

# Alkalinitetshöjning som korrosjons- skydd i dricksvattenledninger

## Metodik och resultat från uppföljningsarbetet i Göteborg

### Increase of Alkalinity for Corrosion Prevention in Drinking Water Pipes Methods and Results from the Following-up Program in Göteborg

av Lars Enander\* och Bo Berghult\*\*

- \* Göteborgs va-verk, Box 123, 424 23 Angered, fra 6-9-93  
i Oslo vann- og avløpsverk, Pb 4704 Sofienberg, 0506 Oslo
- \*\* Göteborgs universitet, institutionen för oorganisk kemi,  
412 96 Göteborg

**Følgende artikkel er en nedkortet versjon av en artikkel som er publisert i den svenske tidsskriften "VATTEN", vol 50, nr 1 (1994). En fullstendig versjon kan fås ved henvendelse till Lars Enander, OVA.**

#### **ABSTRACT**

In order to reduce the red water problem in Göteborg, water quality was changed with respect to alkalinity and hardness. The raw water is very soft. By adding lime and carbon dioxide in the end of the water treatment process alkalinity is increased from 18 to 60 mg hydrogen carbonate / l. At the same time the calcium content is changed from 15 to approximately 30 mg/l. The process change is followed-up with a wide program of investigations presented in the paper. Water sample analysis and registration of consumers complaints

both show a considerable improvement in water quality with respect to iron content. Stagnant water at the consumers tap show a slight increase in copper content.

Key words: drinking water, pipe corrosion, iron, copper, red water, alkalinity, hardness

#### **Sammendrag**

Økingen av alkaliteten i drikkevannet ved et av Göteborgs to vannverk, Akelyckan er blitt evaluert ved et omfattende kontrollprogram. Göteborgs råvannskilde ved normal drift, Gøta elv, har naturlig et meget bløtt vann. For å minske problemene med misfarget vann har kalk og kullsyre blitt dosert i slutten av rensesprosessen. Doseringen har resultatet i en alkalitet på 60 mg hydrogenkarbonat/l og en kalsiumkonsentrasjon på ca 30 mg/l. Tiltaket har

medfört en jevnare vannkvalitet med betydligt lavere jernkonsentrasjoner og vesentlig færre klager fra publikum. Analyser av henstandsvann i husinstallasjoner viser en mindre økning av kobberkonsentrasjonen, noe som skyldes økningen av konsentrasjon av fri kullsyre. Resultatene fra kontrollprogrammet som omfatter driftskontroll og prosessoppfølging, stikkprøver og kontinuerlige målinger på ledningsnettet, korrosjonsproduktanalyse og grunnleggende laboratorie- og pilotskalestudier er presentert.

## INLEDNING

Den i særklass vanligaste orsaken till klagomål på vattenkvaliteten i Göteborg har varit missfärgningar till följd av invändig korrosion av oskyddade järnledningar. Trots olika åtgärder alltsedan 1930-talet, såsom pH-justering och tillsats av inhibitorer, har antalet klagomål med avseende på missfärgat vatten varit omkring 500/år. En närmare uppföljning av klagomålen visar att ca 1% av konsumenterna hade problem med tidvis förhöjda järnkoncentrationer i dricksvattnet. Olika angreppssätt var möjliga för att komma till rätta med detta.

En lösning skulle varit att byta ut eller renovera ledningssträckor med oskyddade gjutjärnsledningar. Göteborgs huvudledningsnät för dricksvatten på totalt 1643 km består till drygt 60% av äldre gjutjärnsledningar utan eller med bristfälligt inre korrosionsskydd.

Dricksvattnet har således goda möjligheter till kontakt med oskyddade

ledningssträckor på sin väg ut till konsumenterna. En grov uppskattning av kostnaderna att byta ut samtliga gjutjärnledningar genom rörspräckning och infodring med polyetenrör slutar på c:a 3.000 Mkr. Till denna summa kommer kostnader för utbyte av servisledningar, både ute i gatan och inom fastigheten. Det är heller inte självklart, att polyetenrör är en beständig lösning ur mikrobiologisk synvinkel och det ideala rörmaterialet för dricksvatten-transport är således ännu inte känt. Ledningsarbeten i mindre skala som syftar till att bygga bort järnproblemområdena kan ifrågasättas då orsaken till det missfärgade vattnet, korrosionsprodukterna av järn, mycket väl kan komma långt från själva problemområdet.

## Alkalinitetshöjning

En annan möjlighet att minska problemets omfattning var att ändra vattnets kvalitet och göra det mindre benäget till korrosion. Göteborgarnas råvattenkälla är Göta älv. Råvattnet behandlas i två vattenverk, Alelyckan och Lackarebäck.

Vattnet i Göta älv är, liksom de flesta ytvatten i Västsverige, mjukt och har en låg alkalinitet vilket ger vattnet ett lätt påverkbart pH-värde. Alkaliniteten i råvattnet som ligger omkring 14 mg  $\text{HCO}_3^-/\text{l}$  förändrades tidigare marginellt i processen på de båda vattenverken och låg under 18 mg  $\text{HCO}_3^-/\text{l}$  i utgående dricksvatten. Kalciumhalten i utgående dricksvatten var strax under 15 mg  $\text{Ca}_2+/\text{l}$ . Järnhalten i utgående vatten var under detektionsnivån.

Alkaliniteten är ett mått på vattnets förmåga att uppta vätejoner och begreppet är således nära besläktat med buffertförmågan. I ett dricksvatten står innehållet av vätekarbonatjoner för merparten av alkaliniteten. Alkaliniteten definieras enligt följande:

$$A = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+] + C_x$$

Koncentrationerna av respektive partikel anges i mmol/l, varför även alkalinitetens enhet blir mmol/l, men enheten mg vätekarbonat/l är vanligast (1 mmol/l motsvarar 60 mg vätekarbonat/Å). Detta för att alkaliniteten till största delen bestäms av vätekarbonathalten. Det är dock viktigt att skilja på alkalinitet och vätekarbonathalt, inte minst vid höga pH, där bidragen från karbonat- och hydroxidjoner blir betydande. Storheten  $C_x$  står för övriga bidragande protolyter. Dessa är oftast försumbara i dricksvatten.

Att alkaliniteten i kombination med halten kalciumjoner i vattnet har stor betydelse för korrosionshastigheten på järnrör och därmed problemet med missfärgat vatten har varit känt sedan länge. Langlier (1) publicerade redan 1936 ett arbete som behandlade problematiken och efter honom har Langlier s index uppkallats. Langlier s huvudtes är att ett vatten skall pH-justeras så, att jämviktspunkten för utfällning av kalciumkarbonat i vattnet överskrids. Tanken är då att ett skyddande skikt av kalciumkarbonat skall bildas på insidan av rören och kinetiskt hindra fortsatt korrosion. I det fall ett alltför högt pH-värde krävs för att uppnå

kriteriet, måste vätekarbonatjoner, ibland kombinerat med kalciumjoner, tillsättas. Detta har fått benämningen alkalinitetshöjning och praktiseras på många håll.

Med tiden har modellen för den korrosionsskyddande processen förändrats och flera andra modeller har föreslagits, däribland den så kallade "sideritmodellen", där järn(II)karbonat spelar en avgörande roll för uppbyggnaden av stabila korrosionsskikt. Sontheimer och Kuch (2,3) foreslår en modell där vätekarbonatets huvuduppgift är att buffra vattnet så att utfällningen av korrosionsprodukter går långsamt. Det bildas härvid stabilare korrosionsprodukter med bättre vidhäftning. Dessa låter sig inte lika lätt omlagras till andra produkter med risk för missfärgat vatten som följd. I dessa modeller är således inte kalciumhalten av lika vital betydelse som i Langlier s modell.

Korrosionen av kopparledning påverkas inte på samma sätt vid en alkalinitetshöjning. I områden med hårt vatten och således höga halter av såväl kalcium- som vätekarbonatjoner är kopparkorrosionen betydande. Måttliga halter vätekarbonat har en reducerande effekt på förekomsten av punktkorrosion i kopparledning, medan den allmänna korrosionen ökar vid en alkalinitetshöjning.

För att angripa korrosionsproblematiken krävs således ett totalt grepp, där såväl järn- som kopparkorrosion studeras och helst också andra rörmaterial, såsom betong och plast.

## Tidigare erfarenheter

Under 1980-talet prövades lokal alkalinitetshöjning i tre välkända järnproblemområden i Göteborg. En lösning av natriumbikarbonat,  $\text{NaHCO}_3$ , doserades direkt från matarledningen in i respektive område. Den doserade mängden motsvarade ungefär en vätekarbonatkoncentration på 48 mg/l  $\text{HCO}_3^-$  vilket innebar en total alkalinitet på ca 60 mg/l  $\text{HCO}_3^-$ .

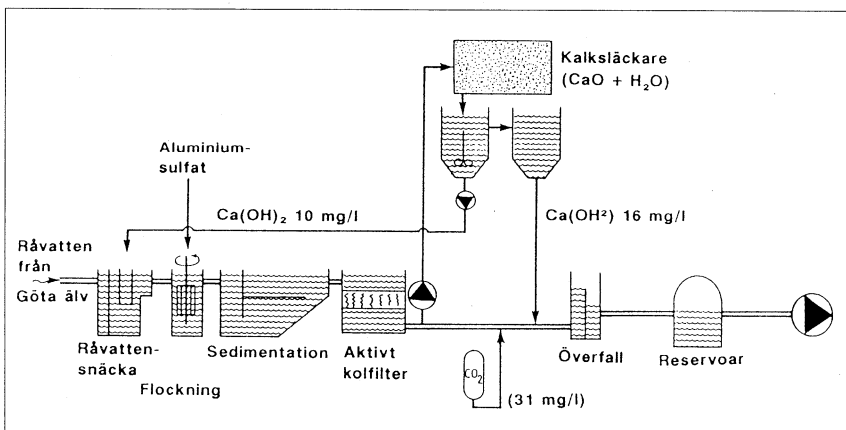
Erfarenheterna från samtliga tre områden var positiva. En bristfällig stickprovtagningsteknik innebär att liten trovärdighet kan ges åt det stickprovtagningsprogram som åtföljde försöken. Det går dock att utläsa en klart vikande trend både beträffande nivån på maximivärdena i varje provtagningsomgång och beträffande antalet extremvärden som gradvis blev färre. Det som fästes störst vikt vid var dock det faktum att antalet klagomål minskade markant och att befolkningen

i de tre områdena allmänt sade sig ha märkt en förbättrad vattenkvalitet.

Den sista av de lokala doseringsstationerna togs ur drift 1991.

## Försök med alkalinitetshöjning i full skala

Erfarenheterna från de lokala doseringarna, liksom ett tidigare försök i full skala på Lackarebäcks vattenverk och andra kommuners positiva resultat gav underlag för beslut om försök i full skala, men visade också på vikten av ett systematiskt och tillförlitligt uppföljningsprogram. Fullskaleförsöken med alkalinitetshöjning på Alelyckans vattenverk inleddes i juni 1991. Målsättningen med försöket var att uppnå en alkalinitet på omkring 60 mg  $\text{HCO}_3^-$  och en kalciumhalt på strax under 30 mg  $\text{Ca}^{2+}$ /l. För att uppnå detta kompletterades processen med dosering av kolsyra och extra kalk. Doseringsmängder och inblandningspunkter framgår av figur 1, Kristenson och Bergstedt (4).



Figur 1: Schematisk processbeskrivning med inblandningspunkterna för kalk- och kolsyra markerade.

## UPPFÖLJNINGSMETODIK

Förhoppningen var att alkalinitets-höjningen skulle ge en betydligt förbättrad vattenkvalitet ända ut till tappstället. Det var en självklarhet att försöken skulle dokumenteras och följas upp, speciellt som alla effekter av en sådan åtgärd inte är klarlagda.

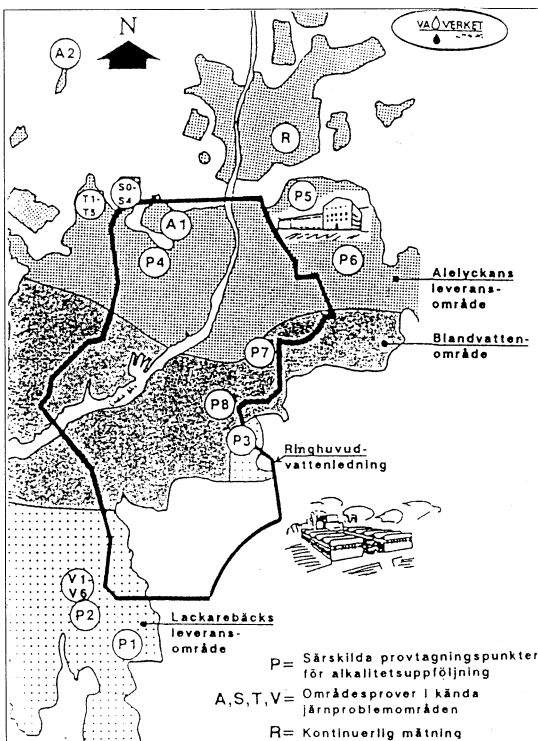
### Uppföljning på rörnätet

Uppföljningsarbetet inriktades i första hand på att konstatera avsedda effekter med alkalinitetshöjningen, en förväntad reducering av problemen med missfärgat vatten. Uppföljningen tjänar här delvis detta syfte. Lika viktigt är dock att konstatera andra effekter av kvalitetsförändringen och därför har uppföljningsarbetet fått en större bredd än vad som annars skulle ha varit fallet.

### Stickprovtagning

Stickprovtagningarna har utgjort själva stommen i uppföljningsprogrammet. Sammanlagt ett 50-tal stickprover har tagits på nätet varje månad. Proverna har huvudsakligen tagits via brandposter, men åtta speciella provtagningspunkter med anborningar direkt på huvudledningen har också utnyttjats i uppföljningen. Dessa åtta provtagningspunkter representerar leveransområdena för Göteborgs båda vattenverk, alltså för-

utom Alelyckan även Lackarebäck som i försök-ets början inte hade alkalinitetshöjning, med tre punkter från varje leverans-område. Dessutom representeras blandvattenområdet med två punkter. Resterande prover har tagits i brandposter i två områden med vatten från Alelyckan och ett område med vatten från Lackarebäck, se figur 2, Kristenson och Bergstedt (4). Analyser har gjorts med avseende på järn, pH-värde, alkalinitet, och i några fall också med avseende på totalhårdhet och kalciumhalt.



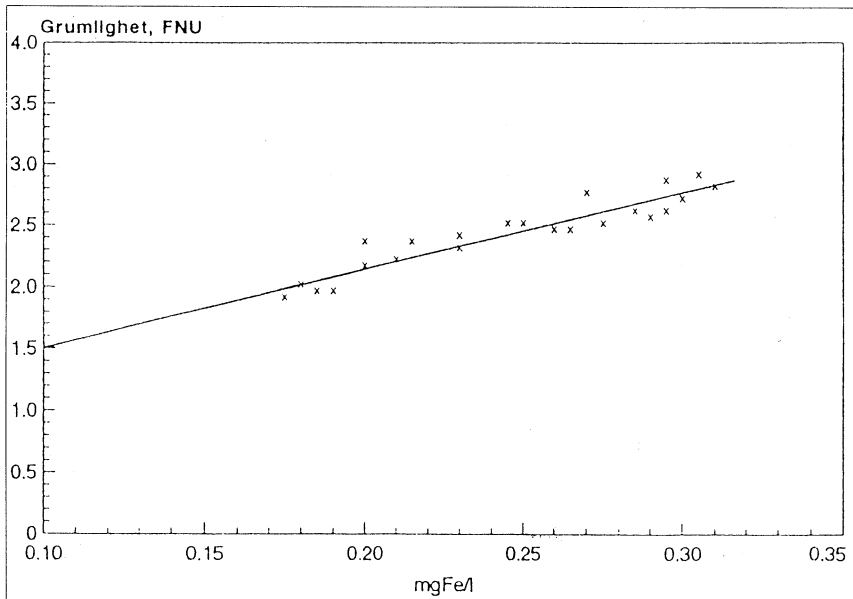
Figur 2: Stickprovtagningspunkter för uppföljningsprogrammets järnanalyser på ledningsnätet.

Analysresultatet från ett stickprov är i hög grad beroende av hur provet tas. Det är av största vikt att hålla sig till en enhetlig provtagningsmetodik för att tendenser skall kunna avläsas och slutsatser skall kunna dras. Samtliga stickprover har av denna orsak tagits enligt av Enander framtagen standard (5), som består i att provtagningsflöde och spoltid hålls konstanta vid alla provtagningar. Med hjälp av en flödesregulator som ansluts till brandposten via ett stånrör ställs ett provtagningsflöde på 20 l/min in. Detta flöde är avsett att efterlikna en normal tappning från en tappkran. Härvid undviks också att ansamlingar av rost i brandpostledningen rycks med och kontaminerar provet. Två prover tas

vid varje provtagningstillfälle, efter 10 respektive 12 minuters spoltid, d v s efter en så stor spolvolym att volymen stillastående vatten i en normal brandpostservis har omsatts åtminstone två gånger. Dubbel provtagning görs för kontroll av reproducerbarheten.

### Kontinuerliga mätningar

Tidigare undersökningar har visat på samband mellan järnkonzentration och turbiditet. Kontinuerliga mätningar med avseende på turbiditet (grumlighet) parallellt med dygnsprovtagningar med avseende på järn med ett prov varje timme i ca 15 olika provtagningspunkter inom Göteborg har visat att direkt proportionalitet mellan järn och turbiditet råder, se figur 3, Enander (6).



Figur 3: Turbiditet (grumlighet) som funktion av järnhalt i stickprover.

Sambandet har utnyttjats för att indirekt, kontinuerligt mäta järnkonzentrationer i vattnet. Motivet till kontinuerliga mätningar är dels att få ett bättre underlag för bedömning av nivån på järnkonzentrationerna i vattnet än vad ett enskilda stickprov ger, dels att visa på järnkonzentrationens variation vilket ger ökad kunskap om vid vilka tidpunkter och under vilka omständigheter som järnproblemen är som störst.

Göteborgs va-verk har haft en mätvagn med turbiditetsmätare och vattenprovtagare i drift på olika provtagningspunkter under hela försöksperioden.

### **Klagomålsstatistik**

Alla klagomål med avseende på vattenkvaliteten eller vattendistributionen som inkommer till va-verket registreras i ett driftstörningsregister. Klagomål på missfärgat vatten registreras under en separat kod. Registreringssystemet erbjuder en unik möjlighet att följa upp vattenkvalitetsförändringarna på röret då befolkningsunderlaget för uppföljningen är drygt 440.000 personer inom Göteborg.

Uppföljning av klagomål med avseende på missfärgat vatten görs varje månad. Klagomålen delas upp efter leveransområde, vilket möjliggör jämförelser mellan hur dricksvattnen från de båda vattenverken uppfattas av konsumenterna. Eventuella tillkommande störningar i dricksvattenkvalitet kan också, i den mån de uppfattas av konsumenten, detekteras via klagomålsregistret.

### **Provtagningar för analys med avseende å koppar**

Dricksvatten med höga alkaliniteter och kalciumhalter ger ökad kopparkorrosion i konsumenternas interna installationer, vilket bland annat har visat sig i förhöjda kopparkonzentrationer i avloppsslam från olika reningsverk.

Analys av kopparkonzentrationen i dricksvattnet vid tappstället har utförts för 10 olika provtagningspunkter inom respektive leveransområde, samt inom blandvattenzonen. Prov har tagits efter 0 och 3 minuters spoltid. Syftet med detta har varit att se om den måttliga höjningen i alkalinitet och kalciumhalt ger någon påvisbar skillnad i kopparkonzentration mellan vattnen från de båda vattenverken.

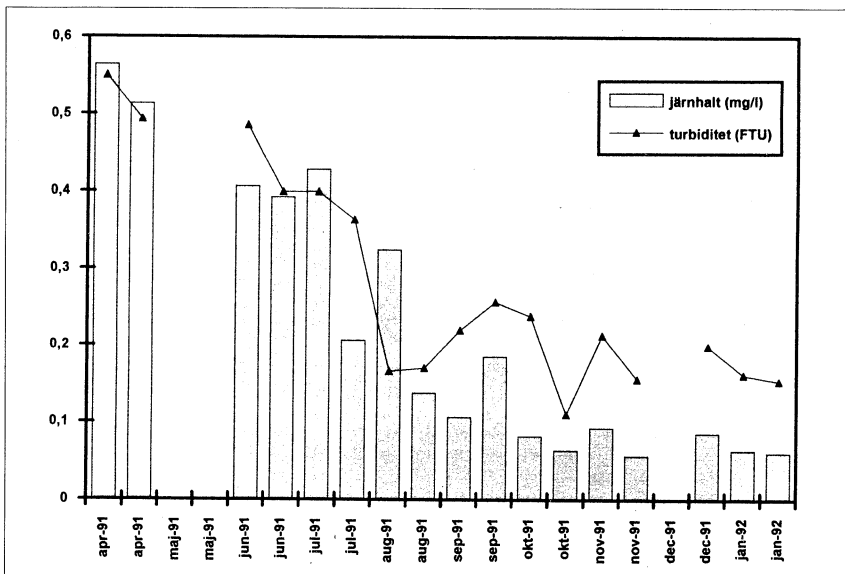
## **RESULTAT OCH DISKUSSION**

### **Fick åtgärden avsedd effekt?**

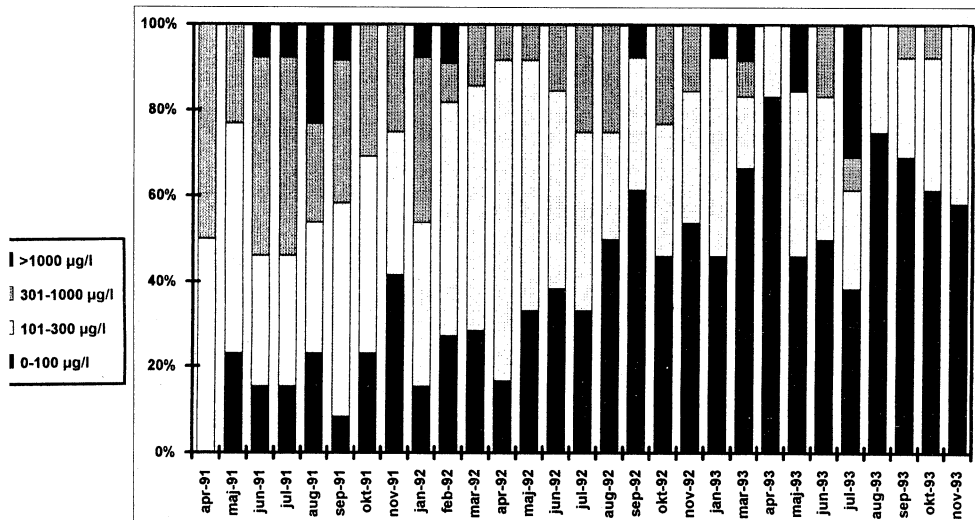
#### *Stickprover*

Redan efter relativt kort tid stod det klart, att alkalinitetshöjningen hade inneburit en minskning i järnkonzentrationer från stickprover och kontinuerliga mätningar. När försöket inleddes, 10 juli 1991, var vagnen för kontinuerliga mätningar uppställd i ett bostadsområde med tidvis mycket höga järnkonzentrationer i vattnet. Efter kort tid visade såväl den kontinuerliga turbiditetsmätningen, som dygnsproverna med avseende på järn betydligt förbättrade värden, figur 4.

En utvärdering av stickproverna framgår av figur 5. Varje provtagningsomgång innefattar dubbelprov från 13

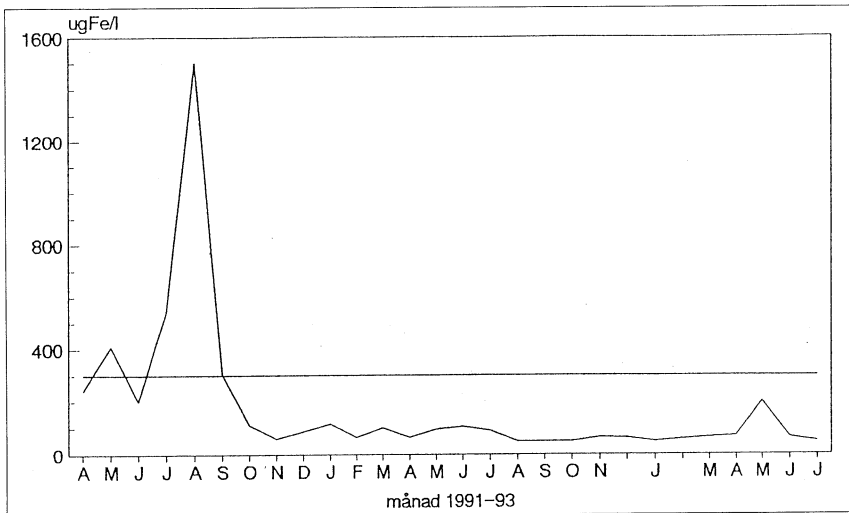


Figur 4: Medelvärden av järnhalt i timvisa stickprov och kontinuerlig turbiditetsmätning som funktion av tiden i ett område med stora vattenkvalitetsstörningar till följd av korrosion, Rösered. Höjd alkalinitet från och med 10 juli 1991.



Figur 5: Andelen stickprov med järnhalter inom olika intervall som funktion av tiden. Höjd alkalinitet från och med 10 juli 1991.



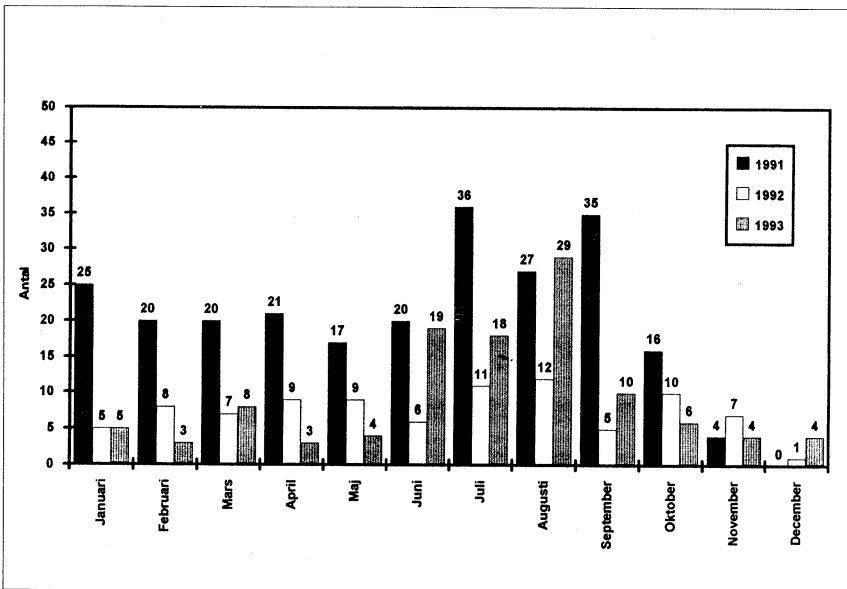


Figur 6: Järnhalt som funktion av tiden i en provtagningspunkt, Januarigatan (P5). Höjd alkalinitet från och med 10 juli 1991.

provtagningspunkter inom Alelyckans distributionsområde. Mätresultaten har grupperats efter halt och andelen prover inom varje haltområde redovisas i förhållande till alla provresutat. En mer detaljerad redovisning medför att effekter av belastningsvariationer, avstängningar, läckor, spolningar med mera får ett alltför stort genomslag. Effekter av enskilda händelser på rörnätet liksom misslyckade provtagningar är ett generellt problem i utvärderingsarbetet och det är således viktigt att aldrig övertolka enstaka avvikande mätresultat. Omedelbart efter kvalitetsförändringen i augusti 1991 kunde i ett flertal stickprover uppmätas dramatiskt förhöjda järnhalter. Detta framgår av figur 6. Förklaringen är inte klarlagd, men ett rimligt antagande är, att topparna tillkom eftersom doseringen av inhibitor (silikat och fosfat) upphörde

i samband med omläggningen. Innan kvalitetsförändringen fått effekt uppträdde en instabilitet i rören, där relativt lättlösliga silikatoch fosfatrika järnföreningar gick i lösning. I oktober hade extremvärdena över 1000 µg/l forsvunnit och andelen med låga halter (upp till 100 µg/l) ökade sedan successivt, för att i slutet av året ha uppnått nära 50%.

Under sommaren 1993 har ett antal extremvärden åter uppmätts. En rimlig förklaring till detta är avstängningar av Göteborgs ringhuv-udledning, med belastnings- och tryck-variationer som följd. Det är för tidigt att dra några slutsatser om eventuella årstidsvariationer, men andelen låga värden var även under sommaren 1993 i stort sett oförändrad. Under hösten har mycket låga värden åter uppmätts.



Figur 7: Klagomål på missfärgat vatten i Alelyckans distributionsområde som funktion av tiden. Höjd alkalinitet från och med 10 juli 1991.

### Klagomål

Nära nog omgående verifierades den förbättrade situationen genom ett lägre antal klagomål från konsumenterna inom leveransområdet. Under de kommande månaderna förstärktes denna trend och vid en jämförelse mellan åren 1991 och 1992 reducerades klagomålen med cirka 60 %, medan klagomålen från Lackarebäcks distributionsområde var oförändrad, se tabell 1. Under 1993 har den tidigare diskuterande avstäng-

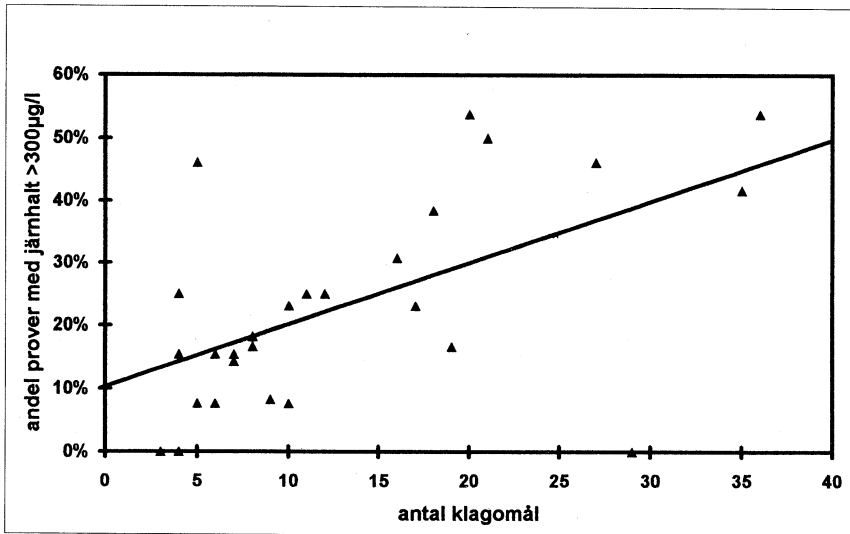
ningen av ringhuvudledningen påverkat statistiken, med höga värden under sommarmånaderna.

Trenden inom Alelyckans distributionsområde har annars fortsatt under 1993, vilket framgår av figur 7.

Minskningen i klagomålsfrekvens kan knappast förklaras med psykologiska faktorer. Att klaga på missfärgat vatten innebär ett aktivt steg som tas vid konstaterat missförhållande och man klagar således inte av "gammal vana".

Tabell 1. Registrerade klagomål på missfärgat vatten

Period	Totalt antal		Alelyckan		Lackarebäck		Blandvatten	
	antal	%	antal	%	antal	%	antal	%
9101-9112	439		161	37	73	17	205	47
9201-9212	321		66	20	75	34	180	56
9301-9312	353		113	32	87	25	153	43



Figur 8: Andelen stickprover med järnhalt > 300 mg/l som funktion av antalet klagomål i Alelyckans distributionsområde.

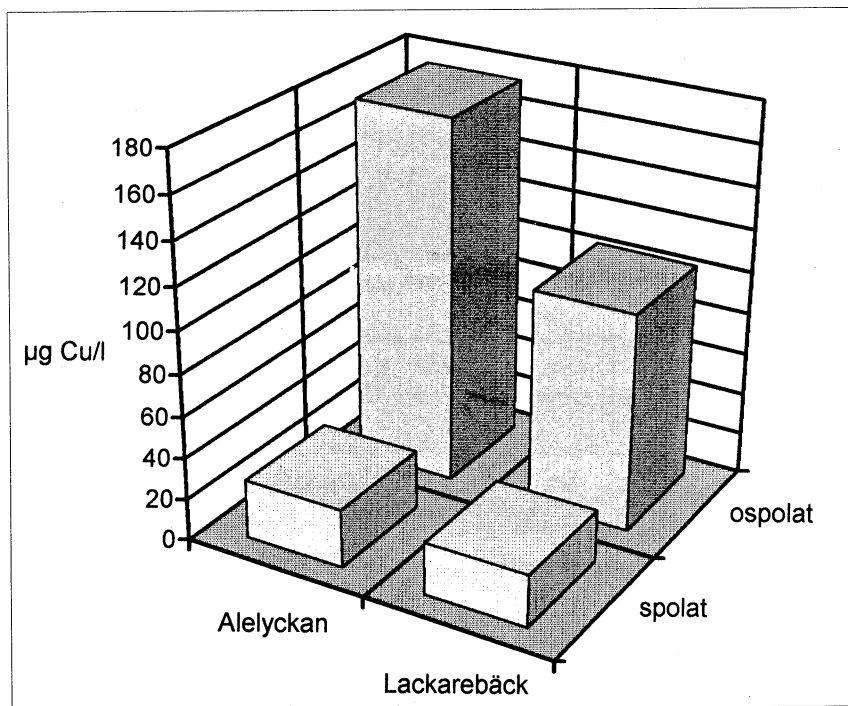
Dessutom var va-verkets information till allmänheten mycket sparsam i Dessutom var va-verkets information till allmänheten mycket sparsam i samband med kvalitetsomläggningen för att undvika effekter av positiv förväntan. Eftersom vattnet även efter omläggningen är att betrakta som mjukt behövde heller inte några praktiska förändringar vidtas i människors vardag, såsom ändrad tvättmedelsdosering eller förändrat handhavande med akvariefiskar. Skälen måste således sökas på annat håll.

Att klagomålsfrekvensen står i relation till resultaten av stickproverna framgår tydligt av figur 8. Som tidigare redovisas järnforekomsten som antal prover inom respektive haltområde i relation till totala antalet prover. Med Göteborgs befolkningsunderlag är så-

ledes klagomålsfrekvensen en bra indikator på effekten av en så påtaglig kvalitetsförändring.

### Övriga effekter på röret

Inom programmet med grundläggande studier har bland annat en modell för korrosionsprodukternas transport genom rörsystemet diskuterats. Ansatsen har varit att huvudledningarna och i synnerhet början av huvudledningarna står för merparten av korrosionen inom ett ledningssystem. Korrosionsprodukterna som återfinns i ändledningarna är i huvudsak dittransporterade och orsakar sedan vid ojämn förbrukning problem med missfärgat vatten. Genom laboriemässig bestämning av korrosionshastigheten med elektrokemisk teknik och beräkningar av uppehållstider i rörsystem-



Figur 9: Kopparhalt i dricksvatten hos konsumenter före och efter spolning i Alelyckans respektive Lackarebäcks distributionsområde.

en erhölls en mycket god överensstämmelse med uppmätta järnhalter i ledningssystemet också efter alkalinitetshöjningen, Berghult et al (7). Detta talar således för en fortsatt korrosion av huvudledningarnas första delar, där goda förutsättningar för korrosion finns (rena järnytor, höga syre- och hypoklorithalter, god vattenomsättning. En detekterad övermättnad av lösta järnpartiklar i vatten med högre alkalinitet ger stöd för den av Sontheimer (3) föreslagna modellen med långsammare utfällning av korrosionsprodukter. En högre alkalinitet (100 mg/l) ger bra inhibering av järnyran även vid låga

kalciumhalter, vilket möjligen talar för en ytterligare höjning av alkaliniteten. Låga kalciumhalter är av betydelse för att reducera kopparkorrosionen. Detta talar för att en alkalinitetshöjning bör göras utan att i nämnvärd omfattning höja kalciumhalten i mjuka vatten.

### Kopparkorrosion

Det är ett känt faktum att vattnets alkalinitet och kalciumhalt spelar en avgörande roll för korrosionen på kopparrör. I de grundläggande undersökningarna har det visat sig, att en avgörande parameter är vattnets innehåll av fri kolsyra, det vill säga den fraktion

av karbonatinnehållet som inte påverkar alkaliniteten på grund av att den binder det maximala antalet protoner, (artikel under arbete). Halten fri kolsyra är beroende av totalhalten karbonat, men också av pH och indirekt av halten kalcium. Vid en temperaturförhöjning kommer en allt lägre halt kalcium att tillåtas i vattnet för att inte kalciumkarbonat skall falla ut. Om den maximala halten kalcium överskrids sker denna utfällning, som får en pH-sänkning till följd och därmed förhöjd halt fri kolsyra. Kopparkorrosionen tilltar således med ökad temperatur. Vid stillestånd i kallvattenledningar kommer kopparhalter att byggas upp i förhållande till halten fri kolsyra i vattnet, men också i förhållande till stilleståndstiden. Detta är märkbart också vid en så måttlig alkalinitetsförhöjning som den hos vattnet från Alelyckanverket, vilket framgår av figur 9. I spolat vatten är skillnaden som väntat försumbar. Det bör påpekas att det statistiska underlaget för utvärderingen är relativt litet (14 prov per leveransområde för ospolat vatten och c:a 20 prov per leveransområde för spolat vatten) och resultaten bör därför inte övertolkas.

Huruvida dessa förhöjda halter avspeglar sig också i avloppsslammet från reningsverken är ännu för tidigt att utvärdera, men effekten blir ytterligare accentuerad i varmvatten och erfarenheter från andra kommuner visar på förhöjda halter i avloppsslammet också efter måttliga alkalinitetsförhöjningar med kalk och kolsyra.

## Processen

Vid sidan av inledande tekniska problem, främst med uppskalning av kalkdoseringsutrustningen, uppstod inledningsvis också grumlighet i det högsommarvarma färdigberedda vattnet till följd av övermättnad av kalciumkarbonat. Efter pHjustering fungerade doseringen tillfredsställande. Även vid låg förbrukning fungerar doseringen i stort sett tillfredsställande.

Eftersom de alkalinitetshöjande tillsatserna av kalk och koldioxid görs i slutet av beredningen, påverkar dessa inte exempelvis fällningsprocessen. Vid Alelyckan tillsätts aluminiumsulfat för denna process. Likväl kunde förhöjda halter av aluminiumjoner detekteras i den ordinarie drifkontrollen. Detta visade sig härröra från kalkråvaran och har inneburit att va-verket nu ställer större krav på råvaruleverantören.

Författarna tackar Göteborgs va-verk för f nansieellt stöd och värdefulla kommentarer i samband med färdigställandet av denna artikel.

## SLUTSATSER

- Alkalinitetsförhöjningen vid Göteborgs ena vattenverk, Alelyckan, gav i stort sett avsedd effekt. En jämnare vattenkvalitet med lägre halter järn har kunnat konstateras.
- Klagomålen på missfärgat vatten visade sig vara relaterade till järnhalterna och sjönk på motsvarande sätt.

- Järnhalten kan under stationära kontinuerliga betingelser indirekt mätas med hjälp av turbiditet (grumlighet).

- Allmänkorrosion på kopparledningarna tilltar i samband med alkalinitetshöjning med kalk och kolsyra. Detta är relaterat till den ökade halten fri kolsyra och kan innebära förhöjda halter koppar i avloppsslammet. Sänkt kalciumhalt ger en förbättrad situation.

- Betydelsen av kalciumkarbonatutfällning som korrosionsinhibitor kan ifrågasättas. Vätekarbonatjonens buffrande förmåga är sannolikt viktigare för bildning av stabila korrosionsproduktskikt.

- Det är betydelsefullt att bedriva omfattande kvalitetsförändringar som försök i full skala, där processen görs flexibel för framtida optimering. Ett omfattande kontrollprogram ger underlag för såväl utvärdering och optimering som processreglering och upptäcker av oväntade effekter.

Författarna tackar Göteborgs va-verk för finansiellt stöd och värdefulla kommentarer i samband med färdigställandet av denna artikel.

## LITTERATURFÖRTECKNING

1.) Langlier, W. F. 1936. The Analytical Control of Anti-Corrosion Water Treatment J. AWWA 28: 1500- 1521.

2.) Kuch, A., Sontheimer, H. 1986. Instationäre Korrosion - Eine Ursache der Rotwasserbildung in Wasserverteilungsnetzen GWF WASSER / ABWASSER 127: 621-629.

3) Sontheimer, H. 1988. Der "Kalk-Kohlensäure-Mythos" und die istationäre Korrosion Z. WASSER-ABWASSER-FORSCH. 21: 219-227.

4) Kristenson, S.-E., Bergstedt, O. 1992. The Redwater Problem in Gothenburg PROC. IWSA WATER SUPPLY CONGR., JÖNKÖPING 10: 39-45.

5) Enander, L. 1990. Provtagningsmetodik vid bestämning av järnkonzentration i dricksvatten VATTEN 46: 237-243.

6) Enander, L. 1990. Provtagningsmetodik för dricksvatten vid bestämning av järnkonzentration CHALMERS TEKN. HÖGSK., INST. F. VA-TEKNIK, INTERNSKRIFT 1: 90

7) Berghult, B., Elfström Broo, A., Hedberg, T., Lind Johansson, E. 1992. Corrosion of Water Mines with Special Respect to Iron Pipes PROC. 12TH SCAND. CORR. CONGR. & EUROCORR 92, ESPOO, FINLAND 1: 253-264.