



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Geologi
Geoteknik med grundläggning
Vattenbyggnad
Vattenförsörjnings- och avloppsteknik

ISSN 0347 - 8165

SAMMANSTÄLLNING AV RAPPORTER OM
VATTENKVALITETSPROBLEM I
ÄNDLEDNINGAR AV JÄRN

Probleminventering, fältförsök och laboratorietester



TORSTEN HEDBERG OLLE LJUNGGREN LARS-OVE SÖRMAN



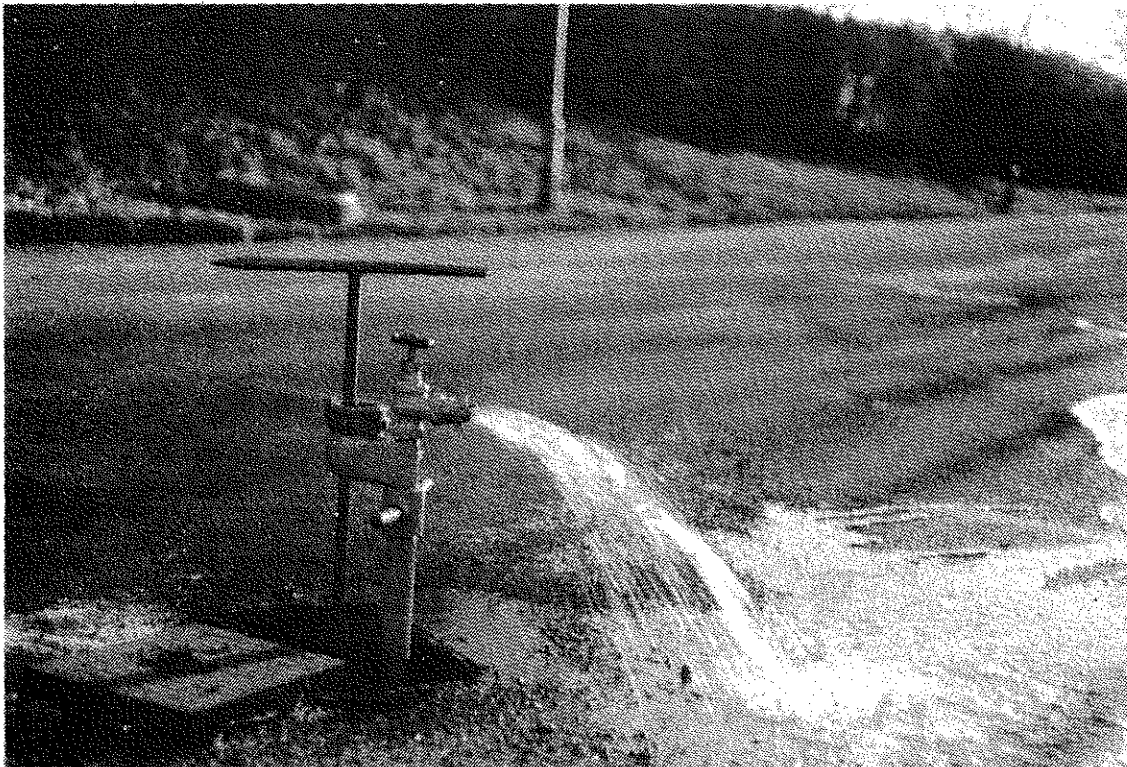
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Geologi
Geoteknik med grundläggning
Vattenbyggnad
Vattenförsörjnings- och avloppsteknik

ISSN 0347 - 8165

SAMMANSTÄLLNING AV RAPPORTER OM
VATTENKVALITETSPROBLEM I
ÄNDLEDNINGAR AV JÄRN

Probleminventering, fältförsök och laboratorietester



TORSTEN HEDBERG
OLLE LJUNGGREN
LARS-OVE SÖRMAN

Adress : Geohydrologiska forskningsgruppen
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Tel. 031/72 21 67

FÖRORD

Föreliggande rapport har utarbetats inom Geohydrologiska forskningsgruppens projektgrupp Ledningsteknik, som representeras av institutionerna VA-teknik, Vattenbyggnad och Geoteknik med grundläggning vid Chalmers tekniska högskola. Studierna som består av probleminventering och enkla praktiska försök i laboratorieskala och uppföljning i fält behandlar vattenkvalitetsproblem i ändledningar. Arbetet har finansierats av Statens råd för byggnadsforskning (projekt nr 870312-4) och medverkande har varit Torsten Hedberg, Olle Ljunggren, Lars-Ove Sörman, Börje Sjölander och Arne Kallhed samt personal vid VA-tekniks laboratorium. Arbetet har i vissa delar skett i samarbete med Göteborgs VA-verk.

Göteborg i februari 1990

Torsten Hedberg Olle Ljunggren Lars-Ove Sörman

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	<u>Sid</u>
FÖRORD	i
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	ii
INLEDNING	1
KORT OM KORROSION PÅ JÄRN	2
ENKÄT TILL SVERIGES KOMMUNER OM FÖRNYELSE AV VA-NÄTEN - RESULTAT (Olle Ljunggren)	6
Orsaker till förnyelsebehovet	6
Investeringar	7
Renoveringsmetoder	8
Förnyelsestrategi	9
ENKÄT TILL SVERIGES KOMMUNER OM VATTEN- KVALITETSPROBLEM I ÄNDLEDNINGAR (Torsten Hedberg)	10
Inledning	10
Allmänt om enkäten	10
Svarsprocent	11
Resultat av enkätundersökning	13
Fördelning av enkätsvar på de tre frågeställningarna	13
Slutsatser av enkätundersökningen	19
CEMENTBRUKSINFODRINGENS PÅVERKAN PÅ ETT EFTER- LIGGANDE JÄRNRÖR - ETT LABORATORIEFÖRSÖK (Torsten Hedberg)	20
Inledning	20
Laboratorieförsökets genomförande och omfattning	20
Resultat	22
Slutsatser	26
KORTEDALAPROJEKTET - UTVÄRDERING AV CEMENT- BRUKSINFODRING I ETT OMRÅDE I GÖTEBORG (Olle Ljunggren)	28
Sammanfattning	28
Inledning	28
Undersökningar före renovering	31
Undersökningar i samband med arbetsutförandet	38
Undersökningar efter renoveringen	39
Slutomdömen	44

	<u>Sid</u>
PREPARERING AV CEMENTBRUKSINFODRADE JÄNRÖR FÖR ATT MINSKA pH-FÖRHÖJNING - LABORATORIEFÖRSÖK (Torsten Hedberg, Olle Ljunggren, Lars-Ove Sörman)	45
Inledning	45
Stabiliseringsförsök medelst hårt vatten	45
Stabiliseringsförsök medelst soda och CO ₂	48
Slutsatser	52
 REFERENSER	 53



INLEDNING

Det är känt att vattenkvalitetsproblemen är större i s k ändledningar än i övriga delar av ett distributionsnät. Dimensionen på ändledningar är i förhållande till normalt vattenuttag stor. Vatten blir stillastående länge och helt andra processer är verksamma i ändledningar än i ledningar med kontinuerligt strömmande vatten. I ändledningen sedimenterar partiklar såsom korrosionsprodukter och organiska föroreningar. Syreförhållanden ändras, syrehalten minskar pga mikrobiologiska processer och korrosionsprocesser. Reduktions-oxidationsförhållanden ändras och avsatta korrosionsprodukter kan återgå i vattenlösning. Orsaken till problemen, som uppstår i ändledningar står alltså inte att finna enbart i ändledningen utan kan härröra även från ett av vattenförsörjningens tidigare skede - i råvattentäkt, i vattenverk, i huvudledningar. Dessutom kan problemen säkerligen variera med årstid och därav föranleda förändringar i vattenkvalitet och vattenförbrukning. Allt detta påverkar dynamiken och processer i ändledningar.

Vattenkvalitet och vattenkvalitetsförändringar har tydliggjorts på ett helt annat sätt nu när regelbundna prov tas på ledningsnät. Många åtgärder för att förbättra situationen har genomförts i våra kommuner men någon systematisk uppföljning av resultat och värdering finns veterligen inte och eftersom korrosionsförlopp och mikrobiologiska processer ingalunda är enkelt att förstå är det väsentligt att mer i detalj försöka klarlägga de mekanismer som orsakar kvalitetsproblem i hela ledningssystemet. Denna undersökning som här redovisas tar utgångspunkt från andra, mer utförliga, undersökningar som tidigare genomförts på VA-teknik.

Föreliggande undersökning som består av olika delar riktar sig speciellt mot ändledningar. De fem delarna som består av utredningar och relativt praktiska försök i olika skalor omfattar följande:

- 1) Enkät till Sveriges kommuner om förnyelse av VA-näten
- 2) Enkät till Sveriges kommuner om vattenkvalitetsproblem i ändledningar
- 3) Cementbruksinfodringars påverkan på ett efterliggande järnrör - ett laboratorieförsök
- 4) Kortedalaprojektet - utvärdering av cementbruksinfodring i ett område i Göteborg
- 5) Preparering av cementbruksinfodrade järnrör för att minska pH-höjning - laboratorieförsök

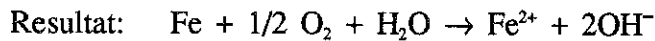
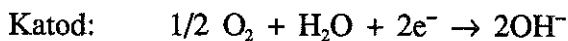
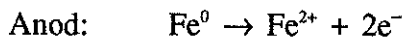
KORT OM KORROSION PÅ JÄRN

Korrosion på järn har utförligt studerats på VA-teknik och artiklar och rapporter har utarbetats. Korrosion på järn har i september 1989 rapporterats i en doktorsavhandling av Eva Lind Johansson "Importance of water composition for prevention of internal copper and iron corrosion".

Nedan ges en kortfattad redogörelse av vad vi hittills vet om järnkorrosion. Påpekas bör att korrosionslitteraturen är omfattande och de faktorer som påverkar järnkorrosionen är många varför man lätt förstår att erfarenheterna och hypoteserna om korrosionsförloppet kan skilja sig åt från land till land, liksom mellan olika forskare.

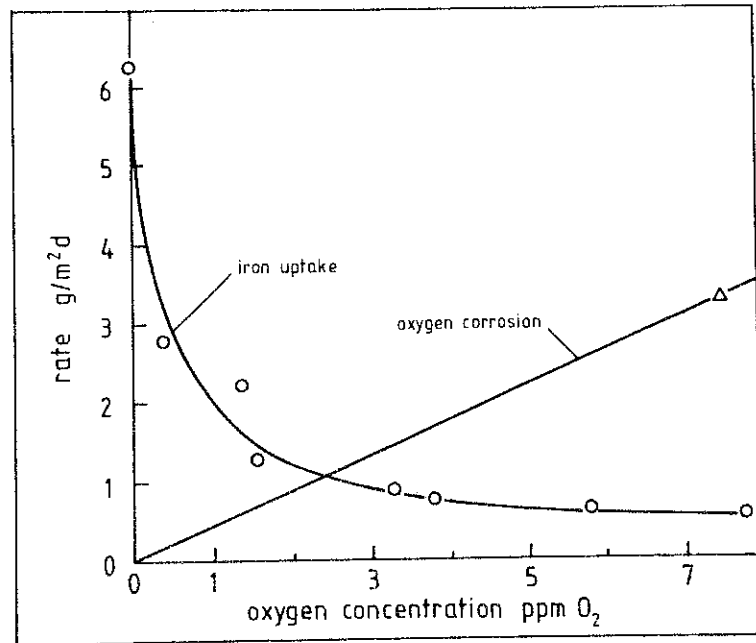
Korrosion av järn är en elektrokemisk process och järnet strävar att återgå till det tillstånd det ursprungligen hade som malm. En järnyta är inte helt homogen, det finns eller uppstår, till följd av t ex avlagringar, spänningsskillnader. Det finns således anod- och katodytor.

Vid anodytan går järnjoner ut i vattnet. Vid katodytan reduceras syre till OH⁻-joner vilket medför att pH-värdet där stiger. Processen kan tecknas



Som framgår är det nödvändigt att syre finns tillgängligt för att korrosion skall ske eller fortsätta. Hindrar man syre att nå rörväggen stannar denna kemiska process. Då syrehalten blir låg kan redoxförhållandena ändras drastiskt och återupplösning av redan bildade korrosionsprodukter kan ske.

Detta kan illustreras med följande bild som visar hur syrehalten påverkar korrosionsförloppet.



Figur 1. Olika typ av järnkorrosion vid olika syrehalt, Sontheimer H, 1988.

Bilden visar att hög syrehalt, och då förstås intill rörytan, bidrar till en ökad "kemisk" korrosion. Å andra sidan om syrehalten minskar ökar återupplösningen av järn. Vi måste skapa sådana förhållanden att syrehalten framför allt inte blir för låg. Det gör vi genom "förebyggande vård" av huvudledningarna så att inte lossryckta korrosionsprodukter når ändledningarna.

Vårt problem är alltså att hindra syret att nå rörväggen. Följande är härvid att beakta.

- 1) Om de Fe^{2+} -joner som lämnar rörväggen tillsammans med vattnets andra komponenter bildar täta korrosionsavlagringar försvåras syretransporten intill rörväggen och korrosionshastigheten minskar.
- 2) Om vattnets komponenter t ex kalcium och karbonat innehåll påverkas av pH-höjningen som sker vid väggytan och bildar avlagringar så försvåras syretransporten och korrosionshastigheten minskar.
- 3) Om vattnets strömningshastighet är sådan att det tunna vattenskikt som finns närmast väggytan minskar i tjocklek till följd av ökad strömningshastighet eller turbulens, ökar möjligheten för syre att nå rörytan och härvid ökar korrosionshastigheten. Vice versa gäller när vattnet strömmar sakta (laminär strömning), Lind Johansson E, 1989.

Vilka typer av avlagringar ger täta skyddsskikt?

Det är vattnets naturliga komponenter i kombination med korrosionsprodukter dvs Fe^{2+} och OH^- -joner som skall bilda ett tätt skyddsskikt i järnrör.

Den klassiska teorin var att man ansåg att kalciumkarbonat tillsammans med järn bildade ett s k kalk-rotskyddsskikt. För att beskriva när och om detta var möjligt beräknades det s k Langliers index (och även andra index) som angav om vattnet var i kalk-kolsyrejämvikt eller inte. Denna teori har i flera fall visat sig felaktig och har därför övergivits även om kalcium och karbonatjoner fortfarande har betydelse för att åstadkomma täta skyddsskikt. Orsaken är dock en annan än den som Langliersindex-metoden anger.

En annan modell, den s k sideritmodellen, antar att bildning av järnkarbonat och dess fortsatta oxidation till götit ger det verksamma skyddet mot fortsatt järnkorrosion. Flera faktorer kan omöjliggöra denna process.

Om de från järnröret frigjorda tvåvärda järnjonerna snabbt oxideras vidare av vattnets syre (t ex i rör där strömningshastigheten är hög där ju syre lätt kommer in till rörytan eller i mjuka obuffrade vatten där pH-värdet stiger kraftigt vid rörytan till följd av korrosionsprocessen), sker en bildning av FeOOH . Att höja pH för att oxidera järn är ju en känd teknik som man använder för att rena t ex grundvatten. Man oxiderar det tvåvärda järnet till trevärt och filtrerar bort den "fluffiga" fällningen. Sådan fällning vill man inte ha t ex i en ändledning.

Av det ovan sagda framgår således att vi i ett mjukt obuffrat vatten i ledningsnät med hög strömningshastighet får en hög korrosionshastighet och minimal skyddsskiktsbildning. Korrosionsprodukter transporteras i väg till delar av nätet där strömningshastigheten är låg eller till och med noll och korrosionsprodukter sedimenterar och skapar förhållanden för andra korrosionsförlopp t ex mikrobiologisk korrosion, avlagringskorrosion och även återupplösning av korrosionsprodukter under helt andra redox-förhållanden.

Resultatet blir att vi måste minska korrosionshastigheten av järn i huvudnätet för att minska problemen i ändledningar.

Om vi antar att siderit-modellen gäller är det viktigt att veta vilka faktorer som påverkar skyddsskiktsbildningen positivt.

Eftersom vi vill ha en bildning av järnkarbonat och en långsam fortsatt oxidation är det väsentligt att bibehålla järnet i den tvåvärda formen dvs i den form det lämnar rörväggen. I litteraturen finns modeller uppställda som anger vilka ämnen och deras inbördes påverkan på hur koncentrationen av det tvåvärda järnet förändras i tiden vid olika pH-värden och syrekonzentration, Stum och Lee 1961.

$$\frac{d [\text{Fe(II)}]}{dt} = -K [\text{Fe(II)}] [\text{OH}^-]^2 \text{PO}_2$$

Av ekvationen framgår bl a att ett högt pH (vid rörytan) snabbt minskar Fe^{2+} -koncentrationen. (Koppar kan för övrigt accelerera denna process.) Vätekarbonat bidrar till att minska pH-höjningen vid rörytan dvs vätekarbonat försvårar oxidationen av Fe^{2+} som ju var beroende av högt pH. Vätekarbonat omvandlas härvid till karbonat. Hög vätekarbonathalt bidrar också till att ge högre koncentration av karbonatjoner vilket ju är en förutsättning för att bilda järnkarbonat. Kalcium uppges minska oxidationen av Fe^{2+} . Kalcium kan även ingå i skyddsskiktetsbildningen och ge skiktet en tät struktur.

Organiskt material bidrar också till att minska oxidationen av Fe^{2+} och genom komplexbildning fördröja utfällning av vissa produkter. En långsam bildning av korrosionsprodukter ger tätare skyddsskikt än en snabb utkristallisation. Så är fallet både med järnkarbonat och med kalciumkarbonat. Även vattnets strömningshastighet har betydelse för hur olika produkter utkristalliserar. Så är t ex hög strömningshastighet av positiv betydelse för utfällning av kalciumkarbonat liksom är fallet när man doserar vissa korrosionsinhibitorer.

Lämplig vattenkvalitet

För att minska korrosionshastigheten i ett distributionssystem där järnrör ingår bör man därför först se till att vattnet inte från början innehåller partiklar, höga järn- och manganhalter och höga halter av organiskt material dvs ämnen som ger upphov till slambildning och därav förorsakad korrosion t ex mikrobiologisk korrosion. Dessutom bör vattensammansättningen vara sådan att ett effektivt och fastsittande skyddsskikt utbildas i huvudledningar så att inte korrosionsprodukter förs vidare och försvårar och saboterar skyddsskiktetsbildningen även i ändledningar.

Enligt siderit-modellen bör vattnet ha

- en viss vätekarbonathalt ($> 60 \text{ mg HCO}_3^-/\text{l}$)
- en viss kalciumhalt ($> 20 \text{ mg Ca/l}$)
- låg salthalt
- ett pH-värde 7-8

Om man har ett distributionsnät där flera material ingår, vilket är vanligt, måste vattensammansättningen bli en kompromiss. Kopparrör kräver en helt annan vattensammansättning, högre pH och lägre kalciumhalt. Betongrör eller cementbruksisolerade järnrör kräver vatten med låg halt av aggressiv kolsyra, vilket ofta i mjuka vatten betyder att pH bör vara högre än 8. Det betyder att cementbaserade rör och kopparrör passar bra ihop, medan cementbaserade rör och järnrör passar mindre bra ihop.

ENKÄT TILL SVERIGES KOMMUNER OM FÖRNYELSE AV VA-NÄTEN - RESULTAT

av Olle Ljunggren

Under sommaren 1988 sändes till alla landets kommuner en enkät med frågor om förnyelse av va-ledningsnäten. Enkäten ingår som ett led i pågående forskning om ledningsteknik vid institutionen för VA-teknik vid Chalmers tekniska högskola och frågorna behandlade såväl reinvesteringarna i va-näten och använda renoveringsmetoder, som en bedömning av de viktigaste problemtyperna i va-näten. I enkäten ingick även frågor om framtida reinvesteringar, samt om vilken förnyelsestrategi som tillämpas i kommunen.

Svar inkom från 112 kommuner, representerande 60% av den till vattenledningsnäten anslutna befolkningen och 50% av längden av de kommunala vattenledningsnäten.

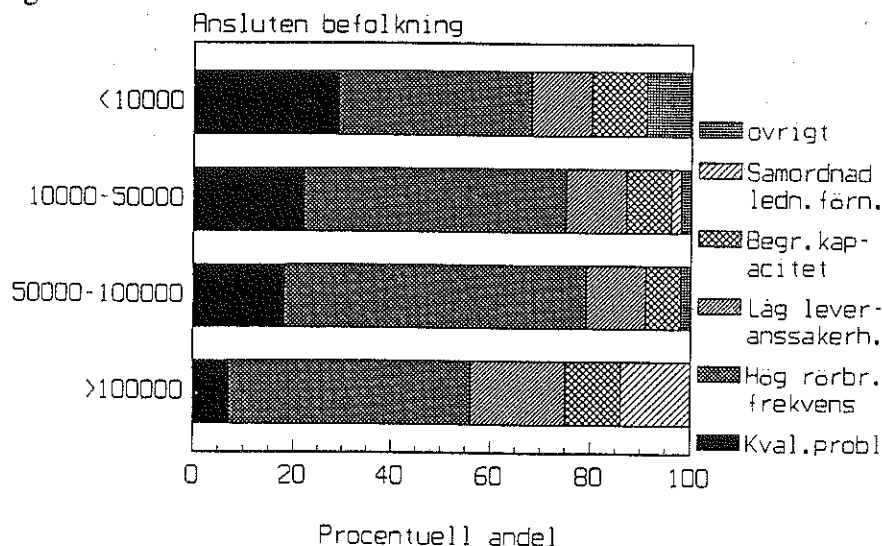
Resultatet av enkäten kan kortfattat sammanfattas enligt följande:

Orsaker till förnyelsebehovet

I enkäten frågades om hur stor andel av förnyelsebehovet som olika problemområden i va-näten svarar för. Enkätsvaren har viktats i förhållande till ansluten befolkning till vattenrörnätet i respektive kommun.

Vattenledningar

Största delen av förnyelsebehovet, 52%, uppkommer som en följd av hög rörbrottsfrekvens inklusive yttre korrosionsproblem. Kvalitetsproblem svarar för 15% av förnyelsebehovet, varav 9% förorsakas av missfärgat vatten och 6% av mikrobiologiska problem. 15% av reinvesteringar beror på låg leveranssäkerhet och 9% på begränsad kapacitet i nätet. 9% beror på icke specificerade problem, och anges främst vara samordnad ledningsförnyelse. Fördelningen av problemen på olika kommunstorlekar framgår av nedanstående figur.

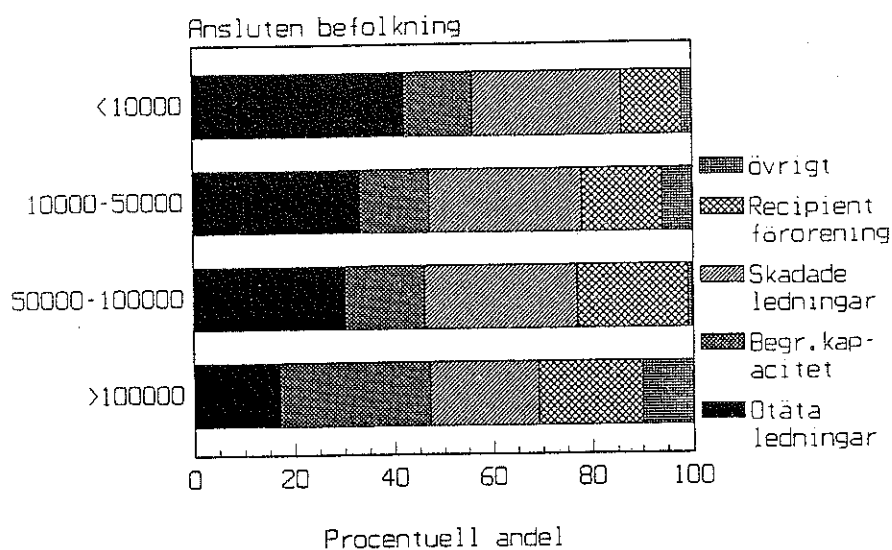


Som synes är kvalitetsproblemen mera uttalade i de mindre kommunerna (30%) jämfört med de större (17%).

Avloppsledningar

Förnyelsebehovet för avloppsledningar bedöms främst förorsakas av skadade ledningar med risk för avloppsstopp och av otäta ledningar med stort inläckage, vilka svarar för 28 respektive 26% av reinvesteringarna. Begränsad kapacitet med risk för källaröversvämningar och risk för föroreningar av recipient (inklusive ombyggnad av kombinerade system till duplikatsystem) svarar för vardera ca 20% av reinvesteringarna. Övriga problem inklusive samordnad förnyelse svarar för 6% av förnyelsebehovet.

Fördelningen av problemen på olika kommunstorlekar framgår av nedanstående figur.



Problemen med otäta ledningar bedöms svara för en större andel av förnyelsebehovet i de mindre kommunerna (42%) i jämförelse med de större kommunerna (16%) medan problemen med begränsad kapacitet och risk för källaröversvämningar dominerar i de större kommunerna (30%).

Investeringar

Redovisade siffror avser hela riket och har beräknats genom att anta att erhållna svar är representativa för samtliga kommuner.

Vattenledningar

	1987		1997
	Budget Mkr	Bedömt behov Mkr	Bedömt behov Mkr
Omläggning	272		(71%)
Renovering	38		(29%)
Totalt	310	450	900

Reinvesteringarna uppgår idag till ca 70% av det bedömda behovet. Reinvesteringsbehovet bedöms om 10 år nå en nivå som är nästan tre gånger så hög som den nuvarande reinvesteringstakten.

För närvarande domineras reinvesteringarna av omläggning. Renoveringarnas andel av reinvesteringarna bedöms öka från 10-15% idag till 25-30% om 10 år.

Avloppsledningar

	1987		1997
	Budget Mkr	Bedömt behov Mkr	Bedömt behov Mkr
Omläggning	460		(66%)
Renovering	70		(34%)
Totalt	530	670	1370

Reinvesteringarna uppgår idag till ca 80% av bedömt behov. Reinvesteringsbehovet bedöms om 10 år nå en nivå som är ca 2,5 gånger så hög som nuvarande reinvesteringstakt.

Även för avloppsledningarna domineras reinvesteringarna av omläggning. Renoveringarnas andel av reinvesteringarna bedöms öka från 10-15% idag till 30-35% om 10 år.

Renoveringsmetoder

Vattenledningar

Helt dominerande renoveringsmetod är relining med PE-rör, som svarar för uppskattningsvis 80% av all renovering. Av detta utgörs ca 10% av relining i samband med rörspräckning. Resterande 20% utgörs av cementisolering efter rensning av ledningarna. Övriga renoveringsmetoder svarar för mycket liten del av renoveringsvolymen.

I framtiden bedöms, förutom de idag använda metoderna, de olika strumpmetoderna vara av intresse. Avgörande för utvecklingen är om de använda materialkvaliteterna kan visas ge en godtagbar vattenkvalitet. Metoder för utbyte av ledningar (serviser) med hjälp av jordrobot anses också intressanta.

Avloppsledningar

Renoveringsmetoderna domineras av relining med PE- eller PVC-rör, som utgör ca 60% av investeringarna. Av dessa renoveringsarbeten utföres ca 20% i kombination med rörspräckning. Strumpinfodring utgöres av ca 30% och fogtätning av ca 10% av investeringarna i renoveringsarbeten.

De metoder som bedöms vara mest intressanta i framtiden är de som redan används idag. Metoder för tätning av serviser och för tät anslutning av dessa till huvudledningen efterfrågas.

Förnyelsestrategi

I huvudsak sker förnyelse av akuta problemledningar, dels med motiveringen att detta är mest ekonomiskt och dels på grund av brist på resurser. En strävan mot mera samordnad förnyelse av större problemområden kan märkas i kommentarerna. I valet mellan omläggningsteknik och renoveringsteknik tillämpas av de flesta en kombination av teknikerna, men flera kommuner renoverar inte några ledningar eftersom renovering inte anses ekonomiskt konkurrenskraftigt med omläggning. En tredjedel av kommunerna tillämpar korrosionskontroll av vattnet vid vattenverken, för att minska behovet av förnyelse av vattenledningsnätet.

ENKÄT TILL SVERIGES KOMMUNER OM VATTENKVALITETS- PROBLEM I ÄNDLEDNINGAR

av Torsten Hedberg

Inledning

Inom Ledningsteknikgruppen på Chalmers tekniska högskola studerar vi för närvarande både dricksvatten- och avloppsvattentransport. Ledningsteknikgruppen består av institutionerna för VA-teknik, Vattenbyggnad och Geoteknik med grundläggning.

Ett projekt berör ändledningar och avsikten med projektet är att klargöra vilka åtgärder som är lämpliga att vidta för att minska vattenkvalitetsproblem som uppstår i sådana ledningar.

Vi har genomfört vissa kvalitetsmätningar inom olika områden i Göteborg och studerat effekten av en cementbruksinfodring på järnrör som ligger efter det cementbruksinfodrade röret. Detta projekt redovisas under separat titel i denna rapport.

Som ett komplement till försöksverksamheten utsändes en enkät till landets kommuner vid årsskiftet 88/89. I enkäten efterfrågades en allmän bedömning av problem med ändledningar och vilka åtgärder som eventuellt vidtagits på fältet för att motverka kvalitetsstörningar.

Allmänt om enkäten

I enkäten har frågor ställts i tre grupper som motsvarar följande kategorier.

- I Problem med ändledningar förekommer inte
- II Problem med ändledningar har förekommit men har minskats genom vissa åtgärder
- III Problem med ändledningar förekommer trots att vissa åtgärder prövats

I många kommuner finns flera olika vattentäkter och olika distributionsområden och följaktligen olika vattenkvalitet och rörnätsmaterial. Några har svarat separat för de olika försörjningssystemen. Men här måste man nog klart framhålla att de flesta svaren avser en genomsnittsuppfattning av problem eller ej problem. Att göra en detaljstudie av de olika försörjningssystemen var ej heller avsikten med denna enkätstudie.

Relativt många har svarat att man ej har problem med ändledningar trots att man regelbundet spolar ledningar. Om man skulle få problem om man slutade spola ger inte enkäten svar på. Å andra sidan; spolning i förebyggande syfte är alltid positivt men just i det här fallet blir svaren på fråga I svårbedömda då spolning förekommer eftersom en del kommuner anser att spolning tyder på att problem är för handen.

Vi har inte heller i enkäten bett att få olika material i ändledningar kvantifierade i ledningslängder och dimensioner. Detta kräver omfattande arbete. Vi har bara bett om vilket material som är vanligast.

Fråga II ger kanske den viktigaste upplysningen, dvs vad man har vidtagit för åtgärder för att få mindre kvalitetsproblem i ändledningar.

Fråga III ger möjlighet för dem som har problem att ange olika orsaker.

I enkäten fanns en fråga om vattenbeskaffenhet. Denna uppgift har besvarats dåligt. Uppgifter om vattenkvalitet har därför måst hämtas ur allmän VAV-statistik.

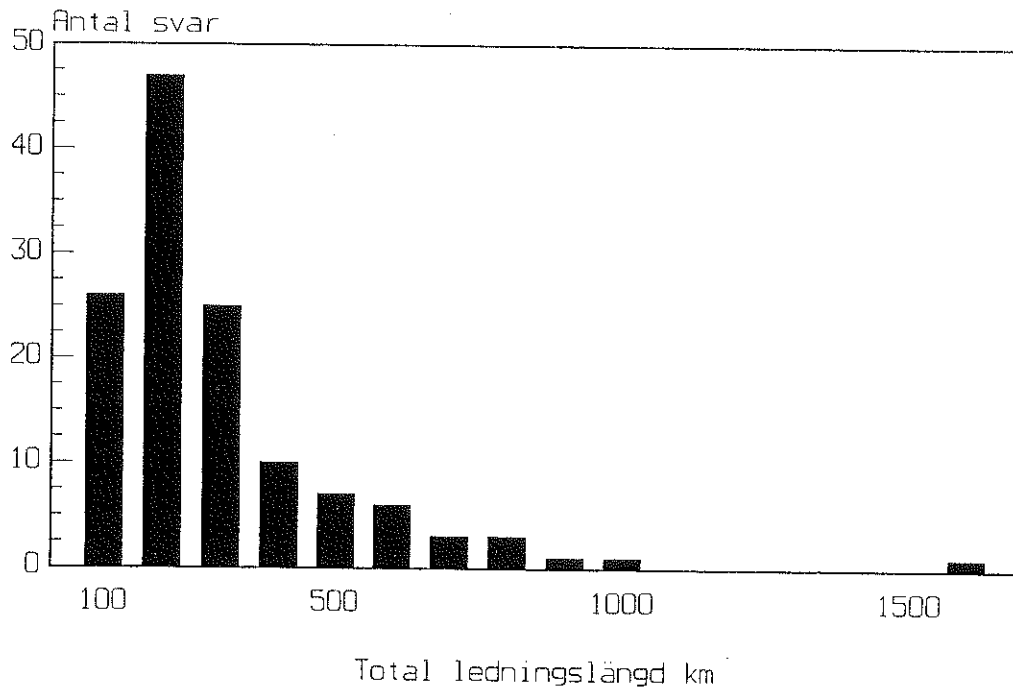
I enkätsvaren har vissa uppgiftslämnare svarat under alla kategorier I, II och III. Det kan ju vara så, vilket är vanligt, att man inom kommunen har områden utan problem, med åtgärdade problem och med kvarstående problem. Men enkätsvaret är svårtolkat.

Vad som menas med problem i ändledningar har ej preciserats. Det kan säkerligen vara alltifrån otjänligt vatten till enstaka förhöjda analysvärden, från upprepade klagomål till enstaka, från ofta förekommande reparationer till enstaka, från att man måste spola ofta till mindre ofta osv.

Enkätsvaren måste ses mot denna bakgrund och som all statistik tolkas med försiktighet.

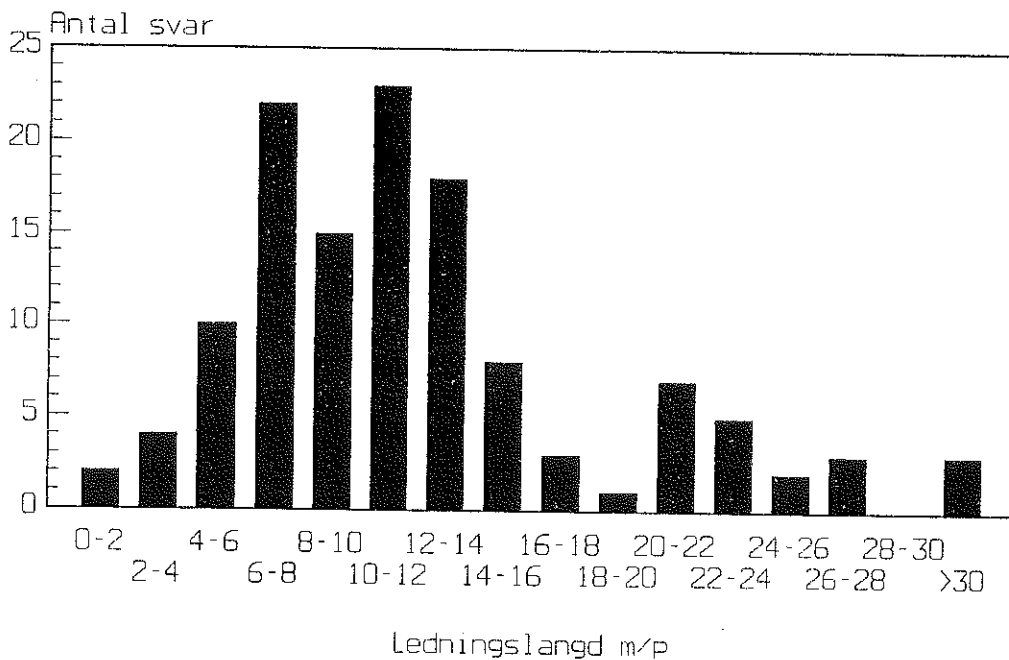
Svarsprocent

143 kommuner har svarat på enkäten. Detta representerar ca 55% av det totala ledningsnätet i Sverige. Även baserat på folkmängd representerar svaren mer än 50% av folkmängden. Svar har inkommit från både stora och små kommuner vilket framgår av figur 1 där antal svar är uppdelat efter ledningsnätens längd.



Figur 1. Den totala ledningslängden i kommun som svarat på enkäten.

I kommunerna varierar ledningslängd per person och inkomna svar har även uppdelats efter antal meter per person, figur 2.



Figur 2. Ledningslängder i m/p i kommunen.

Av figuren framgår att vi har fått svar från såväl tätbebyggda som glesbebyggda områden.

Resultat av enkätundersökning

Vattenkvalitetsförändringar i ändledningar kan bero på ett flertal faktorer såsom:

Levererad vattenkvalitet
 Förändrad vattenkvalitet i huvudnätet
 Rörmaterial (i förhållande till vattenkvalitet)
 Ledningens dimension
 Ledningens ålder
 Variation mellan flera olika material
 Uppehållstid
 Huvudnätets utformning och dynamik
 Vattenförbrukningsvariation under olika årstider
 Skötsel och rengöring av reservoarer och ledningar
 M fl

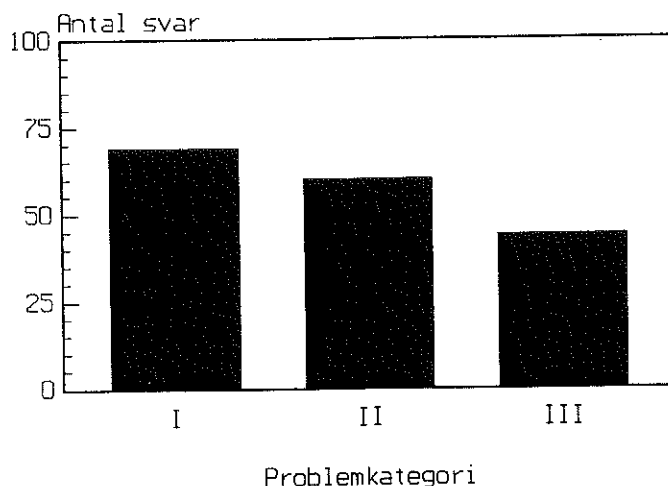
I enkäten kan inte alla dessa faktorer belysas. Enkäten kan endast ge översiktlig betydelse av vattenkvalitet och rörmaterial samt ge förslag på lämpliga åtgärder för att minska problemen.

Fördelning av enkätsvar på de tre frågeställningarna

På de tre frågeställningarna

- I Har ej "problem" (även om vissa spolningar förekommer)
- II Har haft men har ej längre "problem" till följd av att åtgärder satts in
- III Har "problem" trots att vissa åtgärder eventuellt prövats

fördelar sig svaren uttryckt i antal fall

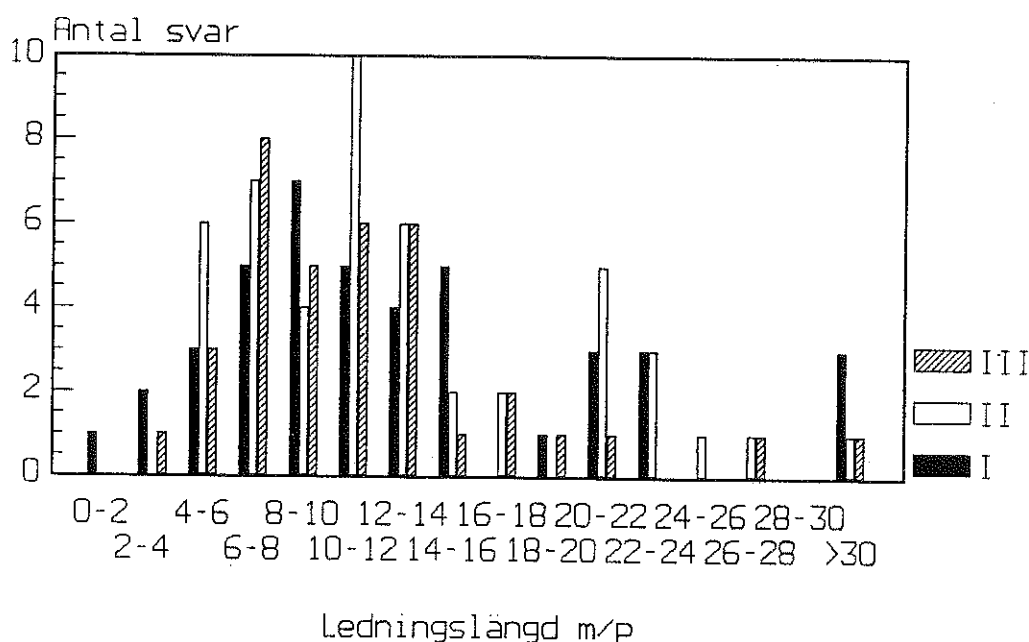


Figur 3. Fördelning av enkätsvar på de olika problemkategorierna I, II och III.

I den fortsatta analysen kommer inte alla dessa svar att kunna användas beroende på ofullständigt svar på vissa delfrågor.

Har antalet meter per person betydelse för vattenkvalitetsproblemet?

Man kan eventuellt misstänka att glest befolkade försörjningsområden skulle medföra större problem än tätbefolkade områden. I VAV-statistiken finns uppgifter på m/p. Dessa värden är dock genomsnittsvärden och kan variera stort inom förbrukningsområdet. För alla frågekategorier I, II och III har betydelsen av ledningslängden per person undersökts varvid följande figur erhöles.



Figur 4. Svarkategori I, II och III uppdelad på ledningslängd per person.

Denna bearbetning ger ingen anvisning om ett ökat problem i glest befolkade områden.

Vid genomläsning av alla enkätsvaren får man en uppfattning intuitivt om vad som påverkar och förorsakar problem i ändledningar men eftersom en hel rad fakta inte tagits fram i denna enkät blir ju osäkerheten stor vid ett närmare granskande. Dock verkar levererad vattenkvalitet vara av stor betydelse och likaså om man har järn eller plast i ändledningar. Plast av olika typer verkar inte ge "problem". Åtminstone inte tydliga problem. Utom i ett par tre fall där man nämnt att bakterier kan vålla vissa kvalitetsproblem.

Eftersom vattenkvalitet verkar vara av betydelse så låt oss titta på den lite närmare. Tidigare forskning har klart påvisat att ett hårt, vätekarbonatrikt vatten minskar problem med järnkorrosion. Tyder även enkätsvaren på detta? Här skiljer vi mellan ett "hårt" vatten $\text{Ca} > \sim 20 \text{ mg/l}$; $\text{HCO}_3 > \sim 60 \text{ mg/l}$ och ett "mjukt" vatten. I denna undersökning finns stora variationer i vattenkvalitet och fler faktorer än hårdhet och vätekarbonat påverkar järnkorrosion. Ett problem som dyker upp i undersökningen är grundvatten med järn och mangan som åstadkommer ändledningsproblem. Järn och mangan avsätts och härvid kan naturligtvis mikrobiologisk korrosion förvärra situationen.

För mikrobiologisk korrosion spelar även nedbrytbarheten av den organiska substansen stor roll. I denna undersökning tvingas vi nog utelämnas betydelsen av organisk substans även om man inte borde. Grundvatten även med måttlig halt av organiska ämnen kan ge mikrobiologisk aktivitet.

pH-värdet är av stor betydelse och kan variera tidsmässigt och längs ledningsnätet. De uppgifter som lämnats ligger mellan 7,5-9. Men eftersom denna undersökning ej speglar verkligheten i denna fråga bortser vi även från pH-värdets betydelse.

Klorider och sulfater har betydelse men anses här ligga inom ett relativt snävt intervall så att vi bortser från dess betydelse.

Desinfektionsmedel påverkar sannolikt vattenkvalitet i ändledningar varför vi försöker skilja på användning eller ej.

Spolning av vattenledningar används tydligen i både förebyggande syfte och för att minska problem som rapporteras.

Om ändledningar är av järn- eller plastmaterial verkar vara av stor betydelse.

Med dessa reservationer redovisas svarsbilden för de olika kategorierna I, II och III.

Tabell 1. Antal svar för kategori I (63 av 69 fall redovisade).

	Segjärn, galv, plast						Plast					
	Des		Ej des		Ej ang		Des		Ej des		Ej ang	
	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N
Hårt vatten	7	4	3	11	2	2	1	13	2	11	-	-
Mjukt vatten	-	2	-	2	-	-	1	2	-	-	-	-

Des = desinfektion förekommer

Ej ang = uppgift saknas

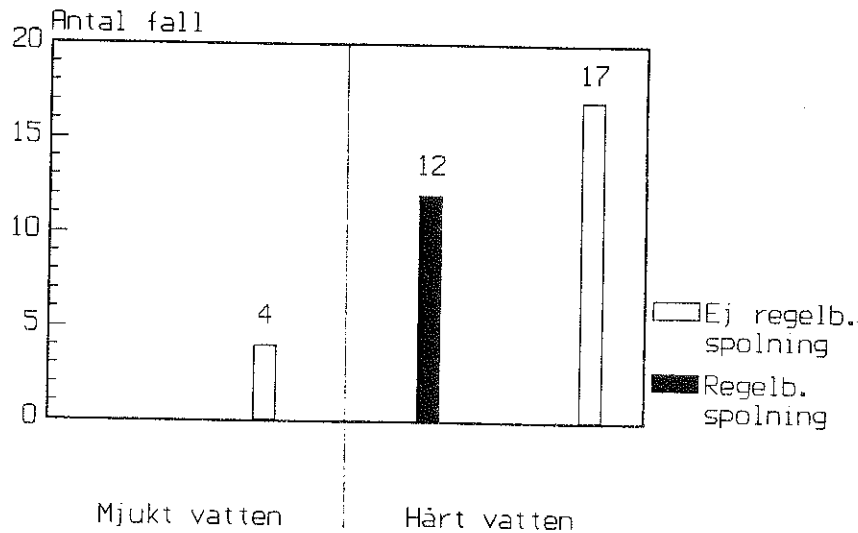
J = spolning sker regelbundet

N = spolning sker ej

Det man kan se är att det är övervägande hårda vatten som hamnar i denna kategori I. De "mjuka" vatten som förekommer ligger faktiskt på gränsen mot s k "hårda" vatten. Många använder desinfektionsmedel och många har ej desinfektion på nät. Många spolrar regelbundet men många gör det inte. Eventuellt finns en tendens till att hos de som har blandat rörmaterial, förekommer regelbunden spolning oftare än hos de som har plaströr vilket kanske tyder på att problemen med ändledningar löses genom spolning. Man

kanske då kan hävda att de som spolat och svarat under kategori I snarare borde ligga under kategori II dvs har löst problemen medelst spolning.

Om vi i denna kategori bara tar hänsyn till blandat material, ej till om man använder desinfektionsmedel eller ej, blir bilden av svaren följande.



Figur 5. Antal fall för kategori I uppdelat på "mjukt" och "hårt" vatten.

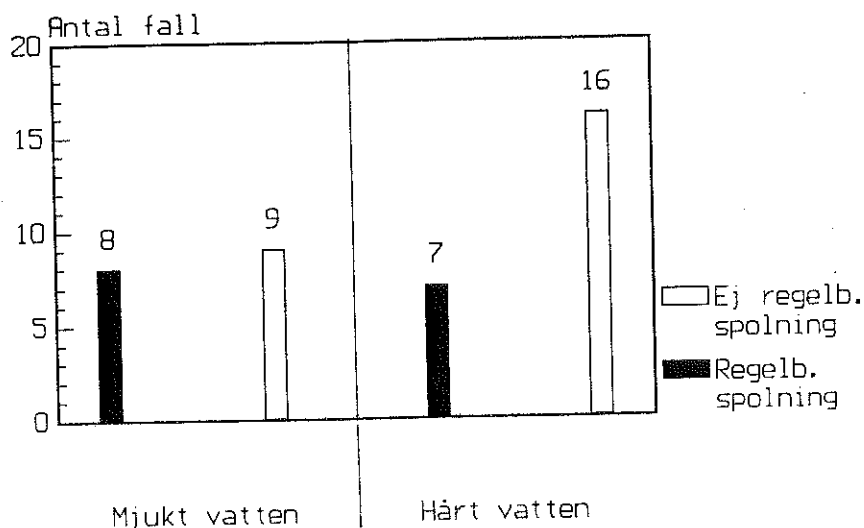
Vid en närmare analys av kategori III "har problem" finner man följande svarsalternativ.

Tabell 2. Antal svar från kategori III (alla svar representerade)

	Segjärn, galv, plast						Plast					
	Des		Ej des		Ej ang		Des		Ej des		Ej ang	
	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N
Hårt vatten	7	-	4	15	-	1	-	-	-	-	-	-
Mjukt vatten	7	3	-	4	1	2	2	-	-	-	-	-

Det uppenbara är att det är få som har plaströr som vanligaste material i denna kategori. Detta kan tolkas så att plaströr ej ger problem. Det är också fler mjuka vatten representerade i denna kategori än i kategori I.

Orsakerna till problemen anses i de flesta fallen vara alltför grova ledningar med dålig omsättning. Många anger även problem med järn och mangan i vattentäkt som orsak.



Figur 6. Antal fall för kategori III uppdelat på "mjukt" och "hårt" vatten.

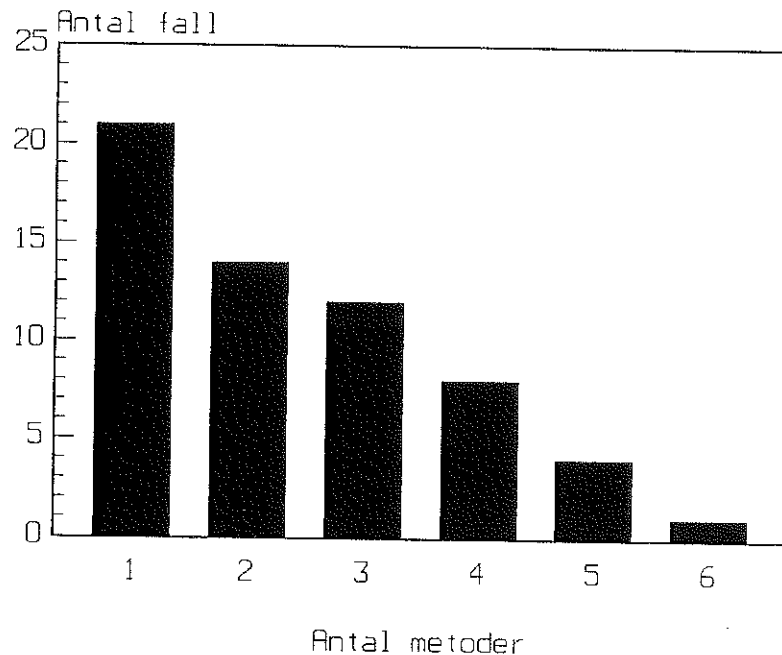
Humushaltigt råvatten skapar problem. Både övergång från grundvatten till ytvatten och vice versa har angetts som orsaker i enstaka fall. Blandning av olika vatten på nät har nämnts som orsak till problem även vid "hårda" vatten.

Kategori II, dvs de som haft problem och löst dem representeras av 60 fall.

För att lösa problemen har en eller flera metoder tillämpats samtidigt. Många kombinationssätt har tillämpats. Följande sammanställningar av resultaten erhöles:

Vattenkvalitetsförändring i levererat vatten	48%
Upprättande av spolplan	48%
Omkopplingar på nätet	35%
Läggning av nya plaströr	26%
Infodring med plaströr	20%
Ändrat desinfektion	21%
Infört desinfektion	(8%)
Upphört med desinfektion	(5%)
Ändrat desinfektion	(8%)
Enbart rensat	8%
Rensat i kombination med vattenkvalitetsförändring	7%

Flera kommuner har alltså tillämpat flera metoder. Bilden av detta ser ut enligt fig 7.



Figur 7. Antalet samtidigt använda metoder för att lösa vattenkvalitetsfrågor i ändledningar.

Beträffande vattenkvalitetsförändring har många infört hårdhetshöjning eller korrosionskontroll. Dessa representerar en tredjedel av fallen. I ca 8% av fallen har åtgärder vidtagits för att minska järn- och manganproblem.

Många har upprättat en spolplan. Många olika metoder tillämpas för spolning. Det vanligaste är utan tvekan spolning via brandpost eller spolpost. Att ha en brandpost på rinn tillämpas relativt ofta. Luft- och vattenspolning har tillämpats med något varierande resultat. De flesta anser att det är en bra metod.

Frekvensen av spolning varierar inom vida gränser; alltifrån vid behov till en gång i veckan. Vissa områden inom ett försörjningssystem kan behöva spolas oftare än andra.

Rensning av ledningar har prövats (ett tiotal fall har här rapporterats) ofta med kommentaren att enbart rensning ej löser problemen. Det krävs någon annan åtgärd också, t ex cementbruksinfodring, plaströrsindragning eller vattenkvalitetsförändring.

Slutsatser av enkätundersökningen

Varje vatten och varje distributionsområde är unikt varför varje åtgärd måste anpassas för varje fall.

Enkäten har översiktligt gett synpunkter och åsikter om de problem som finns i ändledningar. Även om relativt många kommuner har svarat så är antalet distributionsområden många fler och borde kanske ha behandlats var för sig.

Följande påståenden kan dock framställas till begrundan.

Levererad vattenkvalitet har stor betydelse för om problem skall uppstå i ändledningar eller ej. Vattnet bör ha en viss hårdhet och en viss vätekarbonathalt och låg halt av organiskt material för att ej problem i ändledningar av järn skall uppstå.

Denna enkät ger inga andra än ovan nämnda upplysningar om lämplig kvalitet fränsett att levererat vatten skall vara fritt från järn och mangan. Påståendena grundas på svaren som givits och fördelning i svar för de olika kategorierna I, II och III.

Plastledningar verkar ej ge problem. Man bör dock anmärka att i ett par tre fall har bakterieproblem omnämnts i samband med plastmaterial.

Omkopplingar och olika spolningssätt och frekvens löser problemen och ger åtminstone en rättvisare vattenkvalitet åt alla ty det är svårt att förstå att korrosion på järnmaterial skall minska genom dessa åtgärder.

Rensning av igensatta rör med mekaniska metoder bör kompletteras med andra metoder t ex förändrad vattenkvalitet eller cementbruksinfodring.

Om ändrade desinfektionsmetoder löser ändledningars problem är svårt att besvara med hjälp av denna enkät.

CEMENTBRUKSINFODRINGENS PÅVERKAN PÅ ETT EFTERLIGGANDE JÄNRÖR - ETT LABORATORIEFÖRSÖK

av Torsten Hedberg

Inledning

För att förbättra vattenkvalitet och speciellt åtgärda höga järnhalter i gamla järnrör är en åtgärd att rensa och cementbruksinfodra järnröret. Vanligtvis brukar pH-värdet höjas kraftigt efter en sådan åtgärd. Varaktigheten av pH-höjningen kan vara relativt lång. Höga pH-värden kan därvid negativt påverka och höja korrosionen på järnrör som finns kvar i ledningssystemet efter det rör som cementbruksinfodrats. I avsikt att undersöka om så är fallet har ett laborieförsök utförts med tre vatten med olika vätekarbonathalt och i viss mån olika kalciumhalt.

Laborieförsökets genomförande och omfattning

Laborieförsöken genomfördes på Alelyckans och Lackarebäcks vattenverk där tre olika vatten studerats. Vattens sammansättning framgår av tabell 1.

Tabell 1. Vattensammansättning i mg/l

	pH	HCO ₃	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
Vattentyp I	8,5	15	18	11	30
II	8,5	40	20	11	27
III	8,5	100	20	11	27

Vattentyp I representerades av utgående vatten från Alelyckans vattenverk.

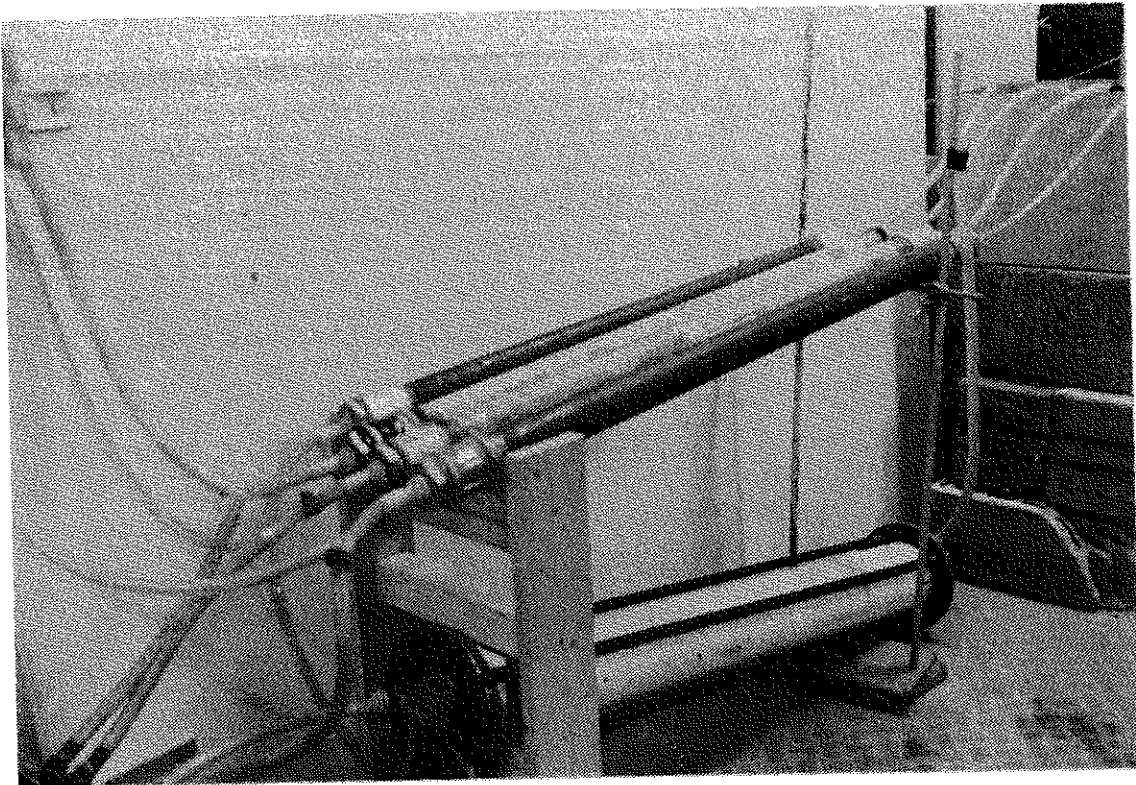
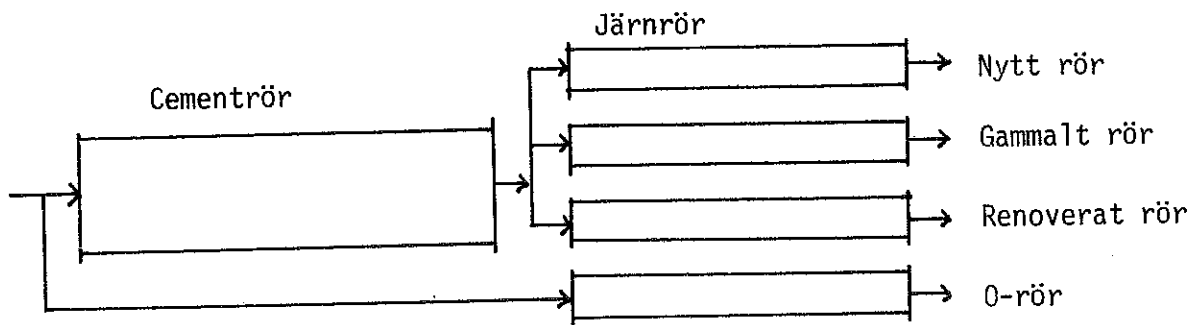
Vattentyp II representerades av utgående vatten från Lackarebäcks vattenverk där viss förhöjd dosering av kalk görs i kombination av en låg dosering av kolsyra (ca 10 mg CO₂ /l).

Vattentyp III representerades av utgående vatten från Lackarebäcks vattenverk, till vilket en natriumvätekarbonatlösning doserats.

Försöksanläggningen framgår av fig 1.

Ett cementbruksinfodrat järnrör på en meters längd med en diameter på 100 mm var placerat före tre stycken tvåtums järnrör också med en meters längd.

Av järnrören var ett nytt, ett var ett gammalt rör, som varit i bruk i Göteborg lång tid, kanske 20 år. Det tredje röret utgjordes av det gamla röret men som rensats med poly-pig-metoden. Som referens fanns också ett nytt järnrör som var anslutet direkt till inkommande vatten dvs hade inget cementrör framför sig.



Figur 1. Försöksanläggning. Princip och foto.

Genom anläggningen rann vatten tre gånger per dygn i ca 15 minuter. Däremellan stod vattnet stilla i anläggningen. Denna rutin används för att i viss mån efterlikna dynamiken i en ändledning.

Från de tre anläggningarna togs vattenprov en gång per vecka varvid pH och järnhalt analyserades. Prov för järn togs på rinnande vatten "vattenfas" samt på slam som samlats på järnrörens botten "slamfas". För att ta detta prov stoppades flödet och järnrören "skakades" varefter lossgjort slam hälldes ur rören. "Skakningen" antogs i viss mån efterlikna en störttappning.

Försöken pågick i 14 veckor dvs 100 dagar.

Resultat

I följande tre figurer (fig 2, 3 och 4) redovisas resultaten av försöken vad beträffar järnhalt i vattenfas och i slamfas.

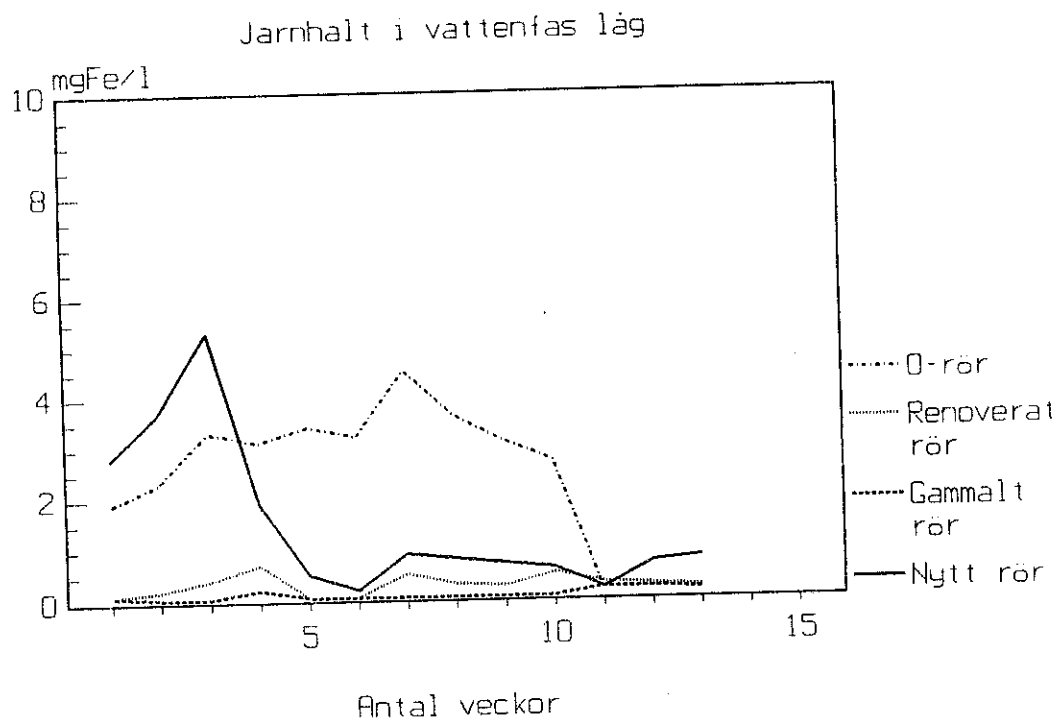
Det på ingående vatten direktkopplade järnröret startades två veckor senare än övriga rör, vilket gör att resultatkurvor från det direktkopplade röret egentligen borde förskjutas två veckor.

För att något studera syrehaltens och pH-värdets variation under en urtappningsperiod mättes dessa båda parametrar kontinuerligt vid ett tillfälle. Resultatet redovisas i fig 5.

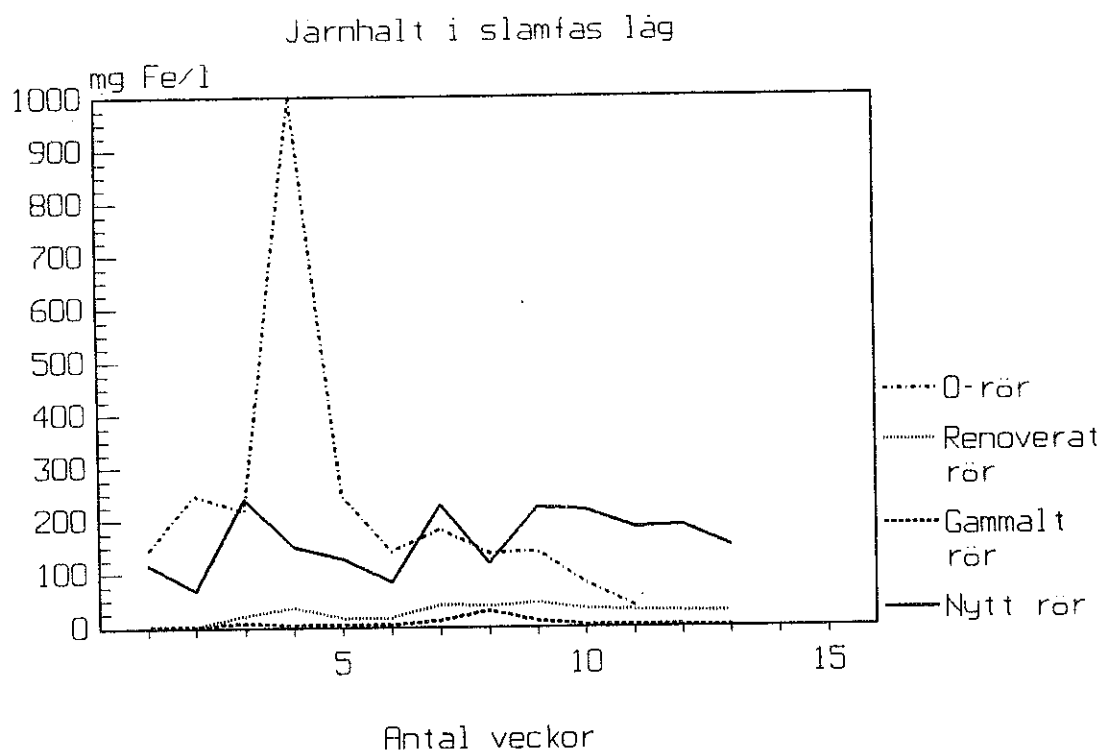
Från fig 5 syns att syrehalten efter stilleståndsperioden inte var lägre än 8 mg O₂/l och att den dessutom förhöjdes under urtappningsfasen och övermättnad uppnåddes.

Under försökscykeln var således syrehalten över ca 8 mg O₂/l. pH-värdet som hade stigit under stilleståndsfasen i cementröret minskade kontinuerligt under urtappningen. Efter 15 minuters urtappning hade pH-värdet för vattentyp II minskat ca 1 enhet från ca 11 till ca 10. Detta innebär att det höga pH som cementbruksinfodringen bidrog till inte kom att råda i järnröret under stilleståndsfasen som avsikten var. Skillnaden mellan de tre typvattnen blev därför i praktiken något mindre än beräknat. Det cementbruksinfodrade röret borde därför ha varit längre.

Resultaten i figurerna 2, 3 och 4 visar att den initiala korrosionsfasen är lång för nya rör. För gamla och reoverade rör finns naturligt inte denna fas. Man kan konstatera att påtagligt mindre svängningar i resultat erhålls med vattentyp III - det vätekarbonatrika. De direktkopplade rören erhåller vatten med ungefär samma pH-värde och det som skiljer korrosionsförloppet i dessa rör är främst vätekarbonathalt och i viss mån kalciumhalt.

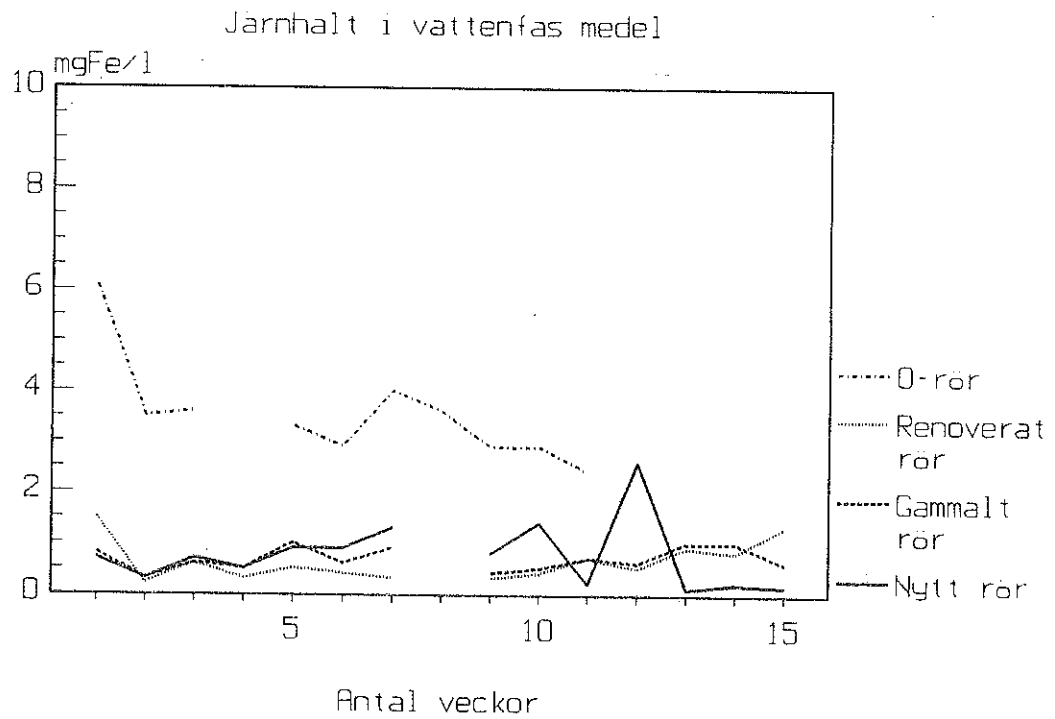


(a)

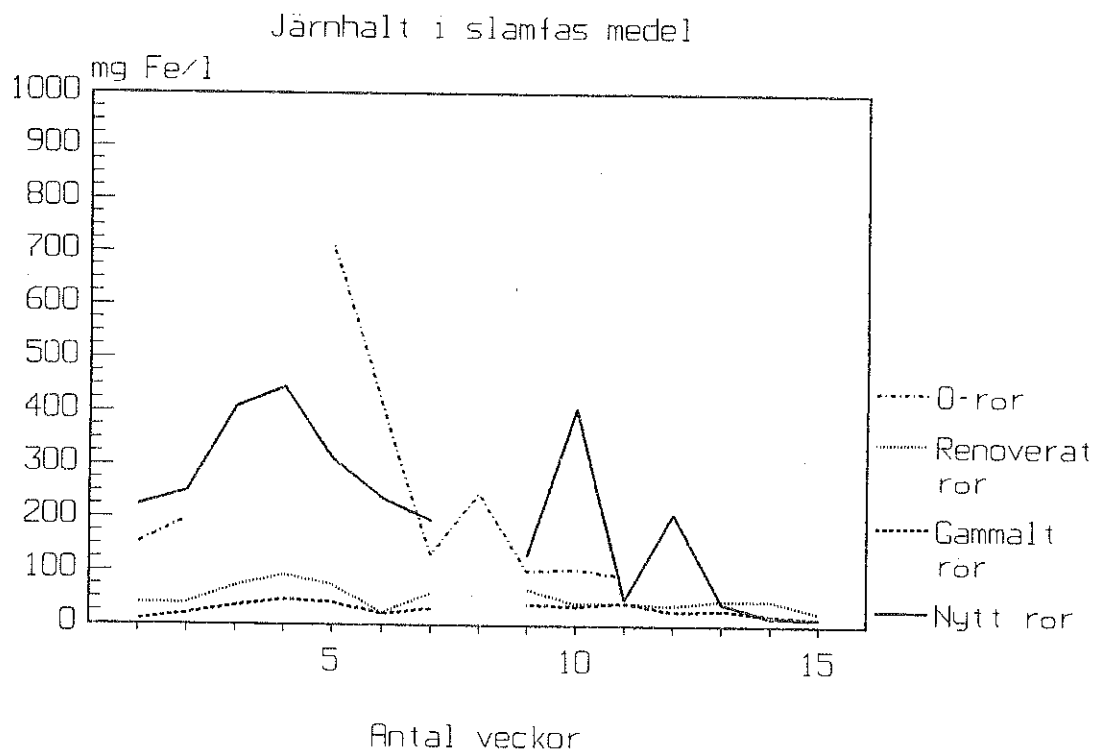


(b)

Figur 2. Resultat från försök med vattentyp I.

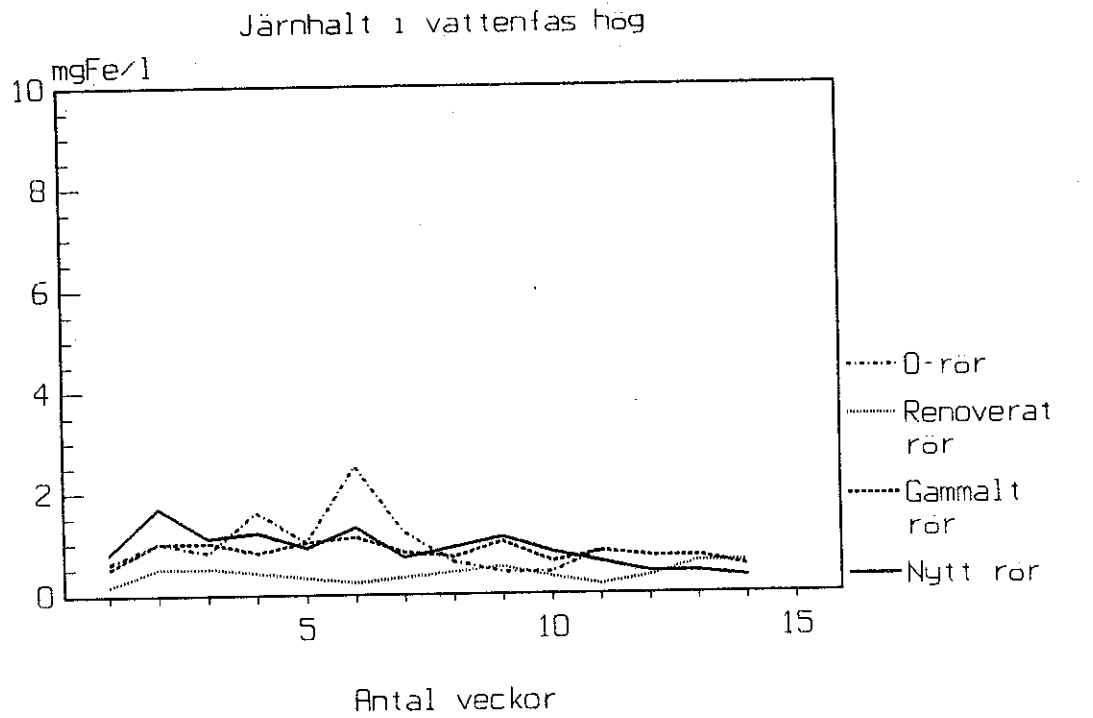


(a)

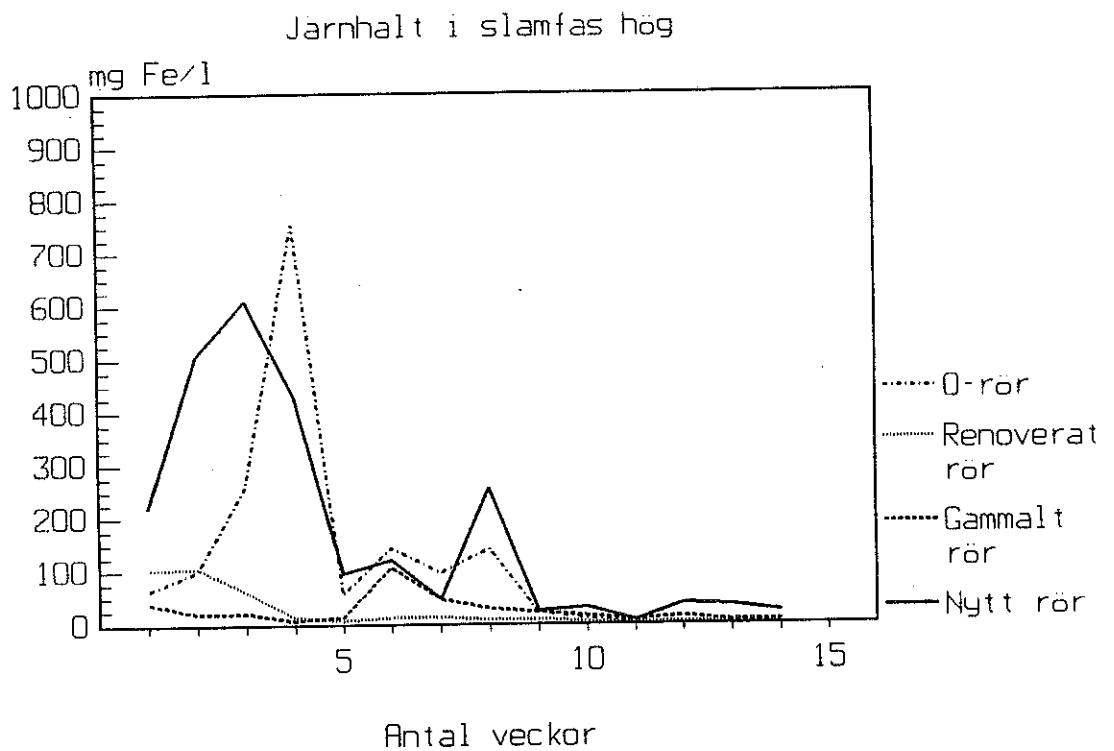


(b)

Figur 3. Resultat från försök med vattentyp II.

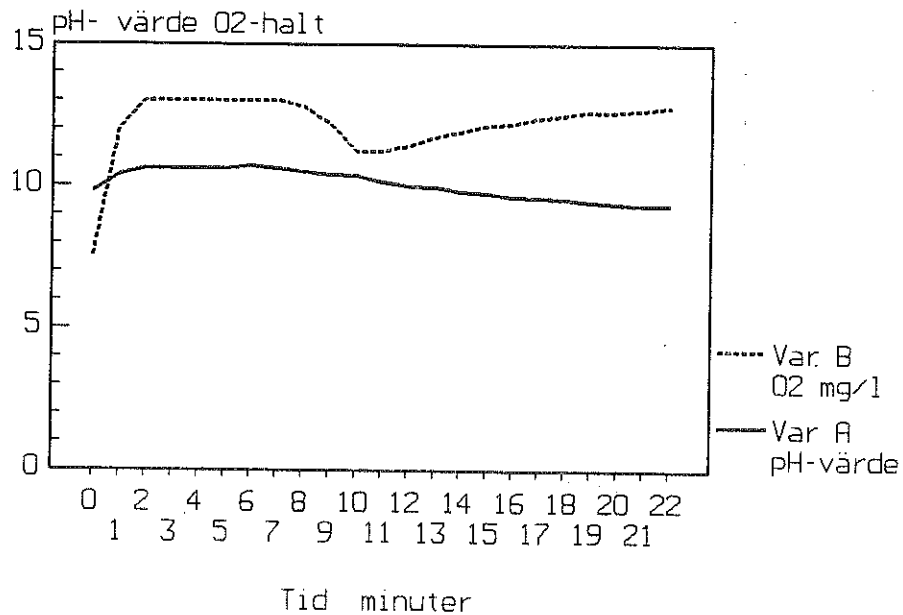


(a)



(b)

Figur 4. Resultat från försök med vattentyp III.



Figur 5. Syrehaltens och pH-värdets variation under en urtappningsperiod av 25 minuter. Vattentyp II.

Ett högt pH-värde bidrager till en ökad oxidation och utfällning av järnhydroxid vilket medför att vattenfasen får låg järnhalt, eftersom järnhydroxid har låg löslighet. Detta är tydligt för vattentyp I som har låg buffrande förmåga. Både korrosionsförlopp och naturligtvis cementbruksinfodring bidrar till att höja pH-värdet vid rörväggen.

Vattentyp III, det bäst buffrade vattnet, gav de lägsta halterna av järn i "slamfas" vilket pekar på att korrosionen är mindre vilket drastiskt minskar problem med kvalitetsförändringar i speciellt ändledningar.

Vattentyp II ligger någonstans mitt emellan - mindre "slamproblem" än vattentyp I men mer än för vattentyp III. Och eftersom vattentyp II har en viss buffrande förmåga höjs pH-värdet, dock inte tillräckligt högt för att en järnhydroxidutfällning skall bli effektiv för att ge ett klart vatten. Utfällning av järnhydroxid är inte önskvärd, eftersom den inte ger ett bra skyddsskikt. Det enda i längden accepterbara är att minska korrosionen genom bildning av täta skyddsskikt.

Slutsatser

Sammanfattningsvis har denna undersökning visat att vätekarbonathalten bör ha ett visst värde så att korrosionsprocessen påverkas tydligt. Måttliga höjningar kan upplevas som sämre än vätekarbonatfattigt vatten eftersom vattenfasens järnhalt blir högre.

I försöken kan också ses en skillnad mellan de tre rören, som är inkopplade efter ett cementrör för de olika vattenkvaliteterna.

För vattentyp I ger det gamla röret både lägst järnhalt i vattenfas och slamfas. De reoverade ger något högre värden.

För de andra vattentyperna II och III är förhållandena helt annorlunda framför allt när det gäller järnhalt i vattenfasen. I dessa vatten och i synnerhet i vattentyp III ger det gamla röret högre värden än det reoverade. Detta kan anses naturligt eftersom bildade avlagringar utsätts för ett helt nytt vatten. Dock verkar problemen avta. Konsekvenserna av detta blir, baserat på här redovisade resultat, att man i verkligheten bör vidta följande åtgärder om man har ett mjukt vatten som skapar problem med höga järnhalter.

- Ändra vattenkvaliteten och höj vätekarbonathalten tydligt och eventuellt kalciumhalten.
- Cementbruksinfodra gamla järnrör men se till att inga järnrör finns i flödesriktningen efter det cementbruksinfodrade röret. För att minska och hålla kontroll på pH-värdet kan även i detta fall lämpligen vätekarbonathalten höjas till en viss nivå som eventuellt kan vara lägre än då järnrör finns kvar i systemet. Vätekarbonathöjningens syfte kan alltså variera.

KORTEDALAPROJEKTET - UTVÄRDERING AV CEMENTBRUKS- INFODRING I ETT OMRÅDE I GÖTEBORG

av Olle Ljunggren

Sammanfattning

Inom projektet "renoveringsmetoder för vattenledningar" har ett renoveringsprojekt i Göteborg närmare följts upp. Projektet avser renovering av 1400 m gjutjärnsledningar från 1950-talet med dåligt inre ytskydd och därmed sammanhängande problem med tidvis hög järnhalt i vattnet.

Målet med renoveringen var i första hand att förbättra vattenkvaliteten, främst med avseende på järnhalt och i andra hand att öka ledningarnas kapacitet, samt att minska det diffusa läckaget.

Som renoveringsmetod valdes cementbruksisolering enligt Tates metod, främst eftersom rörmaterialet enligt driftstatistik och upptagna prover bedömdes vara i gott skick och dels för att servisledningarna är av koppar, med mycket låg driftstörningsfrekvens. Med den valda metoden erfordras inte uppgrävning av servisanslutningarna utom i undantagsfall. Arbetet förflöt smidigt, med en total kostnad per meter renoverad ledning på 895 kronor, vilket bedöms vara mindre än hälften av kostnaden för nyanläggning. Järnhalten i vattnet inom det renoverade området har minskat avsevärt. Eftersom endast en del av det äldre römnätet renoverats är järnhalten på det vatten som matas in i området relativt hög, vilket innebär att en del av detta järn sedimenterar i ledningarna vid låg vattenomsättning, vilket tidvis kan ge upphov till hög järnhalt i vattnet.

Efter cementbruksisoleringen steg pH-värdet till höga värden, vilket fordrade att ledningarna genomspolades kontinuerligt. Efter 20 månader har pH-värdet sjunkit till ca pH 10, utan spolning.

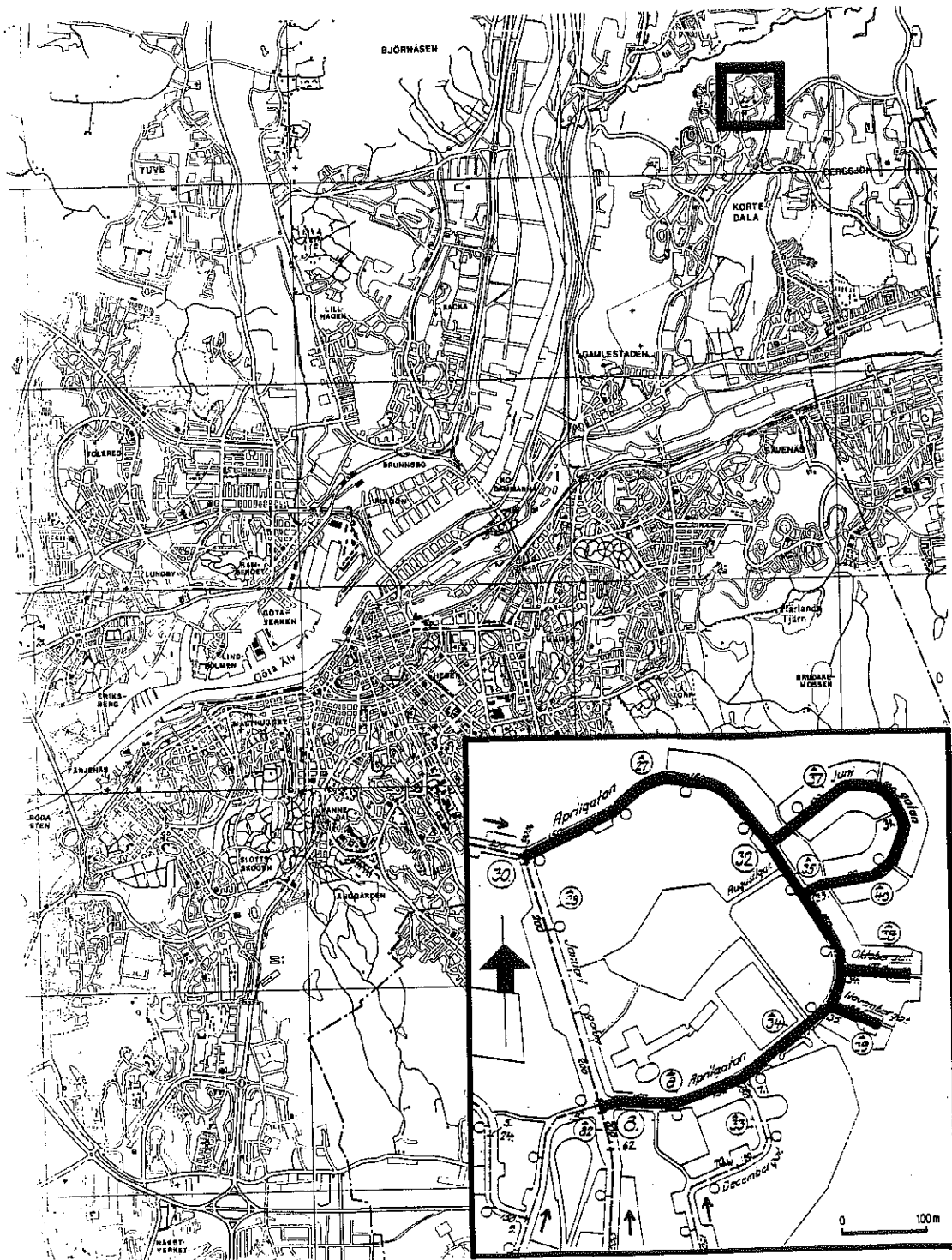
Kapaciteten hos ledningarna har ökat samtidigt som det diffusa läckaget i skarvar m m har upphört. Sammanfattningsvis har den valda renoveringsmetoden visat sig väl uppfylla uppställda mål. Dock ger cementbruksisoleringen i vatten med låg alkalinitet en kraftig pH-förhöjning, vilket innebär att ledningarna måste genomspolas kontinuerligt under ganska lång tid. Laboratorieprov visar att en karbonatisering av cementbruket före idrifttagandet bör kunna ge acceptabla pH-värden relativt kort tid efter renoveringen.

Inledning

Inom rubricerade projekt genomfördes under 1988-1989 en delstudie av cementbruksisolering av gjutjärnsledningar med dåligt inre ytskydd, inom område med mjukt, lågt buffrat vatten.

Inom del av området Kortedala i nordöstra Göteborg, förekommer tidvis förhöjd halt av järn i vattnet med brunt vatten som följd. Problemen är koncentrerade till ett ytterområde med ändledning (se figur 1). Ledningarna består av ursprungligen asfaltisolerade gjutjärnsrör, lagda 1954. Ledningarna är dimensionerade för konventionell brandvattenförsörjning, varför omsätt-

ningen vid normal drift är låg. Rörbrottsfrekvensen i området var 1980–87 1,8 rörbrott per 10 km och år, vilket är 80% av genomsnittet i Göteborg. Test av ledningsråheten på en mindre sträcka visade att ledningarna var delvis igensatta och hade starkt reducerad kapacitet, vilket främst påverkade möjligheten att ta ut tillräckligt med vatten vid brandsläckning. Servisleddningarna består huvudsakligen av kopparledningar med låg driftavbrottsfrekvens. Eftersom ledningarna bara är ca 35 år gamla, och inget tyder på att de är utsatta för yttre korrosionsangrepp bedömdes en renovering av ledningarna genom cementbruksisolering vara möjlig, med lång livslängd som följd.



Figur 1. Översikt av området.

I första hand var målet med renoveringen att förbättra vattenkvaliteten, speciellt i ändledningarna, med avseende på järnhalt och i andra hand att öka kapaciteten i ledningarna så att erforderliga uttag av vatten för brandsläckning kan göras samt att minska det diffusa vattenläckaget.

En renovering bedömdes kunna genomföras för halva kostnaden mot omläggning. Om livslängden för en ny ledning bedöms bli 100 år motsvaras lika kostnad av en livslängd på 20-25 år för renoverad ledning vid en kalkylränta på 5%. Då livslängden för en renoverad ledning bedöms vara minst 50 år visar kalkylen att renovering ekonomiskt är att föredra.

De renoveringsmetoder som kunde tänkas var

Infodring med ledning:

- * PE-ledning
 - ger minskad dimension, samt erfordrar uppgrävning av alla serviser.
- * Inpipe (Forsheda)
 - osäkert från vattenkvalitetssynpunkt. Uppgrävning av alla serviser.
- * Rörspäckning + infodring
 - relativt höga kostnader, samt uppgrävning av alla serviser.

Cementbruksinfodring:

- * Tate-metoden
 - bibehållet ledningstvärnitt. Få serviser behöver grävas upp. Större skador överbryggas inte. Risk för förhöjt pH.
- * Conpipe
 - enligt ovan, men alla serviser måste grävas upp.

En sammanvägning av för- och nackdelar med de olika metoderna ledde till att cementbruksisolering enligt Tate-metoden valdes. Ett av syftena med försöket var att undersöka hur stor pH-förhöjningen skulle bli och hur pH-värdet skulle förändras med tiden. Om pH-förhöjningen är av övergående natur, vilket laboratorieförsök och teorin om karbonatisering av ytskiktet tyder på, så borde en genomspolning av de renoverade ledningarna i ett inledningsskede vara tillräckligt för att undvika problem med högt pH-värde.

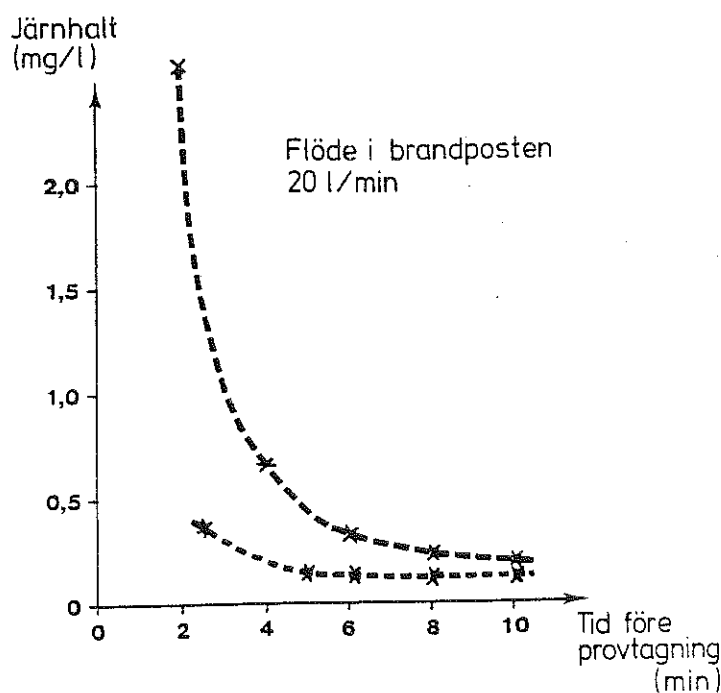
Undersökningar före renovering

De undersökningar som genomförts före rengöring och cementbruksisolering av ledningarna är:

- Kontroll av vattenkvaliteten genom stickprov och kontinuerliga dygnsmätningar.
- Kontroll av ledningarnas råhet genom tappningsprov och tryckfallsmätning.
- Kontroll av ledningarnas täthet.

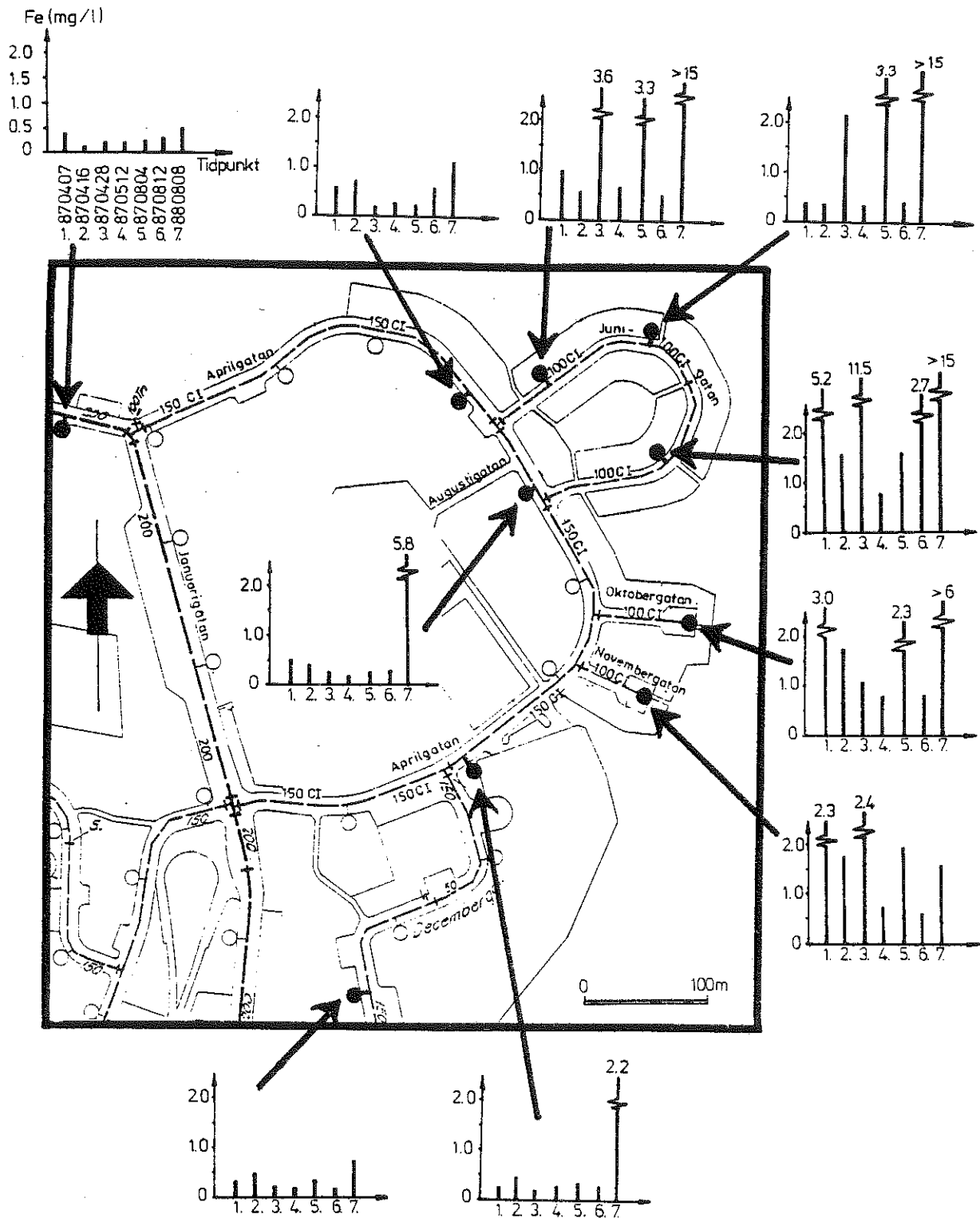
Dessutom har ledningarna okulärbesiktigats i samband med arbetena, samt vissa provbitar närmare studerats.

Omfattande stickprov av vattenkvaliteten, främst med avseende på järnhalten, har tagits inom området vid flera olika tillfällen.



Figur 2. Järnhalt i vatten efter olika lång tappning. Flöde 20 l/min.

I figur 2 redovisas järnhalten i två brandposter, efter olika lång tappning vid flödet 20 l/min. Av resultatet framgår betydelsen av tappning före provtagning. Tre minuters tappning i en brandpost motsvarar vattenvolymen i ca 10 m ledning med dimensionen 150 mm. Motsvarande ledningslängd är vid 20 minuters tappning ca 70 m \varnothing 150 mm. I figur 3 redovisas järnhalten i ett antal brandposter vid olika tillfällen. För att proverna skall vara representativa för det vatten som finns i ledningen har de tagits efter tappning i



Figur 3. Järnhalt i vatten vid olika tillfällen efter 10 minuters spolning i brandpost. Flöde ca 20 l/min.

posterna under så lång tid att något mer än vattenvolymen i brandpostens anslutningsledning har omsatts. I figur 4 visas resultatet av kontinuerliga mätningar vid ändbrandposter i Novembergatan. Mätningen har skett genom att ett litet flöde tagits ut från brandposten och letts genom en mätvagn, där grumligheten och pH-värdet mätts kontinuerligt och där vattenprov för analys av järnhalt tagits varje timma under två dygn.

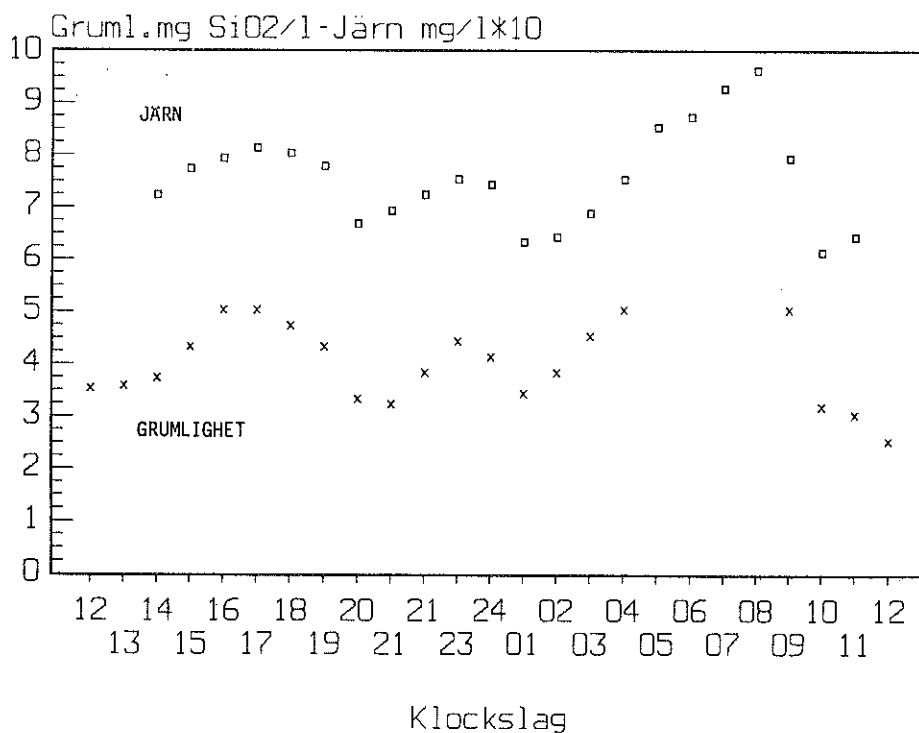
Brandposten är placerad några meter efter sista servisavsättningen, varför järnhydroxid i ledningen sätts i rörelse vid tappning i serviserna och sedimenterar innan vattnet når provtagaren. Flödes hastigheten i anslutningsledningen till brandposten är ca 5 mm/s, vilket vid 4 meters sedimenteringssträcka innebär att hydroxidflockar med en sjunkhastighet på minst 0,1 mm/s hinner sedimentera före brandpostanslutningen. Den normala sjunkhastigheten för järnhydroxidflockar är minst dubbelt så hög varför alltså huvudsakligen kolloidala hydroxidflockar registreras vid den kontinuerliga mätningen.

Järnhalt

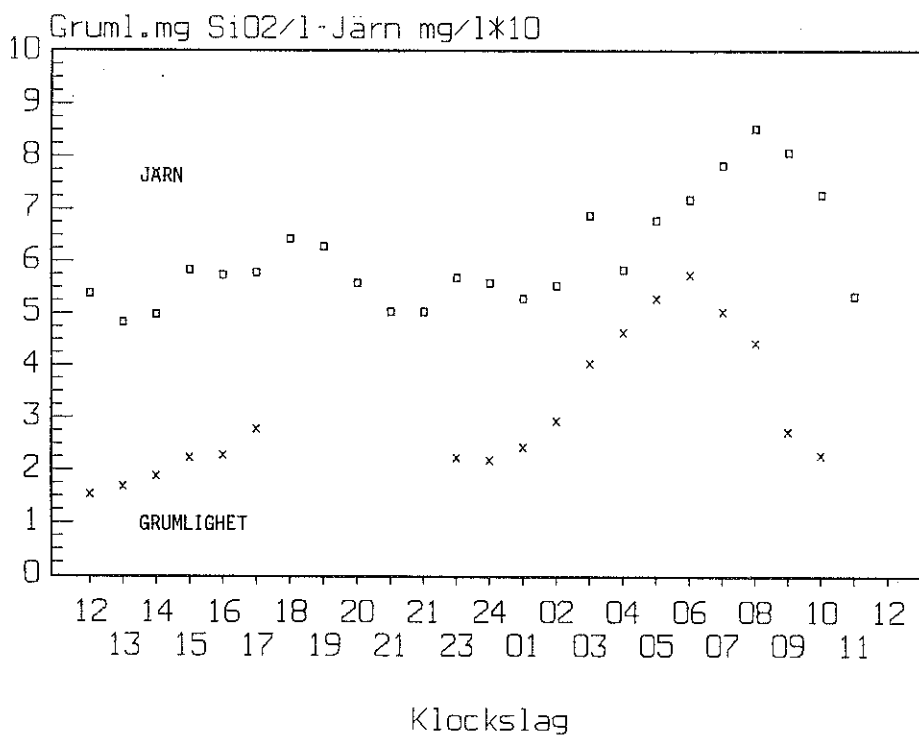
Stickproven visar mycket varierande järnhalter, troligen helt beroende på om eventuell järnhydroxidflock i botten på ledningen rycks med vid provtagningen eller inte. Järnhalten i vattenfasen varierar under dygnet i en ändbrandpost. Dagtid varierade järnhalten mellan 0,5 och 0,7 mg/l medan den under natten steg till närmare 1,0 mg/l. Sambandet mellan grumlighet och järnhalt var tydligt, varför åtminstone större delen av järnet måste ha förelegat som trevärd järnhydroxid, troligen i kolloidal form eftersom järnet inte sedimenterar trots lågt flöde.

Vid inmatningspunkterna till området är järnhalterna enligt stickprov som lägst 0,2--0,3 mg/l, vilket bör vara representativt för vattenfasens järnhalt. Den ökade järnhalten inne i området beror på utlösning av järn ur rörväggarna. Det utlösta tvåvärda järnet oxideras till trevärt järn vid här aktuella pH-värden, och följer med vattnet. Detta sker dels i form av större järnhydroxidflockar som sedimenterar i ledningarna vid låga vattenhastigheter och dels i form av kolloidala flockar, som inte sedimenterar. Tyska undersökningar (Sontheimer H, 1988) visar att redan vid några timmars uppehållstid i ledningarna blir syrehalten låg närmast rörväggen. Det trevärda järnet i korrosionsprodukterna reduceras då till tvåvärt järn, och går i lösning. Detta är troligen förklaringen till den stigande järnhalten tidigt på morgonen, när vattnet varit nästan stilla i ledningarna 8-10 timmar. När det utlösta tvåvärda järnet kommer ut i huvudströmmen i röret, där vattnet är syrerikt, oxideras det troligen åter till trevärt järn, men förblir i kolloidal form pga låg turbulens, som inte befrämjar sammanslagning till sedimenteringsbara flockar.

Sambandet mellan grumlighet och järnhalt framgår av figur 5. Om sambandet antages vara rätlinjigt antyder diagrammet att vid grumligheten 0 mg SiO₂ /l är fortfarande järnhalten så hög som 0,35 mg Fe/l. För att inte ge upphov till grumlighet borde detta järn förekomma i löslig tvåvärd form, eftersom lösligheten för trevärd järnhydroxid är mindre än 0,01 mg/l järn. Syrehalten i vattnet har inte mätts i samband med höga järnhalter på morgonen. Finns syre i vattnet oxideras det tvåvärda järnet inom få minuter till trevärd, nästan olöslig form.

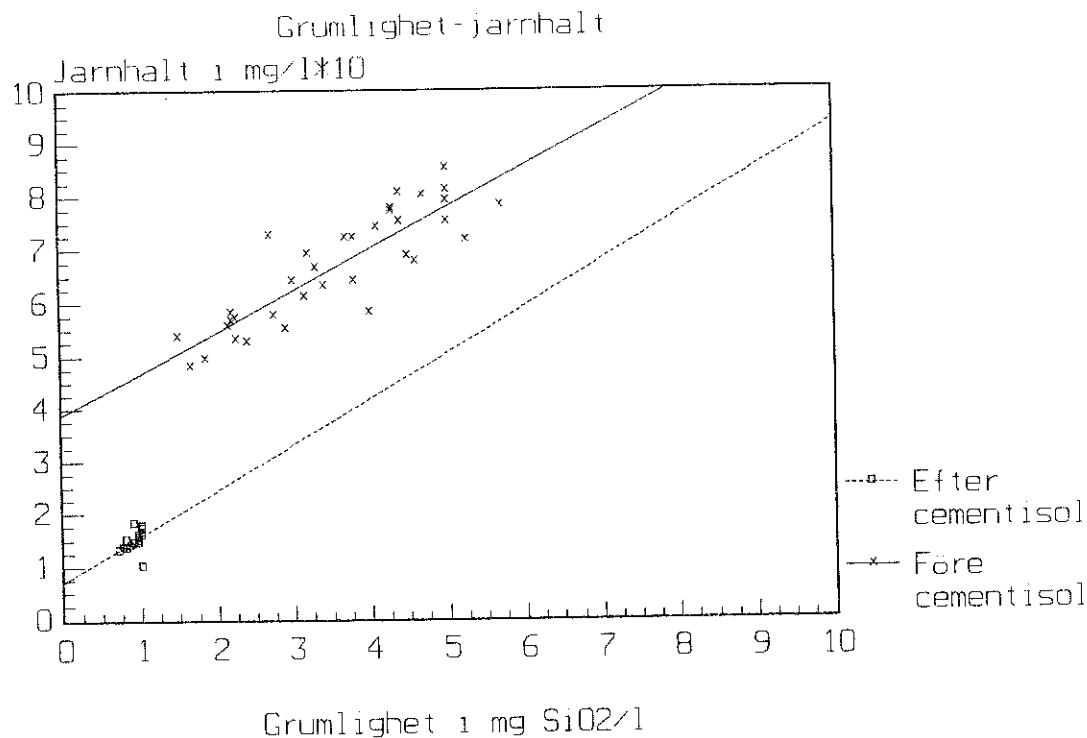


(a)



(b)

Figur 4. Järnhalt och grumlighet i vatten taget kontinuerligt vid flöde ca 1 l/min. (a) Dag 1, (b) Dag 2.

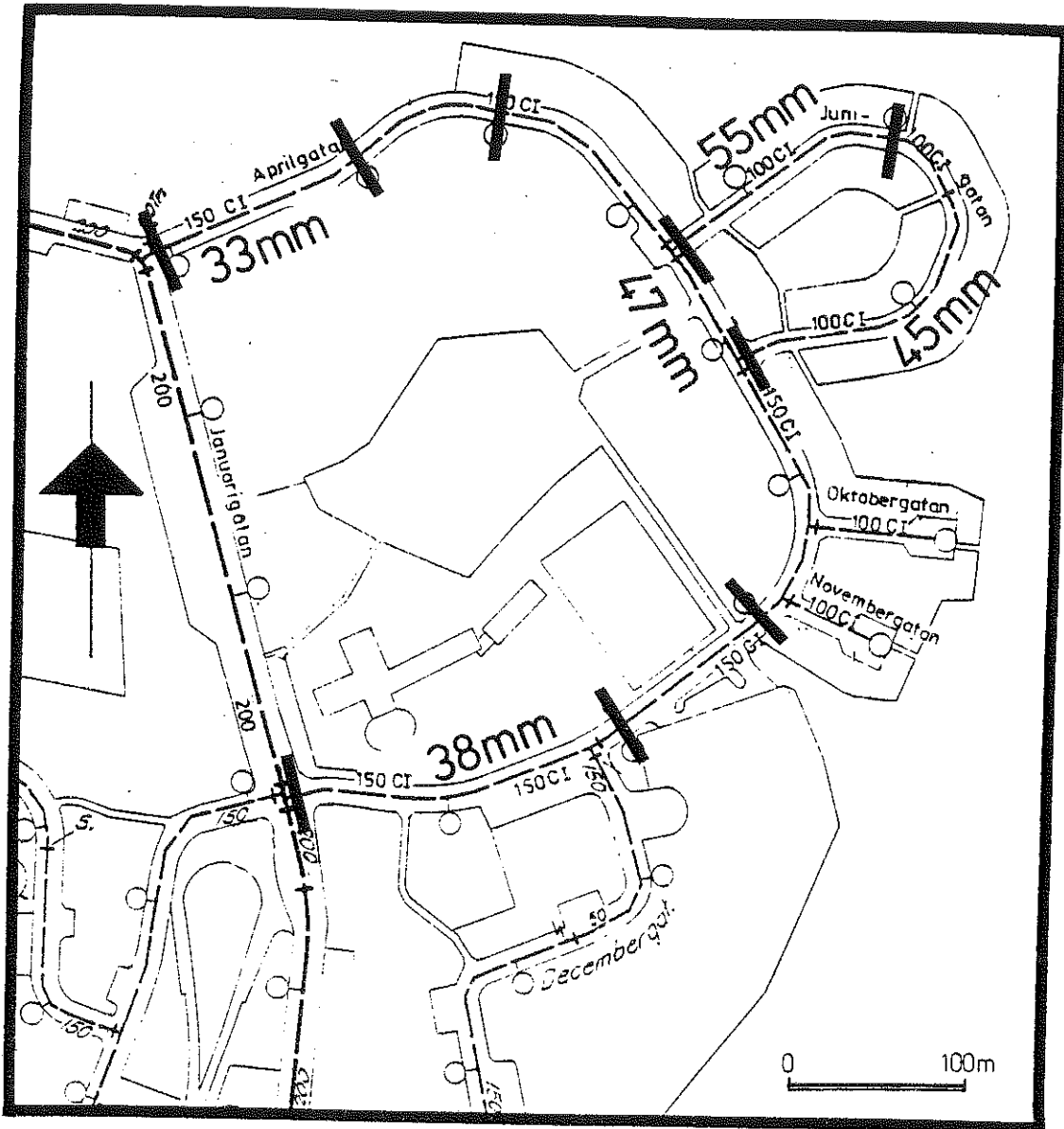


Figur 5. Samband mellan järnhalt och grumlighet.

Ledningarnas väggråhet

Tappningsprov med samtidig tryckfallsmätning har utförts på olika delsträckor genom sektionering av rörnätet. Mätningen har utförts på fem olika delsträckor, varvid flödet i ledningen mäts genom vattenmätare i uttagspunkterna och tryckfallet vid tappning genom tryckmätning i brandposter uppströms och nerströms aktuell ledningssträcka, dels före och dels under tappning.

Relativt stora tryckfall uppmättes i ledningarna. Tryckfallet förorsakas dels av minskad tvärsektion pga påväxt och dels av ökad väggråhet. Om hela tryckfallet beräknas förorsakat av ökad väggråhet har en ekvivalent sandråhet framräknats med hjälp av Moody-diagram och allmänna friktionsformeln. Diametern på röret antages vara lika med den nominella. För de olika delsträckorna erhålles väggråhet enligt figur 6.

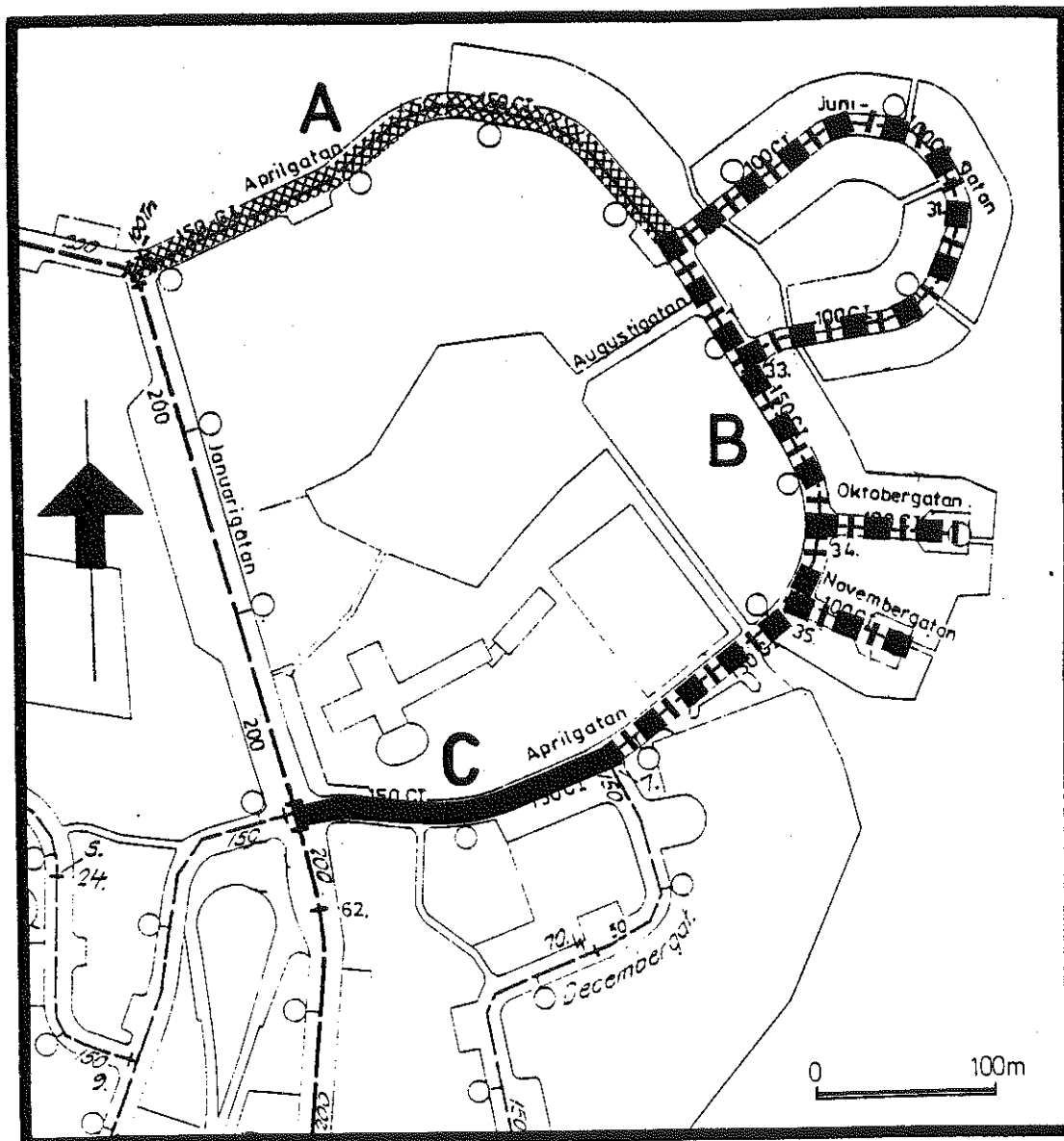


Figur 6. Ekvivalent sandr h t f r olika ledningssträckor före rensning.

Mätningarna antyder relativt kraftig påväxt, successivt ökande ju längre in i området man kommer.

Ledningarnas täthet

Mätning av nattförbrukningen i området har gjorts, varvid lägsta flöde har noterats med resultat enligt figur 7.



Område A	85 l/min
Område B	170 l/min
Område C	0 l/min

Figur 7. Lägsta momentana vattenförbrukning nattetid.

Undersökningar i samband med arbetsutförandet

Besiktning av upptagna provbitar i samband med arbetsutförandet visade att avlagringarna ökade ju längre in i området provbitarna tagits. Närmast Januarigatan fanns bara spridda rostknutor (ca 5% av rörytan, någon cm höga \varnothing 50 mm). I ändledningarna i Oktober- och Novembergatorna var hela rörytan täckt med 10-15 mm höga knutor. Vid Decemborgatan var knutorna ej heltäckande, med höjden 5-10 mm. Uppre vid anslutningen av övre delen av Januarigatan var knutorna heltäckande med höjden ca 20 mm. Provbitarna visar god överensstämmelse med tryckfallsmätningarna. För östra delen av Aprilgatan, där knutorna var heltäckande, med höjden 10-20 mm, kan inverkan på ledningsråheten av den minskade dimensionen uppskattas enligt följande.

Antag att påväxten i genomsnitt var 15 mm, vilket ger en effektiv rördiameter på $150 - 2 \cdot 15 = 120$ mm. Tryckfallet vid flödet 13,2 l/s mättes till 40‰. Härvid kan man med allmänna friktionsformeln som lyder

$$\frac{h_f}{L} = f \cdot \frac{1}{D} \cdot \frac{u^2}{2g}$$

där

$$\begin{aligned} h_f &= \text{tryckfall} \\ L &= \text{ledningslängd} \\ D &= \text{ledningsdiameter} \\ u &= \text{vattenhastighet} \end{aligned}$$

beräkna en ekvivalent råhet k_{ekv} .

$$\frac{h_f}{L} = 0,04 = f \cdot \frac{1}{0,12} \cdot \frac{1,17^2}{2g} \rightarrow f = 0,0688$$

Moodydiagram ger för

$$Re = 1,1 \cdot 10^5 \quad k/d = 0,045$$

vilket ger

$$k_{\text{ekv}} = 0,045 \cdot 120 = 5,4 \text{ mm}$$

Om genomsnittliga påväxten i stället antas vara 10 mm blir effektiva rördiameteren 130 mm och beräkningar visar att uppnått tryckfall då motsvaras av en ekvivalent sandråhet på 13 mm. Den ekvivalenta sandråheten är svårbedömd vid en okulärbesiktning, men torde ligga inom intervallet 5-15 mm, vilket då skulle motsvaras av en genomsnittlig påväxt på rören av 8-15 mm.

Denna beräkning visar att rimlig överensstämmelse mellan okulärbesiktning och tryckfallsmätning erhålles, även om en förutsägelse av tryckfallet i en viss ledning knappast kan göras efter enbart besiktning av provbitar.

Arbetsutförande

Rensning och cementbruksisolering utfördes av entreprenör medan övriga arbeten som schakter, rörcapningar, ventilbyte, återfyllning, samt provisorisk vattenförsörjning - slang till varje fastighet - utfördes i egen regi av VA-verket. Erforderligt antal gropar uppskattades före arbetet till 21 st men det visade sig att ledningsavsnitt med större vinkelavvikelser än planerat kunde rensas och infodras utan öppen schakt, varför antalet gropar bara blev 16 st. Entreprenörens kostnader blev 562 kkr, dvs 401 kr/m ledning.

Totalkostnaden blev 1250 kkr eller 895 kr/m ledning.

Arbetet flöt smidigt. Den provisoriska slangningen till alla abonnenter gjorde att de olika arbetsmomenten delvis kunde göras oberoende av varandra, och därmed planeras rationellare.

Av samtliga 75 serviser sattes 3 igen av cementbruket och måste schaktas fram (4% av antalet serviser). Samma andel erhöles vid ett liknande renoveringsarbete under 1987.

Undersökningar efter reoveringen

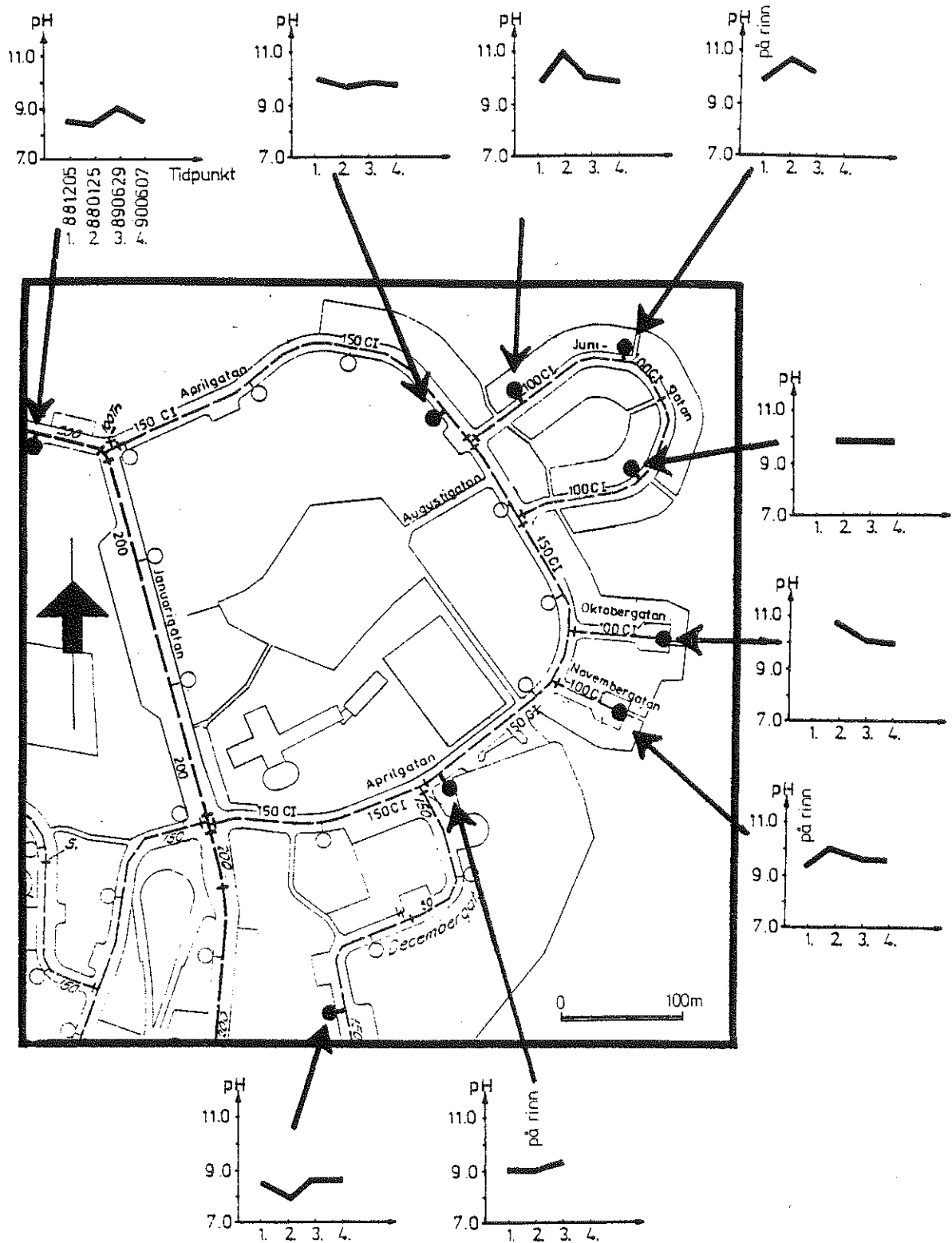
Efter genomförd reovering har följande undersökningar utförts:

- Kontroll av vattenkvaliteten genom stickprov och kontinuerliga dygnsmätningar.
- Kontroll av ledningarnas täthet.

Stickprov har tagits i olika delar av området vid olika tidpunkter efter genomförd reovering. Kontinuerliga mätningar i brandposter i Novembergatan genomfördes två veckor efter det att vattnet kopplats på.

pH-värde

I figur 8 visas pH-värdet i några punkter vid varierande tid efter utförd isolering. Beroende på Göteborgsvattnets låga alkalinitet blev pH-värdet direkt efter genomförd reovering mycket högt, ända upp till pH 11, vilket framgår av stickprov gjorda i brandposten i Oktobergatan, se figur 8. Stickprov har tagits inom området vid olika tillfällen, som längst 20 månader efter genomförd reovering. pH-värdet varierar mellan mätpunkterna, med högst värden längst in i området. Ju längre tid som gått efter cementbruksisoleringen, ju lägre pH-värden erhålles.



Figur 8. pH-värdet vid stickprov i området.

Förändringen av pH-värdet med tiden har studerats av entreprenören som på Statens provningsanstalt låtit mäta pH-värdet i en vattenvolym i vilken ett betongprisma varit nedsänkt. Volym/areaförhållandet var samma som i en ledning med diametern 180 mm. Mätningarna har skett vid olika tider efter det att prismet gjutits, och pH-värdet i vattnet har registrerats under en vecka. Det vatten som använts är Göteborgs dricksvatten. Försöken redovisas i nedanstående tabell varav framgår att påverkan på vattnets pH-värde minskar med tiden. Normalt står vattnet ej mer än 12 timmar i ledningsnätet, men försöken visar att redan efter 6 timmar har större delen av pH-förhöjningen skett.

Tid efter tillverkning	Utgångs-pH	Efter 1 dygn i vatten (pH)
2 veckor	7,5	10,8
3 veckor	8,0	10,7
9 veckor	8,3	10,6
38 veckor	8,6	9,8

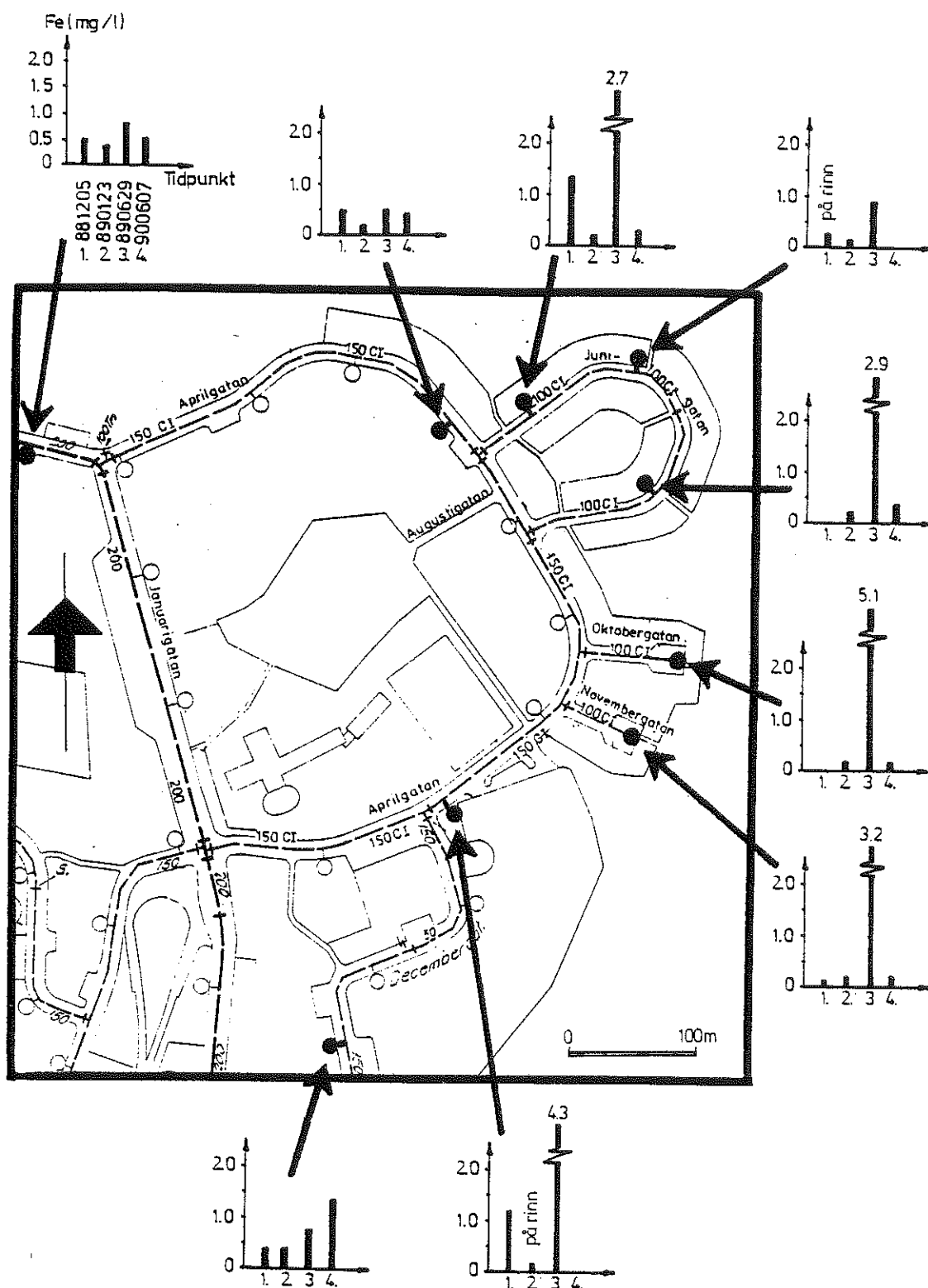
Järnhalt

Resultaten av stickprov tagna efter renoeringen i området visas i figur 9. Som framgår av figuren erhålles mycket lägre järnhalter än före renoeringen, men i vissa punkter fås anmärkningsvärt höga värden. Detta kan bara förklaras av att järn har fällts ut i ledningarna inom området. Vid inmatningspunkterna är järnhalten ca 0,3 mg/l och inne i området har så låga halter som 0,1 mg/l mätts upp.

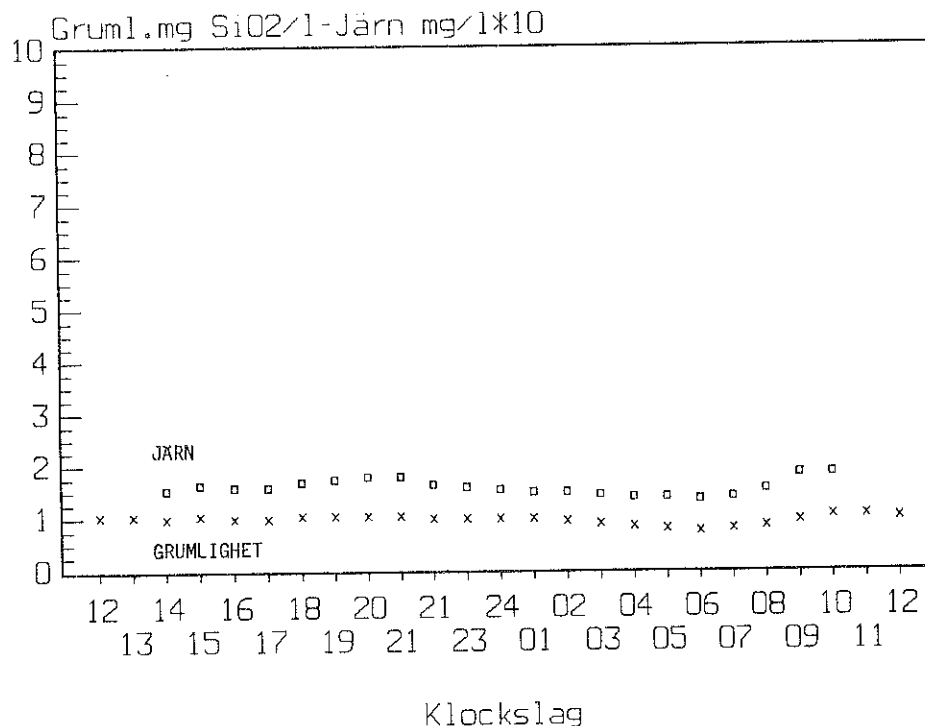
Mellanskillnaden måste ha fallit ut och sedimenterat i ledningarna, och de tidvis höga uppmätta järnhalterna i vattenproverna beror troligen på att denna sedimenterade järnflock har kommit med i proven. Vid de höga pH-värden som råder inom området sker oxidation till svårslösligt trevärt järn snabbt.

De kontinuerligt uttagna järnproverna visar genomgående låga värden, se figur 10. Den uttagna delströmmen är < 1 l/min, varför eventuell järnflock i ledningen inte dras med. Den förhöjning av järnhalten som före renoeringen skedde nattetid förekommer inte längre efter renoeringen.

Sambandet mellan järnhalt och grumlighet har också ändrats så att grumligheten är i stort sett direkt proportionell mot järnhalten, se figur 5. Vid de höga pH-värden som råder förekommer allt järn i trevärd svårslöslig form. Allt järn har dessutom i denna form transporterats lång sträcka och de kolloidala partiklarna har därför hunnit slås samman och sedimenterat.



Figur 9. Järnhalt i vatten efter renovering vid olika tillfällen.



Figur 10. Järnhalt och grumlighet vid kontinuerlig provtagning en vecka efter idrifttagande av ledningarna.

Slutsats

Direkt efter genomförd cementbruksisolering erhöles mycket höga pH-värden, upp till pH 11. Dessa värden sjunker efterhand och har efter 20 månader kommit ner till ca pH 10.

Järnhalten har minskat till ca 0,15 mg/l, vilket är lägre än halten i inkommande vatten till området. I vissa stickprov erhålles betydligt högre värden, troligen beroende på att sedimenterad järnflock i ledningen kommit med i proven.

Så länge järnhalten i inkommande vatten är så hög som 0,3 mg/l kommer tidvis höga halter ej att kunna undvikas inne i området beroende på att järnet oxideras till trevärd form, som sedimenterar i ledningarna. Genomströmning av nätet genom brandposter på rinn, för att minska pH-förhöjningen, förvärrar troligen järnproblemen eftersom mera järnhaltigt vatten transporteras in i det cementbruksisolerade området, där en stor del av järnflocken sedimenterar.

Ledningarnas täthet

Nattförbrukningen i området har uppmätts inom samma delområden som före renoveringen, se figur 7. Lägsta flöde uppmättes för samtliga områden till noll, vilket innebär att ledningarna blivit helt täta vid cementbruksisolering.

Slutomdömen

Målet med renoveringen var i första hand att förbättra vattenkvaliteten med avseende på järnhalt och i andra hand att öka ledningarnas kapacitet och att minska det diffusa vattenläckaget.

Dessa mål har blivit väl uppfyllda. Eftersom endast en del av det lokala römnätet har renoverats är järnhalten på det vatten som matas in i området fortfarande så hög att viss sedimentering av järnoxider sker i ledningarna. Detta medför att järnhalten i vattnet kan bli relativt hög, dock i mycket mindre omfattning än före renoveringen.

Direkt efter renoveringen steg vattnets pH-värde till så höga värden att ständig genomströmning av ledningarna erfordrades.

Efter 20 månader hade pH-värdet gått ner till acceptabla värden, ca pH 10, utan spolning.

Arbetet flöt smidigt och kostnaderna för renoveringen uppgick totalt till 895 kr/m, vilket bedöms vara mindre än hälften av vad en nyanläggning skulle ha kostat. Livslängden för de renoverade ledningarna bedöms avsevärt överstiga de 20-25 år som erfordras för att kostnaderna skall bli jämförbara med nyanläggning.

PREPARERING AV CEMENTBRUKSINFODRADE JÄNRÖR FÖR ATT MINSKA pH-FÖRHÖJNING - LABORATORIEFÖRSÖK

av Torsten Hedberg, Olle Ljunggren och Lars-Ove Sörman

Inledning

I syfte att minska korrosionsproblem i järnrör förses dessa med ett cementbrukslager vid tillverkningen eller också infodras gamla, rensade järnrör med cementbruk på platsen. Även om olika förutsättningar råder då rören på olika sätt förses med cementbruk så har det visat sig att prefabricerade rör och insitu-infodrade rör ger en pH-höjning som kan vara mycket kraftig - 2-3 pH-enheter i obuffrade vatten där det samtidigt är mest angeläget att skydda järnrören. pH-förhöjningen har lång varaktighet och kan påverka ej isolerade järnrör negativt dvs öka korrosionen i dessa rör.

Ett sätt att motverka pH-förhöjningen är att behandla vattnet så att det får en högre vätekarbonathalt och även högre kalciumhalt, dvs man tillverkar ett vatten som är i närheten av eller i kalk-kolsyrejämvikt.

Ett annat sätt är att preparera cementbruksrören med CO₂ eller med ett extra hårt vatten så att kalciumkarbonat faller ut eller bildas i cementens ytligare porer för att förhindra den första tidens stora pH-höjning. Denna teknik förekommer och omnämns bl a i en artikel av Künzler R och Schwenk W, 1986. För den teoretiska bakgrunden hänvisas till denna artikel. För att kontrollera effekten av en preparering med hjälp av ett hårt vatten utfördes ett inledande laborieförsök där insitu-cementbruksinfodrade rör testades.

Stabiliseringsförsök medelst hårt vatten

Tre rörprov från ett cementbruksinfodrat rör användes vid försöken. Rörbitarna var ca 15 cm höga med diametern 100 mm. Rörmaterialen härstammade från rör från Kortedalaprojektet som också redovisas i denna rapport.

Ett rör fylldes med destillerat vatten (total hårdhet 0, pH = 6,1-6,6).

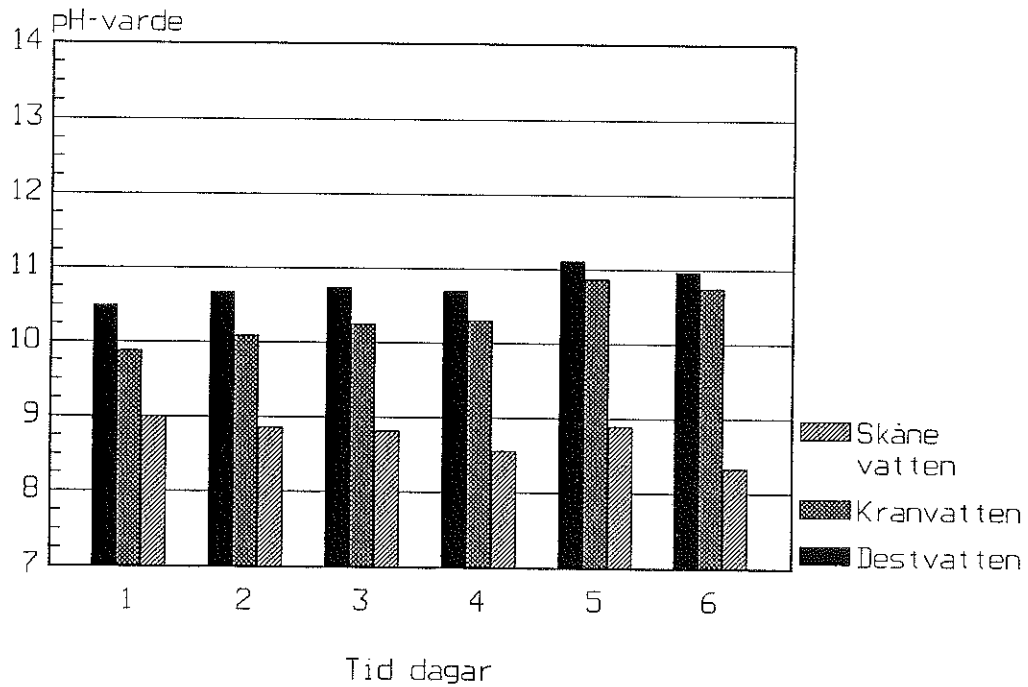
Ett rör fylldes med kranvatten från nätet i Göteborg (totalhårdhet ca 2° dH, pH = 7,7-8,1).

Ett rör fylldes med kranvatten från Trelleborg, Skånevatten (totalhårdhet ca 10° dH, pH = 7,5-7,6).

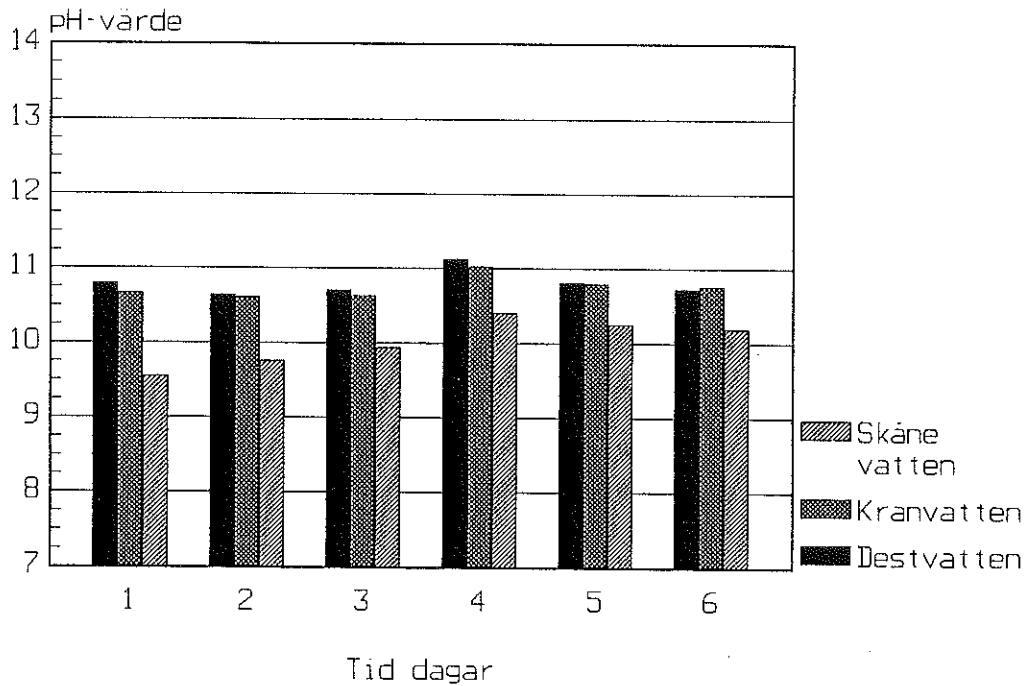
Vatten byttes varje dag och pH-värdet mättes således efter ett dygns kontakttid. Denna procedur pågick i åtta dagar varefter alla rör fylldes med kranvatten som byttes varje dag. pH-värdet kontrollerades också nu varje dag efter ett dygns kontakttid. Även denna procedur pågick i åtta dagar. Under det sista dygnet kontrollerades pH-förändringen efter 2, 4,5, 5,5 och 22 timmars kontakttid.

Resultat

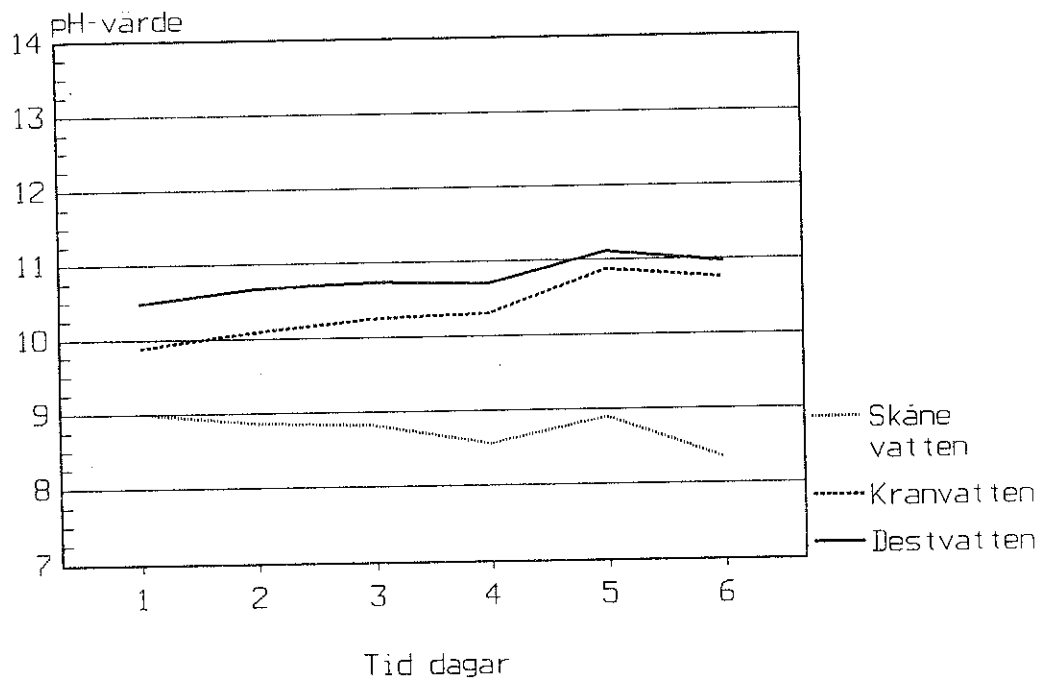
Resultaten från detta inledande laboratorieförsök redovisas i följande tre figurer.



Figur 1. pH-förändring under 6 dagar för destillerat vatten, för kranvatten från Göteborg och för Skånevatten.



Figur 2. pH-förändring i rör som "preparerats" på olika sätt och i vilka kranvatten från Göteborg använts.



Figur 3. Detalj över pH-förhöjning i rören under det sista dygnet med kranvatten.

Försöket visar att ett hårt och vätekarbonatrikt vatten inte ger de höga pH-värden som obuffrade vatten ger. Skillnaden är drastisk, figur 1.

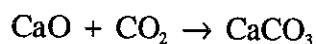
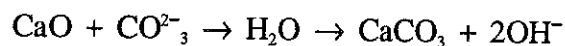
Jämvikts-pH-värdet för Trelleborgsvattnet är strax över 7.

Detta inledande försök visar vidare att rör i vilket ett hårt vatten förvarats ej ger samma höga pH efter kontakt med ett mjukare vatten. Här blev pH-värdet ca 0,5 pH-enheter lägre, figur 2 och figur 3.

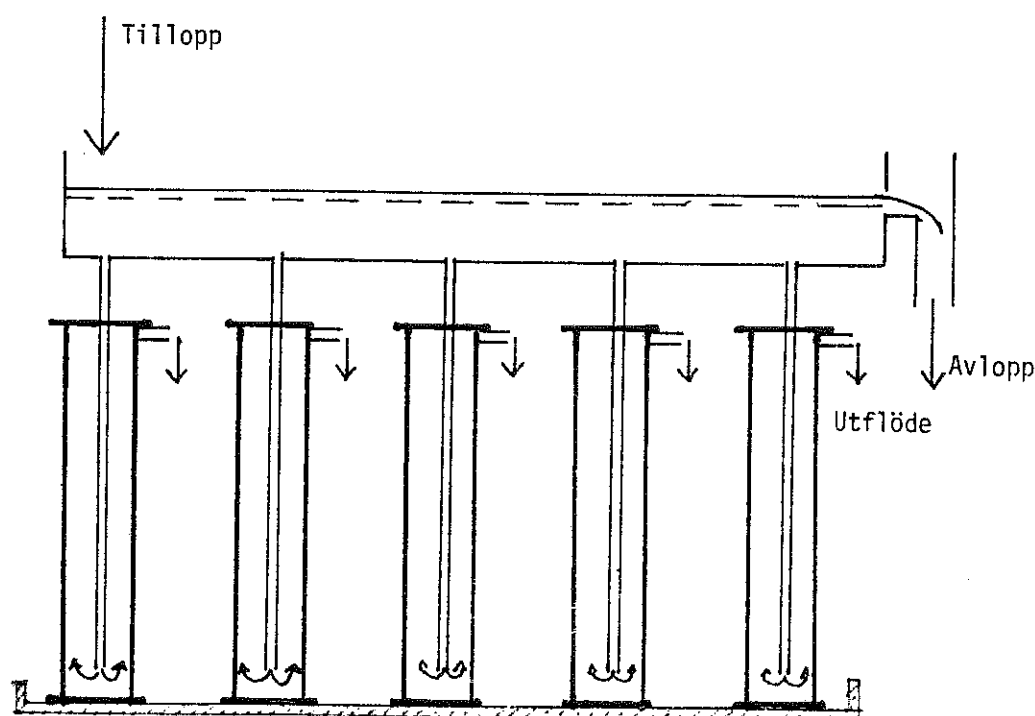
Andra försök planerade på ett annat sätt, borde visa att ytterligare mindre pH-höjning med preparerade rör kan erhållas. Cementbruksrör kan prepareras med kolsyra eller soda.

Stabiliseringsförsök medelst soda och CO₂

Som alternativ till att använda ett hårt vatten kan det cementbruksinfodrade röret stabiliseras med hjälp av ett karbonatrikt vatten eller kolsyra enligt följande reaktioner (Künzler R och Schwenk W, 1986):



Fem stycken enmetersbitar av ett cementbruksinfodrat vattenledningsrör (diameter 100) tätades i ena änden och ställdes i ett grunt kar, figur 4.



Figur 4. Försöksupställning.

Ett rör var referensrör och utsattes inte för preparering.

Ett rör fylldes med soda (Na₂CO₃ 2g/l) och fick stå i 2 dygn.

Ett rör fylldes med soda (Na₂CO₃ 2g/l) och fick stå i 7 dygn.

Ett rör preparerades genom att CO₂ (14 l/h) fick flöda genom röret i 2 dygn. Rörets cementbruksinfodring fuktades en gång/dygn.

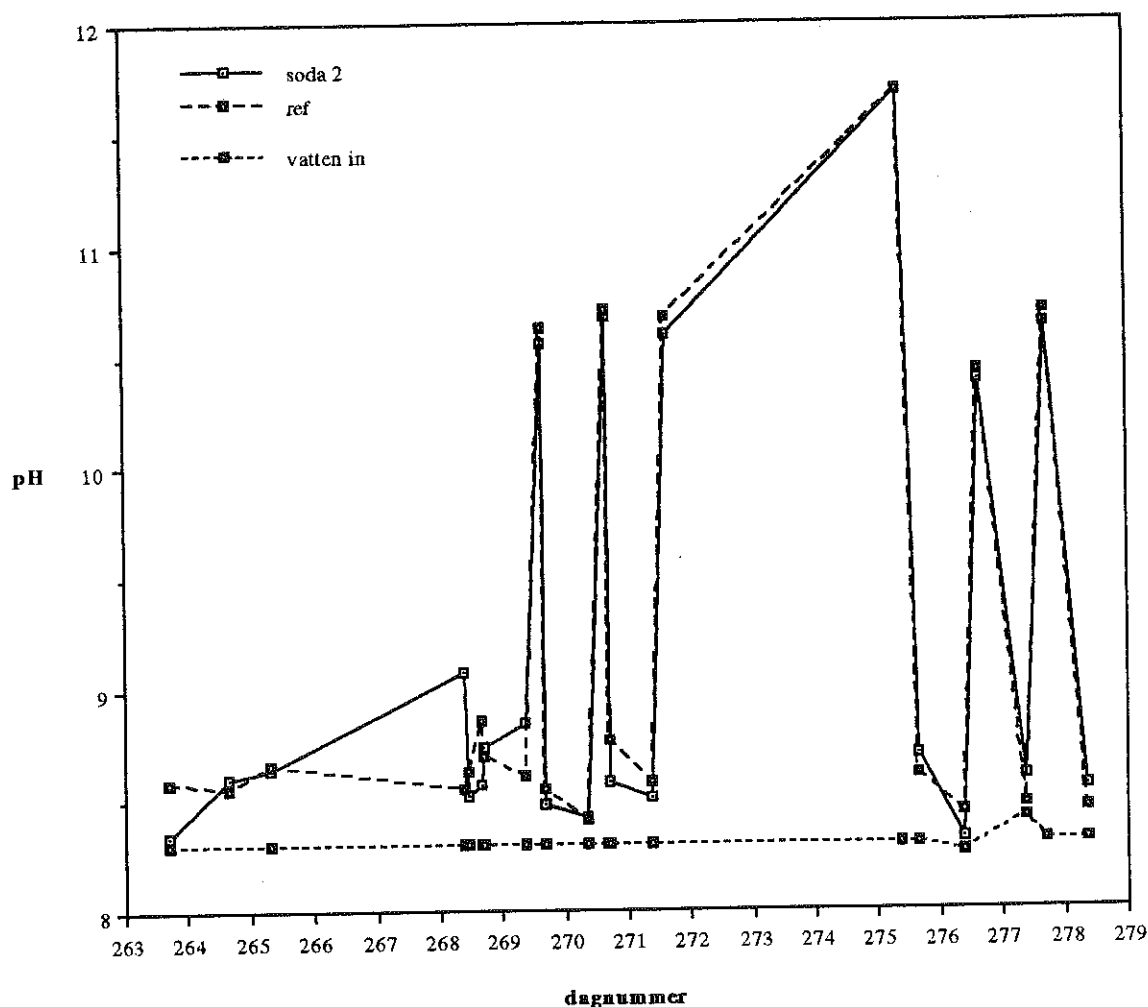
Ett rör preparerades genom att CO₂ (14 l/h) fick flöda genom röret i 7 dygn. Rörets cementbruksinfodring fuktades en gång/dygn vardagar.

Efter att rören utsatts för preparering i avsedd tid kopplades vattenledningsvatten på genom ett PVC-rör till botten av vattenledningsröret. Vattnet fick sedan långsamt rinna genom röret (0,5-0,7 l/min). pH-värdet på vattnet bestämdes efter att vattnet flödat genom röret. Efter några dagar stängdes flödet av under dagtid och pH-värdet bestämdes även på vatten som stått stilla under 6-8 timmar. Det vatten som stått stilla omrördes före provtagningen.

Resultat

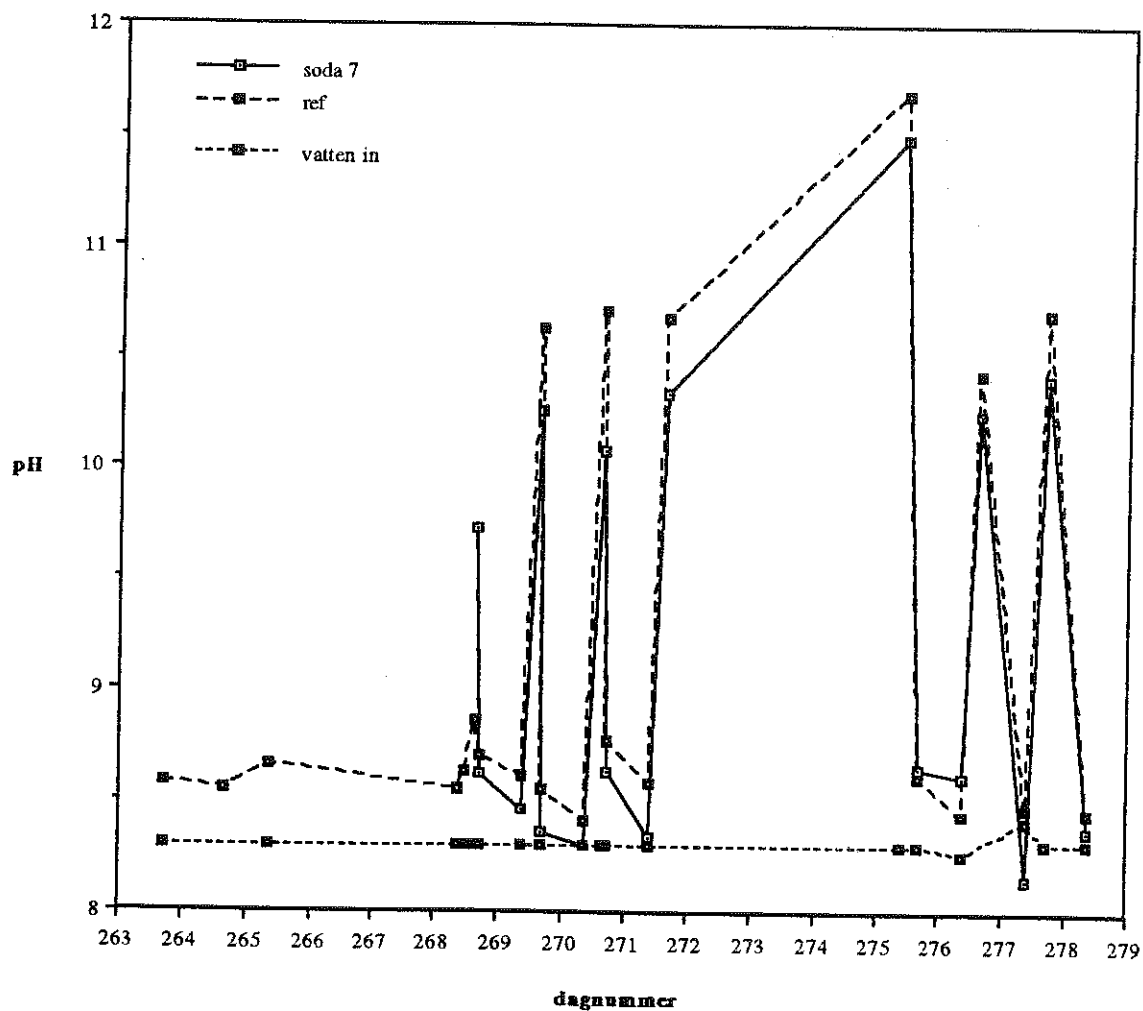
Hos referensröret stiger pH-värdet relativt det inkommande vattnet med några tiondelar när vattnet flödar genom röret. Om vattenflödet stängs av i 6-8 timmar stiger pH-värdet snabbt till över 10,5. Om vattnet får stå stilla länge i röret (4 dygn) stiger pH till över 11,5.

Även röret som stått med soda i två dygn visar en uppgång av pH-värdet vid flöde genom röret med några tiondelar. Om vattnet står stilla i 6-8 timmar stiger pH-värdet till ca 10,5. Om vattnet får stå länge stiger pH till över 11,5, figur 5.



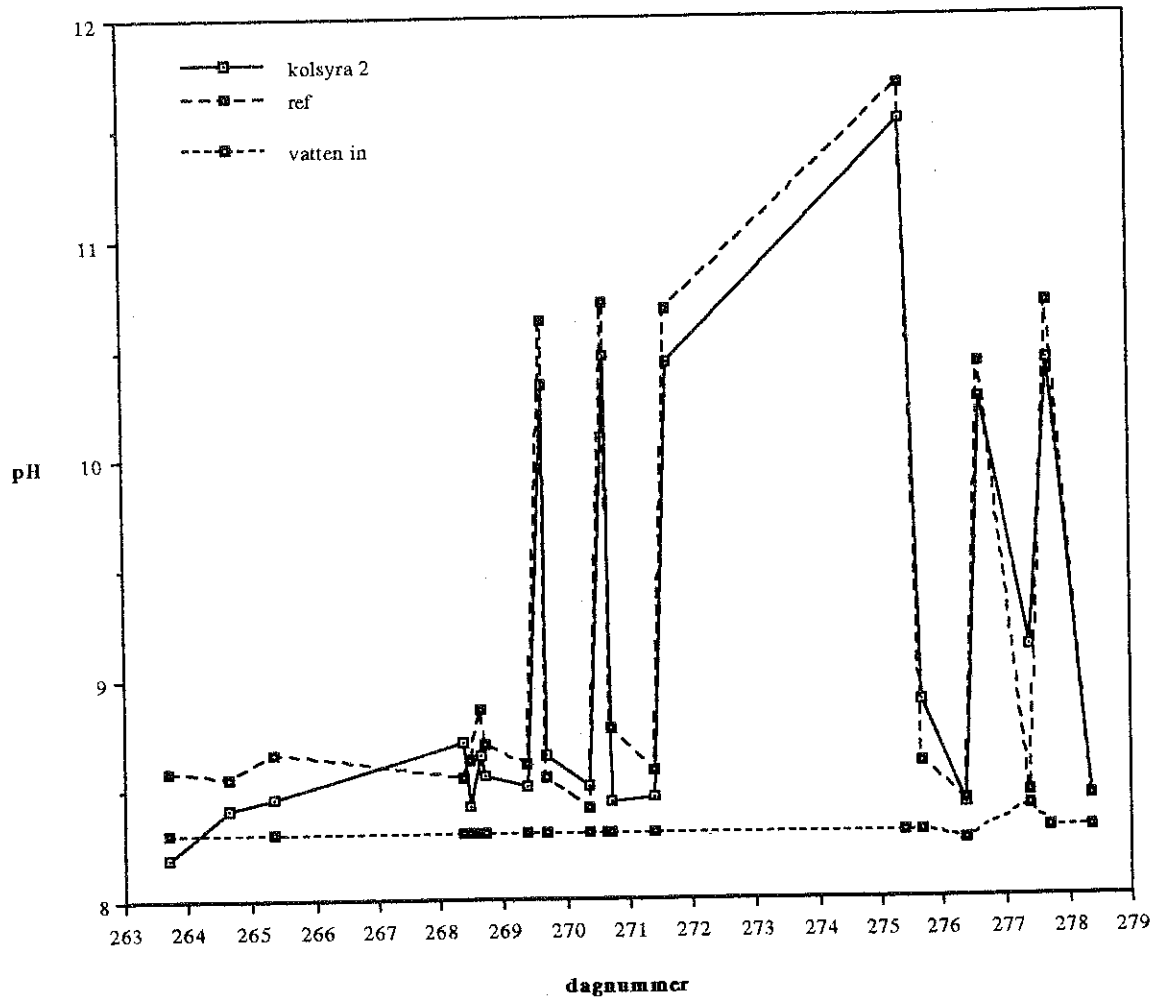
Figur 5. Sodabehandlat rör i 2 dagar jämfört med obehandlat rör.

Det rör som stått med soda i 7 dygn visar en svag höjning av pH-värdet vid flödet genom röret. Vid stillestånd i 6-8 timmar stiger pH till mellan 10 och 10,5 pH-enheter. Vid långvarigt stopp stiger pH till ca 11,5 pH-enheter, figur 6.



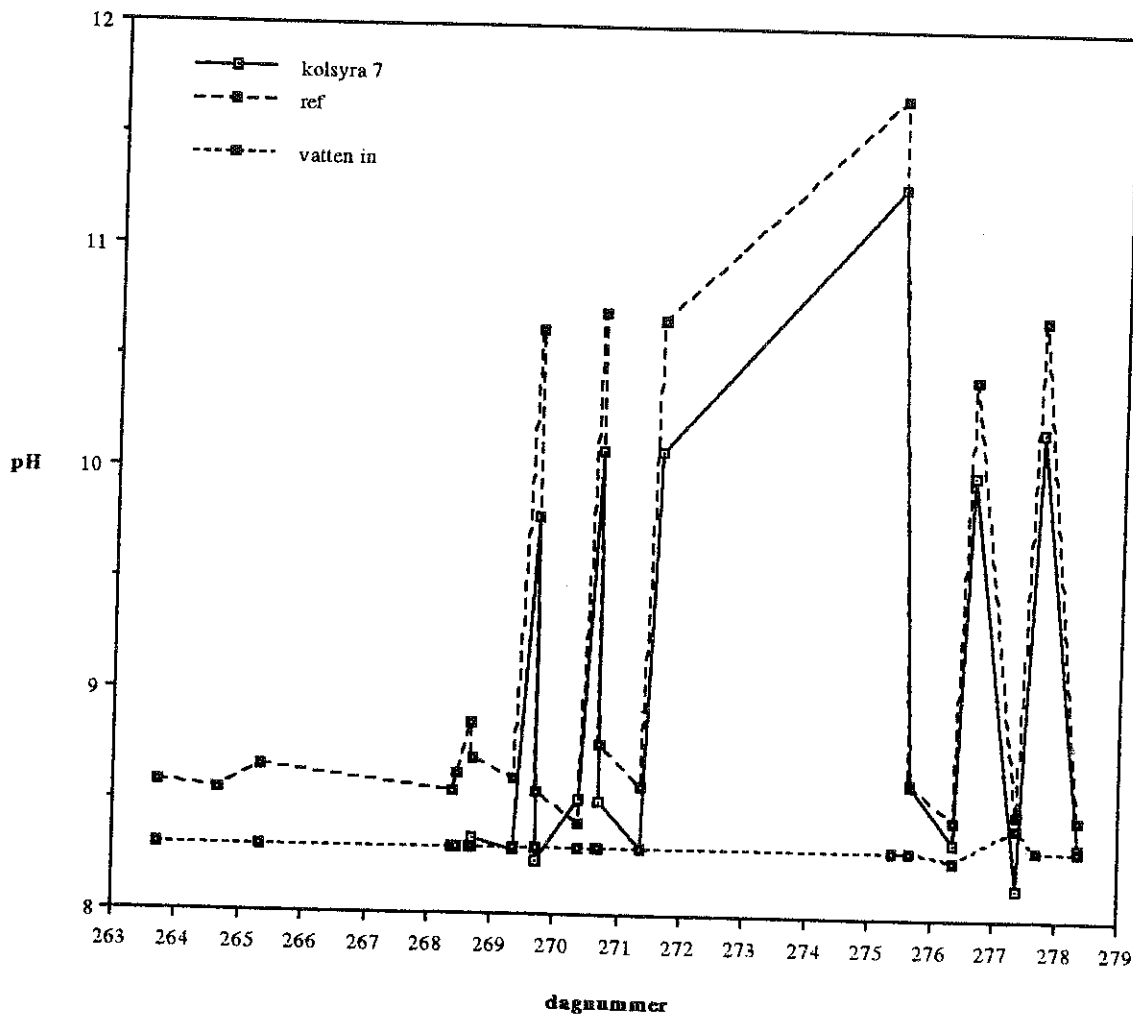
Figur 6. Sodabehandlat rör i 7 dagar jämfört med obehandlat rör.

Det rör som behandlats med CO_2 i 2 dygn visar en svag höjning av pH vid flöde genom röret. Vid stillestånd i 6-8 timmar stiger pH till ca 10,5 pH-enheter. Vid långvarigt stillestånd stiger pH till 11,5 pH-enheter, figur 7.



Figur 7. Kolsyrabehandlat rör i 2 dagar jämfört med obehandlat rör.

Det rör som behandlats med CO_2 i 7 dygn visar ingen eller en mycket svag höjning av pH-värdet vid flöde genom röret. Vid stillestånd i 6-8 timmar stiger pH-värdet till ca 10,0 enheter. Vid långvarigt stillestånd stiger pH-värdet till mellan 11,0 och 11,5 pH-enheter, figur 8.



Figur 8. Kolsyrabehandlat rör i 7 dagar jämfört med obehandlat rör.

Försöken som gav indikationer om att möjligheter finns till en viss stabilisering av cementytan bör upprepas med kolsyra under tryck i fuktig atmosfär på alldeles nya rör.

Slutsatser

De resultat som uppnåtts med kemisk stabilisering av cementbruksinfodrade rör i dessa mycket enkla tester visar på att det kan vara möjligt att minska den kraftiga pH-höjningen som allmänt uppträder vid användning av nya cementbruksinfodrade rör. Ytterligare försök under mer kontrollerade betingelser krävs.

REFERENSER

Sontheimer, H: Der "Kalk-Kohlensäure - Mythos" und die instationäre Korrosion. Z. Wasser-Abwasser-Forsch 21, 1988, 219-227.

Lind Johansson, E: Importance of water composition for prevention of internal copper and iron corrosion. Chalmers University of Technology, Department of Sanitary Engineering, Dissertation No 8, 1989.

Künzler, R och Schwenk, W: Änderung der Wasserparameter bei kontakt von Trinkwasser mit frischen Zementmörtel. Gwf-Wasser/Abwasser 127, 1986, H.1.

Samuelsson, P: Kalkutfällningar på betongytor. Statens råd för byggnadsforskning T4:77.

Institutionerna för
Geologi
Geoteknik med grundläggning
Vattenbyggnad
Vattenförsörjnings- och avloppsteknik

GEOHYDROLOGISKA
FORSKNINGSGRUPPEN

Meddelande:

- nr 1 Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning. Lägesrapporter (1972-07-01 - 1973-03-01). 1973. 100 sidor. (Utgången)
- nr 2 Leif Carlsson: Grundvattenavsänkning Del 1. Evaluering av akviferers geohydrologiska data med hjälp av provpumpningsdata. 1973. 67 sidor.
- nr 3 Leif Carlsson: Grundvattenavsänkning Del 2. Evaluering av lågpermeabla lagers hydrauliska diffusivitet med hjälp av provpumpningsdata. 1973. 17 sidor.
- nr 4 Viktor Arnell: Nederbördsräknare. En sammanställning av några olika mätartyper. 1973. 39 sidor. (Utgången)
- nr 5 Viktor Arnell: Intensitets-varaktighetskurvor för häftiga regn i Göteborg under 45-årsperioden 1926-1971. 1974. 68 sidor.
- nr 6 Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning. Lägesrapporter (1973-03-01 - 1974-02-01). 1974. 167 sidor.
- nr 7 Olov Holmstrand, Per O Wedel: Ingenjörsgelogiska kartor - litteraturstudier. 1974. 55 sidor. (Utgången)
- nr 8 Anders Sjöberg: Interim Report. Mathematical Models for Gradually Varied Unsteady Free Flow. Development and Discussion of Basic Equations. Preliminary Studies of Methods for Flood Routing in Storm Drains. 1974. 74 sidor. (Utgången)
- nr 9 Olov Holmstrand (red.): Seminarium om ingenjörsgelogiska kartor. 1974. 38 sidor. (Utgången)
- nr 10 Viktor Arnell, Börje Sjölander: Mätning av nederbördsintensiteter i Göteborgsregionen. Stationsbeskrivning. 1974. 53 sidor. (Utgången)
- nr 11 Per-Arne Malmquist, Gilbert Svensson: Dagvattnets beskaffenhet och egenskaper. Sammanställning av utförda dagvattenundersökningar i Stockholm och Göteborg 1969-1972. Engelsk sammanfattning. 1974. 46 sidor. (Utgången)
- nr 12 Viktor Arnell, Sven Lyngfelt: Interimrapport. Beräkningsmodell för simulering av dagvattenflöde inom bebyggda områden. Geohydrologiska forskningsgruppen i samarbete med VA-verket i Göteborg. 1975. 50 sidor.
- nr 13 Viktor Arnell, Sven Lyngfelt: Nederbörds-avrinningsmätningar i Bergsjön, Göteborg 1973-1974. 1975. 92 sidor.
- nr 14 Per-Arne Malmquist, Gilbert Svensson: Delrapport. Dagvattnets sammansättning i Göteborg. Engelsk sammanfattning. 1975. 73 sidor.
- nr 15 Dagvatten. Uppsatser presenterade vid konferens om urban hydrologi i Sarpsborg 1975. 1976. 33 sidor. Följande uppsatser ingår:
Arnell V. Beräkningsmetod för analys av dagvattenflödet inom ett urbant område.
Lyngfelt S. Nederbörds-avrinningsstudier i Bergsjön, Göteborg.
Sjöberg A. CTH-ledningsnätmodell DACVL-A.
Svensson G. Dagvattnets sammansättning, inverkan av urbanisering. (Utgången)
- nr 16 Grundvatten. Uppsatser presenterade vid konferens om urban hydrologi i Sarpsborg 1975. 1976. 43 sidor. Följande uppsatser ingår:
Andréasson L, Cederwall K. Rubbningar av grundvattenbalansen i urbana områden.
Carlsson L. Djupinfiltration i slutna akviferer.
Torstensson B-A. Följder av grundvattensänkning inom lerområden.
Wedel P. Exempel på dränering av jordlager på grund av tunnelbyggande. (Utgången)
- nr 17 Olov Holmstrand, Per Wedel: Markvattenundersökningar i ett urbant område. 1976. 127 sidor.
- nr 18 Göran Ejdeling: Beräkningsmodeller för prognos av grundvattenförhållanden. 1978. 130 sidor.
- nr 19 Viktor Arnell, Jan Falk, Per-Arne Malmquist: Urban Storm Water Research in Sweden. 1977. 30 sidor.
- nr 20 Viktor Arnell: Studier av amerikansk dagvattenteknik. Resa i december 1976. 1977. 64 sidor.
- nr 21 Leif Carlsson: Reserapport från studieresa i USA samt deltagande i 2nd International Symposium on Land Subsidence in Anaheim, USA. 29 nov-17 dec 1976. 1977. 61 sidor.

- nr 22 Per O Wedel: Grundvattenbildning, samspelet jordlager och berggrund. Exemplifierat från ett försöksområde i Angered. 1978. 130 sidor.
- nr 23 Viktor Arnell: Nederbördsdata vid dimensionering av dagvattensystem med hjälp av detaljerade beräkningsmodeller. En inledande studie. 1977. 29 sidor.
- nr 24 Leif Carlsson, Klas Cederwall: Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning. Geohydrologisk forskning vid CTH, Sektion V, under perioden 1972-75. 1977. 17 sidor.
- nr 25 Lars O Ericsson (red.): Lokalt omhändertagande av dagvatten. Delrapport från första verksamhetsåret 1976-02-01 - 1977-01-31. 1977. 120 sidor.
- nr 26 Ann-Carin Andersson, Jan Berntsson: Kontrollerad grundvattenbalans genom djupinfiltration. En inventering av djupinfiltrationsprojekt. 1978. 273 sidor.
- nr 27 Anders Eriksson, Per Lindvall: Lokalt omhändertagande av dagvatten. Resultatredovisning av enkät rörande drift och konstruktion av perkolationsanläggningar. 1978. 126 sidor.
- nr 28 Olov Holmstrand (red.): Lokalt omhändertagande av dagvatten. Delrapport nr 2 från perioden 1977-02-01 - 1977-11-30. 1978. 69 sidor.
- nr 29 Leif Carlsson: Djupinfiltrationsstudier i Angered. 1978. 70 sidor.
- nr 30 Lars O Ericsson: Infiltrationsprocessen i en dagvattenmodell. Teori, Undersökning, Mätning och Utvärdering. 1978. 45 sidor.
- nr 31 Lars O Ericsson, Permeabilitetsbestämning i fält vid perkolationsmagasin. Dimensionering. 1978. 15 sidor.
- nr 32 Lars O Ericsson, Stig Hård: Infiltrationsundersökningar i stadsdelen Ryd, Linköping. 1978. 145 sidor.
- nr 33 Jan Hällgren, Per-Arne Malmquist: Urban Hydrology Research in Sweden 1978. Swedish Coordinating Committee for Urban Hydrology Research. 1978. 14 sidor.
- nr 34 Bo Lind, Göte Nordin: Geohydrologi och vegetation i Dalen 5, Karlskoga. 1978. 63 sidor.
- nr 35 Eivor Bucht, Bo Lind: Metodfrågor vid naturanpassad stadsplanering - erfarenheter från studie i Karlskoga. 1978. 65 sidor.
- nr 36 Anders Sjöberg, Jan Lundgren, Thomas Asp, Henriette Melin: Manual för ILLUDAS (version S2). Ett datorprogram för dimensionering och analys av dagvattensystem. 1979. 67 sidor.
- nr 37 Per-Arne Malmquist m fl: Papers on Urban Hydrologi 1977-78. 99 sidor.
- nr 38 Viktor Arnell, Per-Arne Malmquist, Bo-Göran Lindquist, Gilbert Svensson: Uppsatser om Dagvattenteknik. 1978. 30 sidor.
- nr 39 Bo Lind: Dagvatteninfiltration - förutsättningar inom ett bergsområde, Östra Gårdsten i Göteborg. 1979. 32 sidor.
- nr 40 Per-Arne Malmquist (red.): Geohydrologiska forskningsgruppen 1972-78. Sammanställning av uppnådda resultat. 1979. 96 sidor. Kostnadsfri.
- nr 41 Gilbert Svensson, Kjell Øren: Planeringsmodeller för avloppssystem. NIVA-modellen tillämpad på Torslanda avrinningsområde. 1979. 71 sidor.
- nr 42 Per-Arne Malmquist (red.): Infiltrera dagvatten. Diskussioner och figurer från CTH-seminarium 1979-04-20. 1979. 86 sidor.
- nr 43 Bo Lind: Dagvatteninfiltration - perkolationsanläggning i Halmstad. 1979. 58 sidor.
- nr 44 Viktor Arnell, Thomas Asp: Beräkning av bräddvattenmängder. Nederbördens varaktighet och mängd vid Lundby i Göteborg 1921-1939. 1979. 80 sidor.
- nr 45 Stig Hård, Thomas Holm, Sven Jonasson: Dagvatteninfiltration på grönytor - Litteraturstudie, kunskapssammanställning och hypotes. 1979. 278 sidor.
- nr 46 Per-Arne Malmquist, Per Lindvall: Dräneringsrörs igensättning - en jämförande laboratoriestudie. 1979. 44 sidor.
- nr 47 Per-Arne Malmquist, Gunnar Lannér, Erland Högberg, Per Lindvall: SÖDRA NÅSET - ett exempel på förenklad utformning av gator och dagvattensystem i ett upprustningsområde. 1980.
- nr 48 Viktor Arnell, Håkan Strandner, Gilbert Svensson: Dagvattnets mängd och beskaffenhet i stadsdelen Ryd i Linköping, 1976-77. 1980.
- nr 49 Lars O Ericsson, Stig Hård: Termisk registrering, en metod att kartera markvattenhalt - Termovisionsförsök i klimatkammare. 1980. 65 sidor.

- nr 50 Viktor Arnell: Dimensionering och analys av dagvattensystem. Val av beräkningsmetod. 1980. 56 sidor, 22 figurer.
- nr 51 Lars O Ericsson: Markvattenförhållanden i urbana områden. Slutrapport. Göteborg 1980. 115 sidor.
- nr 52 Olov Holmstrand (red.): Ingenjörsgelogisk kartering. Seminarium 1980-04-17. 110 sidor.
- nr 53 Olov Holmstrand: Lokalt omhändertagande av dagvatten. Sammanfattning av forskning om dagvatteninfiltration vid CTH 1976-79. 90 sidor.
- nr 54 Olov Holmstrand, Bo Lind, Per Lindvall, Lars-Ove Sörman: Perkolationsmagasin i ett lerområde. Lokalt omhändertagande av dagvatten i Bratthammar, Göteborg. 172 sidor.
- nr 55 Erland Högberg, Gunnar Lannér: Gatuplanering i bostadsområden i utlandet. Nya principer och lösningar i Danmark, Holland och England. 1981. 110 sidor.
- nr 56 Sven Lyngfelt: Dimensionering av dagvattensystem. Rationella metoden. 1981. 82 sidor.
- nr 57 Erland Högberg: Samband mellan gatustandard och trafiksäkerhet i bostadsområden. En förstudie. 1981.
- nr 58 Jan A Berntsson: Portryckförändringar och markrörelser orsakade av trädvegetation. 1980. 121 sidor.
- nr 59 Per-Arne Malmquist, Stig Hård: Grundvattenpåverkan av dagvatteninfiltration. 1981.
- nr 60 Annika Lindblad: Infiltrationsmätningar utförda vid Geologiska institutionen, CTH/GU, 1972-80. Sammanställning och statistisk bearbetning. 1981. 78 sidor.
- nr 61 Lars O Ericsson, Stig Hård: Termisk registrering - en metod att kartera markvattenhalt. Slutrapport. 1981. 18 sidor.
- nr 62 Jan Pettersson, Elisabeth Sjöberg: SÖDRA NÅSET - En intervjuundersökning rörande två alternativa upprustningsförslag av gator och dagvattentransport. 1981. 36 sidor.
- nr 63 Olov Holmstrand: Praktisk tillämpning av ingenjörsgelogisk kartering. 1981. 114 sidor.
- nr 64 Anders Sjöberg, Nils Mårtensson: REGNENVELOPEMETODEN. En analys av metodens tillämplighet för dimensionering av ett 2-års perkolationsmagasin. 1982. 29 sidor.
- nr 65 Gösta Lindvall: ENERGIFÖRLUSTER I LEDNINGSBRUNNAR - Litteraturstudie. 1982. 35 sidor.
- nr 66 Per-Arne Malmquist: Lathund för beräkning av Dagvattnets föroreningar. 1982. 32 sidor.
- nr 67 Sven Nyström: Kommuns skadeståndsansvar mot VA-abonnet för översvämningsskador. 1982. 71 sidor.
- nr 68 Sven Lyngfelt, Gilbert Svensson: Dagvattenavrinning från stora urbana områden. Simuleringsmetodik exemplifierat på Göteborgsregionen. 1983. 118 sidor.
- nr 69 Hans Bäckman, Gilbert Svensson: Flödesmätning i avloppsnät med portabla utrustningar. Mät noggrannhet under kontrollerade förhållanden i en 225 mm:s betongledning. 1983. 51 sidor.
- nr 70 Olov Holmstrand (red): Naturanpassad stadsplanering i Dalen 5, Karlskoga. Erfarenheter av planeringsprocess och teknik under och efter byggandet. 1983. 114 sidor.
- nr 71 Olov Holmstrand (red): Reservvattentäkter. Redovisning av diskussionsdag 1983-05-18. 1983. 115 sidor.
- nr 72 Gilbert Svensson, Håkan Strandner (övers. och bearb.): NIVANETT manual. Ett datorprogram för simulering av flöden i avloppsnät. 1983. 101 sidor.
- nr 73 Gilbert Svensson (red): Byggande, drift och förnyelse av kommunala va-ledningar. -Är driftstörningarna omfattande? -Projekterar vi på bästa sätt? - Var ligger kostnaderna? 1984. 98 sidor.
- nr 74 Hans Bäckman: Avloppsledningar i svenska tätorter i ett historiskt perspektiv. -Ett sammandrag av tekniska förutsättningar, idéer och diskussioner under 1900-talets ledningsbyggande. 1984. 123 sidor.
- nr 75 Ann-Carin Andersson, Olov Holmstrand, Erik Almling, Rolf Rosen, Kjell Söderström: Infiltration och alternativa åtgärder vid grundvattensänkning. Jämförande beskrivningar och val av metoder. 1984. 115 sidor.
- nr 76 Viktor Arnell, Henriette Melin: Rainfall data for the design of sewer detention basins. 1984. 79 sidor.
- nr 77 Hans Bäckman: Överläckning från dag- till spillvattenledningar. Metoder för att påvisa och kvantifiera överläckning samt redovisning av mätresultat från kommunala avloppsnät. 1985. 102 sidor.

- nr 78 Chester Svensson, Göran Sällfors: Beräkning av dimensionerande grundvattentryck. 1. Göteborgsregionen. 1985. 43 sidor.
- nr 79 Jan-Arne Nilsdal: Källaröversvämning i samband med regn. Reflexioner kring ett skadedrabbat bostadsområde i Göteborg. Några förslag på hur förbättrad säkerhet hos kommunala avloppsledningar kan erhållas. 1985. 68 sidor.
- nr 80 Bo Lind, Mats Nyborg: Moränstruktur och hydraulisk konduktivitet. 1986. 55 sidor.
- nr 81 Gösta Lindvall: Energiförluster i ledningsbrunnar. Laboratoriemätningar. 1986. 49 sidor.
- nr 82 Per Warnolf: Jorderosion i rörgravar för VA-ledningar. Laboratorieförsök och litteraturstudie. 1988. 105 sidor.
- nr 83 Bo Lind, Mats Nyborg: Sediment structures and the hydraulic conductivity in till. 1988. 73 sidor.
- nr 84 Chester Svensson: Analys av påverkade grundvattennivåer. 1988. 44 sidor.
- nr 85 Lars Rosén: Sårbarhetsklassificering av grundvatten. Rapport från en studieresa i USA. 1988. 112 sidor.
- nr 86 Chester Svensson, Göran Sällfors: Beräkning av dimensionerande grundvattentryck. 2. Stockholmsregionen. 1988. 61 sidor.
- nr 87 Chester Svensson, Göran Sällfors: Beräkning av dimensionerande grundvattentryck. 3. Övriga södra Sverige. 1988. 78 sidor.
- nr 88 Teresia Reuterswärd Wengström: Kartläggning av skador på segjärnsledningar i Göteborg 1977-1987. 1989. 39 sidor.
- nr 89 Göran Sällfors: Punktskattningsmetoden - En statistisk metod användbar på geotekniska problem. 1990. 48 sidor.

