeth Kvarnström*
- 1997-13 Sambandet mellan kostnader och avgifter inom kommunal VA-verksamhet, *Torbjörn Tagesson*
- 1997-14 Kundorienterad kvalitetsutveckling i VA-verksamhet – Rapport från en förstudie, *Patrik Larsson, Saara Isaksson*
- 1997-15 Läck- och dräneringsvatten i spillvattensystem, *Hans Bäckman, Bengt Göran Hellström, Anders Jaryd, Åke Jonsson*
- 1997-16 Avvattningsslaguner för slam från enskilda brunnar, *Erik Brydolf, Eric Rönnols*
- 1998-01 Tryckslag i vattenledningsnät – några exempel, *Johan Spännare*
- 1998-02 Tryckslags inverkan på vattenledningsnät, *Jakob Büchert, Anders Svensson*
- 1998-03 Analys av redovisade kostnader enligt DRIVA Kostnadsjämförelser för åren 1993-1995, *Gilbert Svensson, Annika Malm*
- 1998-04 Långsamfilters reningspotential, *Essie Andersson*
- 1998-05 Kontaktfiltrering av ytvatten – en teknik på frammarsch, *Maria Byström*
- 1998-06 Utvärdering av WEFs CD kurs "Operations Training – Wastewater Treatment Course" *José-Ignacio Ramírez*
- 1998-07 Nordisk konferens om kväverening och biologisk fosforrening – 1997, *Bengt Göran Hellström, Anders Finnson*
- 1998-08 Toluén i avloppsslam – En studie av Lingsheds reningsverk, *Thomas Hellström, Hans Hedvall*
- 1998-09 Långtidseffekter av storskalig avloppsinfiltation – Erfarenheter från Berlin-Brandenburg, *Per-Arne Malmqvist, Viveka Ramstedt, Hans Björkman*
- 1998-10 Struktur för ledningssystem VA, *Gunnar Mellström, Jan Adamsson*
- 1998-11 Ozonbehandling följt av långsamfiltrering vid dricksvattenframställning, *Anette Seger*
- 1998-12 Nitrifikationshämning i svenska kommunala avloppsvatten – Undersökningar med screeningmetoden och renkulturer av nitrifikationsbakterier, *Karin Jönsson, Camilla Grunditz*
- 1998-13 Katjoniska polyakrylamider – Inverkan på markens mikrobiologi, *Mats Johansson, Nicklas Paxéus, Cajsa Wahlberg, Lennart Torstensson*
- 1998-14 Miljöledningssystem för avloppssystem – En handledning, *Ann-Carin Andersson, Ann-Charlotte Bauer*
- 1998-15 Dricksvattensituationen i Sverige, *Anders Hult*
- 1998-16 Systemanalys VA – Hygienstudie, *Ann Albihn, Thor Axel Stenström*
- 1998-17 Hur tolkas en LCA-rapport? *Göran Svensson*

Rapporter utgivna i VA-FORSK-serien

- 1999-0 VA-FORSK-rapporter 1992–1998
- 1999-01 Internationell sammanställning av erfarenheter med ekologisk dagvattenhantering, *Janusz Niemczynowicz*
- 1999-02 Miljöföreningar i dricksvatten, *Olof Bergstedt, Nicklas Paxéus, Henrik Rydberg*
- 1999-03 Processmodell för vattenverk – Tillämpning av Weasel på sju svenska vattenverk, *Claes Hernebring, Bengt Zagerholm*
- 1999-04 Kundenkäter inom VA – handledning och förslag till frågeformulär, *Jan Lille*
- 1999-05 Bevattning av energiskog med biologiskt behandlat avloppsvatten, *Kent Hasselgren*
- 1999-06 Kartläggning av retention av fosfor och metaller i kommunala slamdeponier – modellområde Avan i Gävle, *Emil Rydin, Kristian Persson, Curt Forsberg*
- 1999-07 Utveckling av en biosensor för denitrifikationshämmning, *Lena Gumaelius, Gunnel Dalhammar*
- 1999-08 VA-försörjning och avfallshantering i lokal Agenda 21 i Skåne – erfarenheter från 20 kommuner, *Peder Hjorth*
- 1999-09 Köksavfallskvarnar – effekter på avloppsreningsverk. En studie från Surahammar, *Tina Karlberg, Erik Norin*
- 1999-10 Kompletterande avloppslösningar i flerfamiljshus och offentliga lokaler, *Jan-Erik Haglund, Birgitta Olofsson, Maria Rydén, Henrik Tideström*
- 1999-11 Slamförbränning, *Katarina Starberg, Jan-Erik Haglund, Jan Hultgren*
- 1999-12 Organiska för(ör)eningar i avloppsvatten från kommunala reningsverk, *Nicklas Paxéus*
- 1999-13 Tillämpning av hydrologiska modeller i vattenplanering, *Lars Kylefors, Thomas Gumbricht, Lars-Göran Gustafsson*
- 1999-14 Spårämneshänsök som undersökningsmetodik vid konstgjord grundvattenbildning, *Lena Tilly, Lena Maxe, P-O Johansson*
- 1999-15 Miljösystemanalys av hushållens avlopp och organiska avfall – syntes av hanteringssystem undersökta inom FoU-programmet "Organiskt avfall som växtnäingsresurs", *Erik Kärrman, Håkan Jönsson, Christopher Gruvberger, Magnus Dalemo, Ulf Sonesson, Thor Axel Stenström*
- 1999-16 Kadmium – spårning och analys, *Marie Hägglund, Christina Rydh, Birgitta Strandberg*
- 1999-17 Optimering av långsamfilter, *Husam S. Jabur, Jonas Mårtensson*
- 1999-18 Konstgjord grundvattenbildning – avskiljning av organiskt material i den omättade zonen, *Johanna Blomberg, redaktör*
- 1999-19 Hårdgörning av dricksvatten med krita i torr form och kolsyra – fullskaleförsök vid Öxsjöverket i Lerum, *Dan Göthe, Bertil Israelsson*
- 1999-20 Servisavloppsledningar – erfarenheter och råd vid schaktfri renovering, *Thomas Johansson*
- 1999-21 Hydraulisk modellering av vattenledningsnät i realtid, *Lennart Andersson*
- 1999-22 Slamspridning på åkermark. Fältförsök med kommunalt avloppsslam från Malmö och Lund under åren 1981–1997, *Per-Göran Andersson, Peter Nilsson*
- 2000-01 Källsorterad humanurin i kretslopp, *Håkan Jönsson, Björn Vinnerås, Caroline Höglund, Thor Axel Stenström, Gunnel Dalhammar, Holger Kirchmann*
- 2000-02 Användningsmöjligheter för avloppsslam, *Henrik Tideström, Katarina Starberg, Thord Ohlsson, Per-Axel Camper, Peter Ek*
- 2000-03 Hantering av svartvatten från Tegelvikens skola – kretsloppssystem med våtkompostering, *Erik Norin, Christopher Gruvberger, Per-Ola Nilsson*
- 2000-04 Redovisning av kostnader inom VA-försörjningen, *Gunnar Mellström*
- 2000-05 Konstgjord grundvattenbildning, 100-årig teknik inom svensk dricksvattenförsörjning, *Göran Hanson*
- 2000-06 Reglering av avloppsreningsverk, *Bengt Carlsson, Sara Hallin*
- 2000-07 Mätningar i avloppsnät samt principer för verifiering av avloppsmodeller, *Bo Granlund, David Nilsson*
- 2000-08 Nyckeltal inom VA – en introduktion, *Peter Stahre, Jan Adamsson, Örjan Eriksson*
- 2000-09 Slutrapport från FoU-programmet – Organiskt avfall som växtnäingsresurs, *Ola Palm, Marianne Löwgren, H B Wittgren*
- 2000-10 Utformning och dimensionering av dagvattenreningsanläggningar, *Thomas Larm*
- 2000-11 VA-PLAN 2050 "VA-samverkan i södra Dalarna", *Tage Hägerman, Pär Johansson, Åsa Johansson, Jonas Larsson*
- 2000-12 Dricksvatten och korrosion – en handbok för vattenverken. Andra utökade upplagan. *Ann Elfström Broo, Bo Berghult, Torsten Hedberg*