

Jernkorrosjon i drikkevannsledninger - betydningen for korrosjonen av vannhastighet og vannbehandling for fjerning av NOM

Av Lars J. Hem, Stein Wold Østerhus, Ann Elfström Broo og Bo Berghult

Dr.ing. Lars J. Hem er ansatt hos Aquatem AS, Dr.ing. Stein Wold Østerhus er ansatt hos SINTEF, Ann Elfström Broo, PhD, og Bo Berghult, PhD, er ansatt hos Miljøkemigruppen i Sverige AB

Sammendrag

Det er gjennomført et felles norsk-svensk forskningsprosjekt om innvendig jernkorrosjon i drikkevannsledninger. Formålet med prosjektet var å bedre forståelsen for vannkvalitetens og strømningshastighetenes betydning for denne korrosjonen. For å fremskaffe det nødvendige data-grunnlaget ble det gjennomført forsøk og målinger av ulik art ved 8 vannverk. Metodene som ble benyttet omfattet korrosjonsmålinger med vekttingskupper ved både konstante og varierende strømningsforhold, overflate og belegganalyse av korrosjonsprodukter, vekttingsmålinger i stagnant vann og elektrokjemiske målinger.

Med utgangspunkt i resultatene ble det utviklet en modell som inkluderer ulike faser i korrosjonsprosessen; initialfasen, en fase med oppbygning av et korrosjonsbeskyttende belegg og "steady-state"-fasen.

Basert på resultatene fra prosjektet kan følgende generelle anbefalinger gis:

- Det er ønskelig med en jevn strømningshastighet for å redusere korrosjonshastigheten i ledningsnett
- Høy alkalitet og høy pH reduserer jernkorrosjonen
- NOM har en inhiberende effekt på jernkorrosjonen i så vel initial-, oppbygnings- og "steady state"-fasen

Abstract

In a joint Norwegian-Swedish research project on internal iron corrosion in water distribution systems, the aim was to improve the knowledge about the effect of water quality and flow rate on the corrosion. Several methods for corrosion measurement were used at 8 waterworks. The methods included weight loss

measurements on coupons placed in flowing water with different flow patterns, surface analysis of the corrosion products, weight loss measurement in stagnant water and electrochemical measurements.

Based on the results, it was developed models for the different phases of the corrosion process; the initial phase; the build-up phase; and the steady state phase. This categorizing in phases has been used during data evaluation and discussion throughout this project.

Based on the results from the project the following general recommendation can be made:

- It is desirable to have constant flow rate to reduce iron corrosion in the distribution system
- High alkalinity and high pH reduces iron corrosion
- NOM is likely to inhibit the iron corrosion in the initial phase as well as in the build-up and steady state phases

Bakgrunn

Korrosjon i vannledninger av jern, dvs. stål og støpejern, er et av de største problemene vannverkene har. Korrosjonen forårsaker redusert vannkvalitet, både pga. et økt jerninnhold og pga. faren for innsug av forurenset vann der det er tæret hull i røret, i tillegg til lekkasjer, rørbrudd og økte rustavleiringer som gir trykktap og redusert kapasitet i rørene.

I et litteraturstudie (Elfström Broo et al., 2001), der teori og målemetoder for korrosjon er utførlig beskrevet, fremkom det bl.a. at undersøkelser av

vannkvalitetens betydning for innvendig jernkorrosjon i drikkevannsledninger har blitt gjennomført enten i konstant strømmende vann eller i stagnant vann. Vannhastigheten i drikkevannsledninger er imidlertid gjerne varierende. I dette prosjektet har en derfor studert effekten på korrosjonen av vannhastigheten og variasjoner i hastigheten over døgnet.

Ved de fleste vannverk med overflatevann som råvann har en vannbehandlingsprosesser som fjerner naturlig organisk materiale (NOM). Ulike vannbehandlingsprosesser vil påvirke vannkjemien på ulike måter, og metode for å fjerne NOM kan derfor også påvirke korrosjonen.

Det er et langsiktig mål å kunne utforme enkle og tydelige retningslinjer for hvordan vannverkene bør behandle vannet ut fra korrosjonshensyn, tatt i betraktning ledningsnettets sammensetning med hensyn på rørmaterialer, strømningsforholdene i ledningsnettet, råvannskvalitet og vannkvalitet forøvrig.

Det er gjennomført et felles norsk-svensk FoU prosjekt om korrosjon i drikkevannsledninger, begrenset til jern som rørmateriale, der målet var å fremskaffe den nødvendige kunnskapen for:

- Å bidra til økt kunnskap om strømningshastighetens effekt på jernkorrosjon
- Å kunne vurdere effekten av NOM på jernkorrosjon
- Å kunne gi kvalifisert råd og veiledning til vannverkene med hensyn på optimal vannkvalitet for å redusere jernkorrosjon

Metodikk

Det ble gjennomført korrosjonsmålinger med vekttafskupper av stål i rent vann fra totalt 8 vannverk i Norge og Sverige. Kuponene var plassert parallelt med vannstrømmen i vertikale oppstrøms pleksiglassrør i en målerigg. Korrosjonsmålingene pågikk i 12 måneder, med uttak av kuponger etter 6, 9 og 12 måneder. Forskjellene i kupongenes vekt ved start og etter uttak av kupongene ble benyttet for beregning av korrosjonshastighet. Vekttafskupperne ble også mikroskopert for å måle dybde ved eventuell groptøring, i tillegg til at det ble gjennomført Scanning Electron Microscopy (SEM) og

røntgen-analyse av kupongtverrsnitt med korrosjonsprodukter. De sistnevnte analysene gir informasjon om korrosjonsangrepets art, samt korrosjonsbeleggets tykkelse, struktur og sammensetning. Det ble også gjennomført målinger av korttids korrosjonsmålinger i stagnant vann og redokspotensial, men det sistnevnte omtales ikke under.

Det ble valgt vannverk som har en vannbehandling med ulike metoder for fjerning av NOM, korrosjonskontroll og desinfeksjon. Det var 7 vannverk med overflatevann som råvannskilde, og ett grunnvannverk. Vanntype og vannkvalitet er vist i tabell 1.

Tabell 1. Forsøksplan med kommune/vannverk, vannkvalitet og omfanget av målinger og forsøksrigg

Vanntype	Vannkvalitet pH	Alkalitet (mekv/l)	Kalsium (mg/l)	TOC (mg/l)	Kommune/ vannverk	Varierende strømnings- hastighet
Kjemisk felling, korrosjonskontrollert + klor	8,0	1,0	20	2,2	Göteborg/Lackarebäck	Ja ¹
Hardt grunnvann, trykkfilter før Fe og Mn + lav klordose	7,5	4,3	110	1,4	Simrishamn/Hamnabro	Ja ¹
Korrosjonskontrollert, ozon og biologisk aktivt kull og klor	8,0	1,0	20	3,4	Partille/Kåsjön	Nei ²
Direktefiltrert, korrosjonskontrollert + UV	8,0	1,0	20	3,7	Mellerud/Sverkersbyn	Nei ²
Direktefiltrert, korrosjonskontrollert + klor	8,0	0,7	17	2,5	Oslo/Skullerud	Ja ¹
Membranfiltrert, korrosjonskontrollert, UV	7,6	0,3	7	0,6	Stjørdal/Ulstadvatnet	Ja ¹
Ionebytte, klor, vannglass	8,0	0,13	2	1,9	Meråker/Meråker	Nei ²
Membranfiltrert, vannglass, UV	7,2	0,12	1	0,5	Orkdal/Orkdal	Nei ²

1) Varierende strømningshastighet og redoksmålinger. Vannhastighetene i løpet av ett døgn var:

- 0,2 m/s i 13 timer, 0,03 m/s i 11 timer
- 0,2 m/s i 13 timer, 0 i 11 timer
- 0,03 m/s i 24 timer
- 0,2 m/s i 24 timer
- 0,2 (for redoksmålinger)

Vannhastighetene ble endret 2 ganger/døgn. Det var totalt 5 rør, hvorav 4 med 12 jernkupper og 1 med jernrør.

2) Konstant strømningshastighet (0,2 m/s) og redoksmålinger. Det var totalt 2 rør, hvorav 1 med 12 jernkupper og 1 med jernrør.

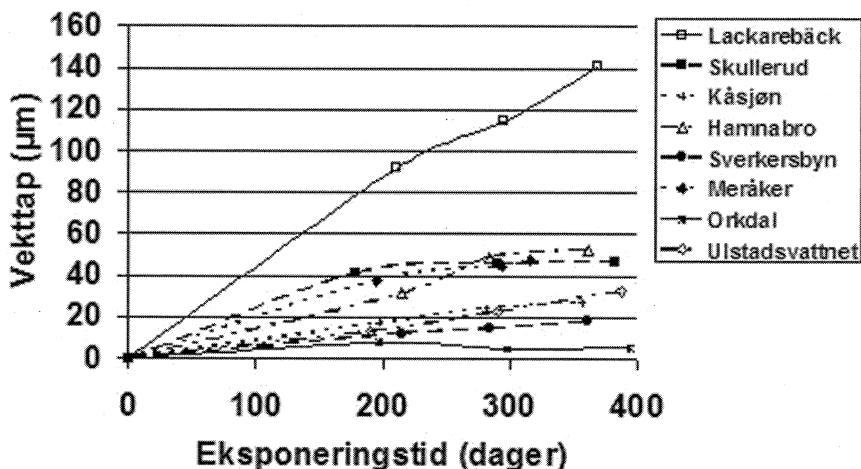
Det ble også utført omfattende vannanalyser av rentvann fra de ulike vannverkene, med fokus på et stort antall vannkvalitetsparametre som kan ha innflytelse på korrosjonen, som pH, alkalitet, kalsium, sulfat, klorid, naturlig organisk materiale (NOM), samt silisium som er viktig der det benyttes natriumsilikat som korrosjonsinhibitor.

Resultatene fra korrosjonsmålingene ble brukt til å utvikle en empirisk modell for korrosjonsforløpet.

Resultater og diskusjon

Korrosjonsforløp

Målt akkumulert korrosjon ved de 8 vannverkene ved konstant høy vannhastighet er vist i figur 1.



Figur 1. Målt akkumulert korrosjon ved konstant høy vannhastighet

Ved Lackarebäck ble målingene dessverre forstyrret av at en betydelig mengde partikler i perioder ble tilført måleriggen, og dette er en vesentlig del av årsaken til at resultatene i figur 1 viser svært høye vekttap ved dette vannverket. Figuren illustrerer videre at korrosjonsforløpene varierer betydelig, og at det var behov for en modell eller metodikk for tolkning av slike data.

Utvikling av empirisk modell

Resultater fra elektrokjemiske korrosjonsmålinger er tidligere benyttet til

å utvikle modeller for korrosjonshastigheter i stagnant vann ut fra medianverdien av parallelle målinger, f.eks. av Sander et al. (1996, 1997). Ved utviklingen av en empirisk modell for korrosjonshastigheten i strømmende vann ble medianverdien av vekttapsmålinger i tre parallelle målinger pr. uttak lagt til grunn.

I beskrivelsen av korrosjonsforløpet er det forutsatt at før det dannes et beskyttende belegg på metallet skjer korrosjonen med en hastighet r :

$$r = k_1 \cdot a$$

der a er arealet tilgjengelig for korrosjon og k_1 er en hastighetskonstant. Når det dannes korrosjonsprodukter dekket deler av overflaten, og tilgjengelig areal for korrosjon reduseres. Korrosjonshastigheten reduseres da, og korrosjonsforløpet over tid kan beskrives med (II):

$$r = k_1 \cdot a_0 \cdot (1 - k_2)^t$$

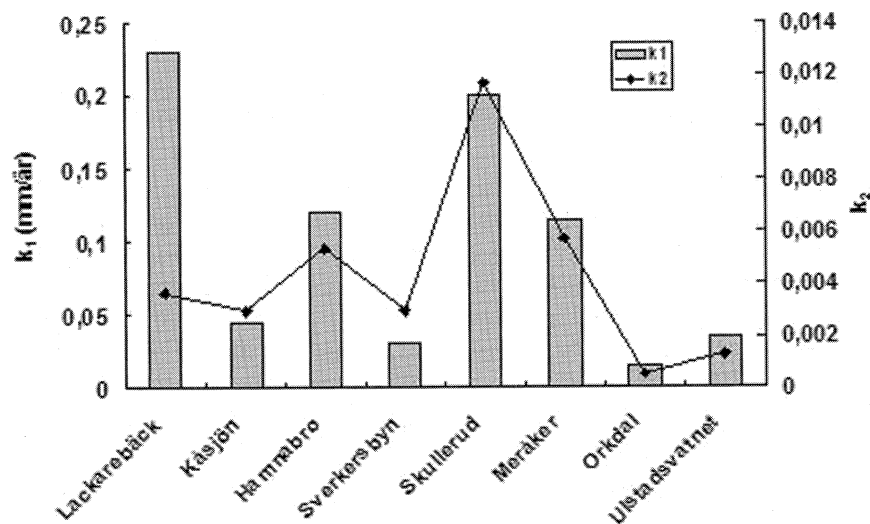
der a_0 er det totale arealet og k_2 er en dimensjonsløs konstant som beskriver beleggdannelsen.

Ved å integrere (II) fås en funksjon for vekttapet (III):

$$\Delta m = k_1 \cdot a_0 \cdot \left[\frac{(1 - k_2)^t - 1}{\ln(1 - k_2)} \right]$$

Dersom beleggdannelsen er langsam blir k_2 liten. Dette gir over tid en jevn korrosjonshastighet som er høy i forhold til der overflaten dekket raskt. Dersom overflaten dekket raskt vil korrosjonshastigheten synke raskt selv om k_1 er liten.

Ved å tilpasse måleresultatene til ligning (III) kan k_1 og k_2 bestemmes, og korrosjonsforløpet over tid kan beskrives. Disse resultatene er deretter benyttet til å vurdere effektene av strømningshastigheter og vannkvaliteter. For å oppnå lav korrosjonshastighet på sikt er det ønskelig med en lav verdi for k_1 og en høy verdi for k_2 . k_1 og k_2 er vist i figur 3.



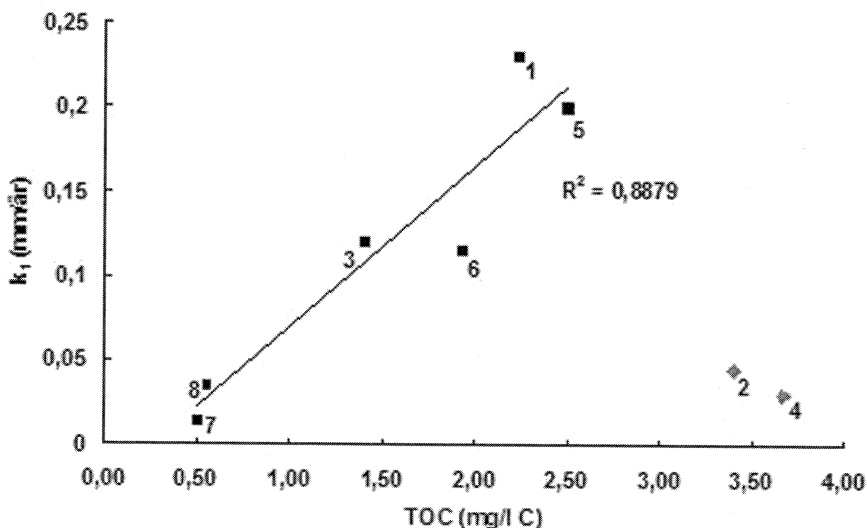
Figur 3. k_1 og k_2 for ulike vannverkene ved høy og jevn vannhastighet

k_1 varierer betydelig mellom de ulike vannverkene, og k_2 følger i hovedsak variasjonene i k_1 . Det er meget sannsynlig at det er en kobling mellom disse konstantene fordi en dannelse av et belegg av korrosjonsprodukter forutsetter en viss korrosjon. Et unntak var Lackarebäck, der det var en lav verdi på k_2 fordi det i forsøks-

perioden var et høyt innhold av partikler i vannet som påvirket belegg-dannelsen negativt.

Effekter av NOM

Det ble påvist en sammenheng mellom verdiene på k_1 og vannets innhold av NOM, som vist i figur 4.



Figur 4. k_1 som funksjon av NOM målt som TOC. Lackarebäck(1), Kåsjön(2), Hannabro(3), Sverkersbyn(4), Skullerud(5), Meråker(6), Orkdal(7), Ulstadvatnet(8).

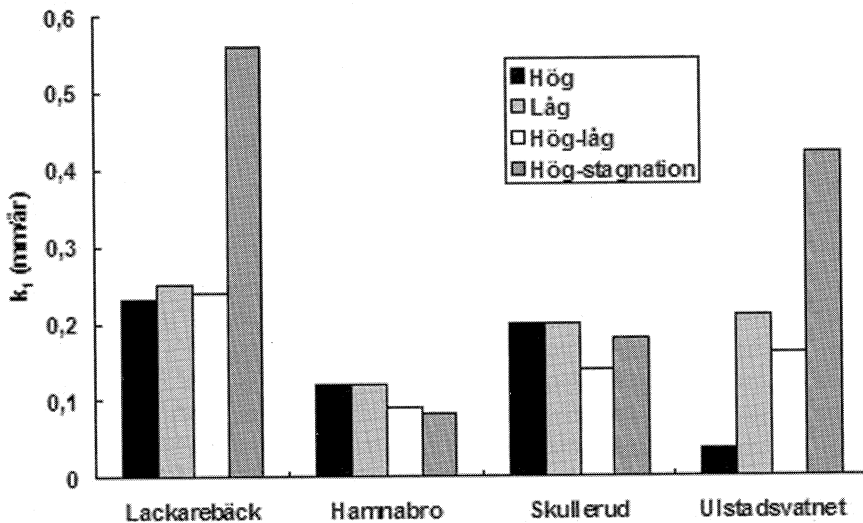
Det var en tydelig sammenheng mellom k_1 og TOC-innholdet, med unntak ved Kåsjön og Sverkersbyn. Ved Kåsjön benyttes ozonering, noe som tidligere er påvist å redusere korrosjonshastigheten for jern (Rudek, 1979). Denne reduksjonen kan forklares med endringer i funksjonelle grupper på NOM. Ved Sverkersbyn benyttes ikke ozon, men UV-desinfeksjon. Ved UV-behandlingen **kan** det dannes hydroksylradikaler som oksiderer NOM på

samme måte som ozon. UV-desinfeksjon benyttes også i Orkdal og Ulstadvatnet, men pga. det lave innholdet av NOM ved disse vannverkene er det ikke gitt at effektene av UV-behandlingen på NOM blir den samme. Verken klorering, tradisjonelle korrosjonsparametre som pH, alkalitet og kalsium, eller silisium, kan alene forklare forskjellene i k_1 i figur 4, selv om alle disse parametrene utvilsomt påvirker korrosjonen.

Effekter av strømningshastighet

Når vannhastigheten varierer påvirker dette oppbyggingen av et beskyttende sjikt av korrosjonsprodukter. k_1 ble i relativt liten grad påvirket av de ulike strømningsforholdene i hardt og korrosjonsbeskyttet vann, som vist i figur 5. Et unntak var ved kombinasjonen av høy vannhastighet og stagnasjon ved Lackarebäck. At mengden

tilførte partikler ved Lackarebäck skulle påvirke ikke bare k_2 , men også k_1 , i en så stor grad som resultatene tilsier, virker urimelig. Resultatene fra Lackarebäck må trolig forklares ut fra kjemiske og/eller biologiske prosesser knyttet til partiklenes sammensetning og sedimentering og/eller heft på metallflaten eller i belegget.

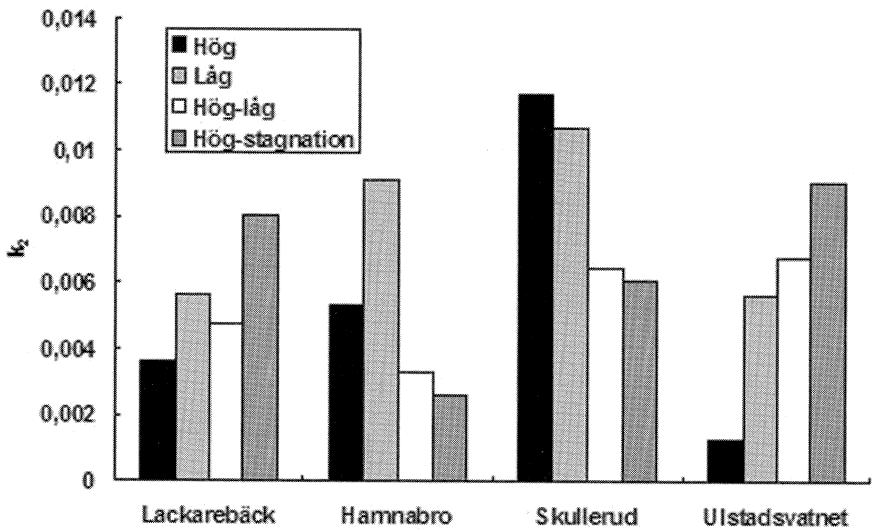


Figur 5. k_1 ved ulike strømningsforhold

I Ulstadsvatnet, der alkaliteten er relativt lav, hadde strømningsforholdene åpenbart stor betydning for k_1 , noe som trolig kan forklares med at vannkvaliteten ble endret som følge av oppholdstiden i røret med vekttingskuponene.

k_2 ble betydelig påvirket av strømningsforholdene, som vist i figur 6. I hardt og korrosjonskontrollert vann, med unntak av ved Lackarebäck der

resultatene var sterkt påvirket av partiklene i vannet, sank k_2 ved synkende vannhastighet. Dette tilsier et belegg som var dårligere og/eller dekket kupongene i mindre grad enn ved høye vannhastigheter. Med et relativt bløtt vann steg k_2 ved synkende vannhastighet, men fordi også k_1 steg var ikke påvirkningen på korrosjonshastighetene så stor som resultatene i figur 6 tilsier.



Figur 6. k_2 ved ulike strømningsforhold

På bakgrunn av resultatene kan det konkluderes med at kombinasjonen av høy vannhastighet og stagnasjon er minst gunstig for oppbygging av et korrosjonsbeskyttende belegg, noe som er beklagelig fordi slike strømningsforhold ofte vil forekomme i et ledningsnett.

Groptæring

Prøvene som ble tatt ut etter 12 måneder ble undersøkt med hensyn på groptæring. Etter at korrosjonsproduktene var fjernet ble kupongen studert i mikroskop, og både dybden på den største gropen og andelen av kupongen som var tæret helt bort ble målt.

På de fleste kupongene var det områder med dypere korrosjon enn den midlere korrosjonen. Det var imidlertid kun på kuponger fra Hamnabro (konstant strømmende vann, 0,2 m/s),

Orkdal, Kåsjøn og Sverkersbyn at det var utpreget groptæring. Ved de tre sistnevnte anleggene var den jevne korrosjonshastigheten svært lav, og metalloverflaten hadde lite spor av korrosjon selv etter ett år. Når det samtidig ble påvist groptæring kan dette forklares med at det ble dannet et passiverende sjikt på kupongene, men at det forekom imperfeksjoner på kupongene i løpet av denne prosessen, med groptæring under sjiktene som resultat. Både i Orkdal og Sverkersbyn var det groper på 0,55-0,6 mm, selv om den jevne korrosjonen var svært lav. Det må understrekes at i Orkdal var det kun én dyp grop på en av tre kuponger.

Det var dermed ingen proporsjonalitet mellom den jevne korrosjonen og gropdybdene, men groptæring ble tvert imot påvist der den jevne korrosjonen var lavest.

Belegganalyser

Korrosjonsbeskyttelse og redusert korrosjon kan oppnås når det dannes et kontinuerlig tett og kompakt belegg nær metalloverflaten. Diskontinuerlige belegg fører ofte til en lokalisering av korrosjonsangrepet. Lave eller alternerende strømningshastigheter reduserer tettheten og kompaktheten til belegget, men øker mengden kalsiumkarbonat i belegget. Belegg med redusert tetthet og kompakthet gir dårligere korrosjonsbeskyttelse.

Ved for eksempel Skullerud var det et relativt tett sjikt av ulike jernoksid/karbonater nærmest metalloverflaten og større mengder voluminøs FeOOH mot vannfasen. Ved Lackarebäck var det derimot et noe mindre tett sjikt av ulike jernoksid/karbonater mot vannfasen mens det var store mengder voluminøs FeOOH under dette sjiktet mot metalloverflaten. I tillegg inneholdt deler av belegget ved Lackarebäck betydelige mengder aluminiumhydroksid partikler. Ved Hamnabro inneholder belegget en del kalsiumkarbonat, spesielt ved lav og alternerende strømningshastighet. Dette var imidlertid ikke "ren" kalsiumkarbonat da det var et betydelig innslag av silikater. Ved dosering av vannglass fikk man en del jernsilikater i belegget.

Enkelte betingelser ga en nærmest passiv jernoverflate med kun et svært tynt sjikt som nærmest stanset den jevne korrosjonen. Følgende av forsøksbetingelsene resulterte i slik passivering:

1) Hamnabro ved høy strømningshastighet.

- 2) Kåsjøn ved høy strømningshastighet.
- 3) Sverkersbyn ved høy strømningshastighet.
- 4) Orkdal ved høy strømningshastighet.

Årsaken til at korrosjonen ved Hamnabro ikke var lavere, var at det her var omfattende grad av groptæring. Det ble som før nevnt også registrert groptæring ved Kåsjøn og Sverkersbyn, og i mindre grad ved Orkdal.

Dette reiser en del interessante spørsmål, som for eksempel:

- a) Hvilke (andre) betingelser gir passivering?
- b) Kan passivering oppnås også ved lav eller alternerende strømningshastighet?
- c) Hva er årsaken til groptæring på passive overflater og hvordan kan risikoen reduseres?
- d) Er det egentlig ønskelig å forsøke å oppnå en tilnærmet passivering med tanke på risikoen for groptæring?

Basert på resultatene kan man si at passiv jernoverflate **kan** oppnås ved følgende generelle vannkvaliteter forutsatt høy strømningshastighet:

- Vann kraftig overmettet med hensyn på kalsiumkarbonat, høyt silikatinhold og lavt innhold av TOC, dvs. hardt grunnvann.
- Karbonatisert vann med høyt innhold av TOC og lavt fargetall (høyt innhold av lavmolekylær NOM).

- Vannglassdosering til svært ionefattig vann med svært lavt TOC-innhold, dvs. for eksempel nanofiltrering med vannglass-dosering.

Korrosjonsmålinger under stagnante forhold

Under stagnante forhold kan korrosjonsmålinger korreleres til overflatekompleksmodellen (Elfstrøm Broo et al., 2001). Resultatene fra korrosjonsmålinger under stagnante forhold viste at korrosjonshastigheten synker med økende alkalitet. De laveste korrosjonshastighetene synes å forekomme ved pH ca. 8,5. Ved denne optimale pH-verdien reduserer NOM korrosjonshastigheten.

Vurdering av data fra tidligere utførte korrosjonsmålinger på Skullerud med den utviklede modellen

I 1998-2000 ble det gjennomført korrosjonsmålinger med vekttafskupper ved Skullerud med en rekke ulike vannkvaliteter. Målingene gikk over 9 måneder med uttak etter 2, 4, 6 og 9 måneder. Målingene ble gjennomført ved en konstant vannhastighet på 0,2 m/s. Resultatene ble vurdert ved å anta at korrosjonen i de tre siste månedene var mest representativ for den langsiktige korrosjonen. Resultatene av disse vurderingene er vist i tabell 2.

Tabell 2. Korrosjonshastigheter for jern de siste 3 månedene. (Korrosjonshastigheten er vekttafs etter 9 mnd minus vekttafs etter 6 måneder dividert på tiden 3 måneder.) (Hem, 2001).

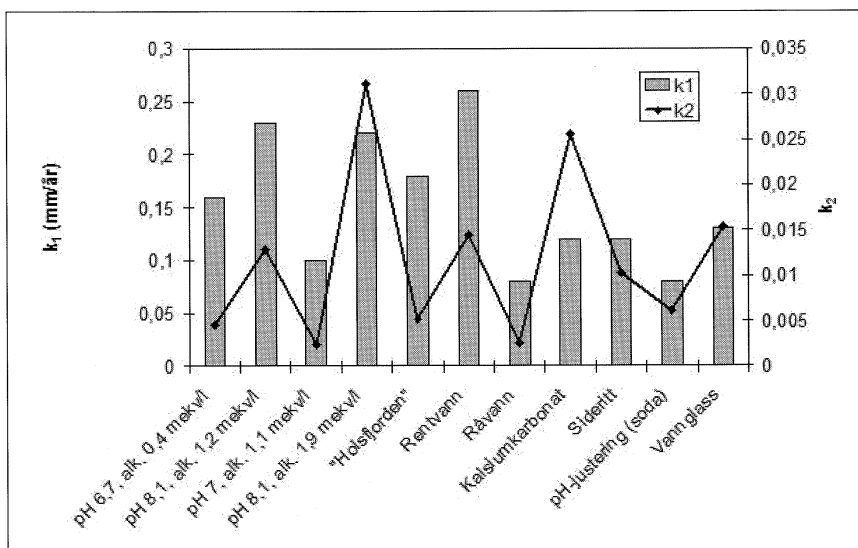
Forsøkslinje	Vannkvalitet				Korrosjonshastighet de siste 3 månedene angitt som mm/år
	pH	Kalsium (mg Ca/l)	Alkalitet (mekv/l)	TOC (mg/l)	
Rentvann	8,1	19	0,7	2,8	36
Råvann	6,4	4	0,1	4,7	39
"Calcite"	8,0	52	2,2	2,8	0
"Siderite"	6,6	10	1,6	2,8	39
Soda	7,8	4	0,3	4,7	18
Vannglass	8,0	4	0,2	4,7	27
pH 6,7, alkalitet. 0,4 mekv/l	6,7	16	0,4	2,8	57
pH 8,1, alkalitet. 1,2 mekv/l	8,1	15	1,2	2,8	0
pH 7, alkalitet. 1,1 mekv/l	7,0	31	1,1	2,8	76
pH 8,1, alkalitet. 1,9 mekv/l	8,1	30	1,9	2,8	0
"Holsfjorden"	7,1	3	0,2	4,7	64

Resultatene som er vist i tabell 2 ga grunnlag for å konkludere med at:

- Det var gunstig med høy pH, høy alkalitet og et høyt kalsiuminnhold
- Vannglass ga ikke bedre korrosjonbeskyttelse enn pH-justering med soda
- Det var like høye korrosjonshastigheter i rentvann som i råvann

I tillegg viste resultatene at den initielle korrosjonen, her målt etter 2 måneder, var spesielt høy i rentvann fra Skullerud.

Resultatene fra målingene på Skullerud er her vurdert på ny ved bruk av modellen som er utviklet i det svensk-norske samarbeidsprosjektet. De beregnede verdiene for k_1 og k_2 er vist i figur 7.



Figur 7. k_1 og k_2 for ulike vannkvaliteter ved forsøk på Skullerud

Resultatene i figur 7 viser at med et høy pH og alkalitet i vannet ble k_1 høy, dvs. at den initielle korrosjonen var høy. Dersom kalsiumkarbonatinnholdet var på eller over metning var imidlertid k_2 svært høy, dvs. at metallflaten raskt ble dekket med et beskyt-

tende belegg. For de vannkvalitetene der pH var mindre eller lik 7,1 var k_2 lav, og selv om den initielle korrosjonen i noen av disse vannkvalitetene var lav blir den langsiktige korrosjonen høy.

Dersom vurderingen ut fra modellen med k_1 og k_2 sammenlignes med de opprinnelige konklusjonene ser en følgende:

- Det var gunstig med høy pH og høy alkalitet
- Vannglass ga ikke bedre korrosjonsbeskyttelse på kort sikt enn pH-justering med soda, men pga. en høyere k_2 -verdi med vannglass kan dette gi en lavere langsiktig korrosjonshastighet
- Korrosjonsforløpene i rentvann og råvann var svært forskjellige. Når en på bakgrunn av korrosjonshastighetene fra 6 til 9 måneder fikk tilnærmet samme korrosjonshastighet med de to vannkvalitetene betyr ikke dette at hastighetene vil forbli like. Korrosjonen i rentvannet vil trolig avta over tid, mens dette mindre grad vil skje i råvann.

Bruk av den nylig utviklede modellen på eldre data ga grunnlag for å nyansere de opprinnelige konklusjonene, og bidro i noen grad til å forklare resultatene.

Konklusjoner

Med utgangspunkt i forsøksresultater er det laget en empirisk modell for oppbyggingen av et beskyttende belegg av korrosjonsprodukter, og korrosjonshastighetene i denne perioden. Modellen er også anvendt på tidligere korrosjonsmålinger, og dette har dels gitt grunnlag for å nyansere tidligere konklusjoner.

Ingen enkeltstående vannkvalitetsparameter var bestemmende for den

initielle korrosjonen eller oppbyggingen av et beskyttende belegg. Både tradisjonelle korrosjonsparametre som pH, alkalitet, kalsium, klorid og sulfat, silikat og mengde og sammensetning av det organiske materialet har betydning for disse prosessene. NOM hadde totalt sett en reduserende effekt på korrosjonshastighetene, og spesielt tydelig var denne effekten der ozonering og eventuelt UV-bestråling endret sammensetningen av det organiske materialet. Dessverre var det en utpreget groptæring der den jevne korrosjonen var lav, noe som viser at sammenhengen mellom vannkvalitetsforringelse pga. korrosjon og groptæring ikke er entydig.

Resultatene fra vannverkene med vannglassdosering viste at slik dosering **kan** forebygge korrosjon, men resultatene gir ikke grunnlag for å vurdere hvilke andre forhold som avgjør om en slik vannbehandling er vellykket som korrosjonskontroll.

Variierende strømningshastighet endret forutsetningene for dannelse av et korrosjonsbeskyttende belegg negativt, og spesielt kombinasjonen av høy strømningshastighet og stagnante forhold var ugunstig. For norske forhold tilsier dette at ved vannverk der en lykkes i å redusere lekkasjene kan en møte nye utfordringer med hensyn på korrosjon og påfølgende vannkvalitetsforringelse.

Etter at det er dannet et korrosjonsbeskyttende belegg avgjøres korrosjonen av vedlikehold og oppløsning av dette sjiktet. Dette prosjektet har demonstrert at strømningsforholdene påvirker disse prosessene, og at i strømmende vann kan ikke korro-

sjonen vurderes uavhengig av hydrauliske forhold.

Under stagnante forhold ble korrosjonshastighetene lavest med et høy alkalitet, og ved pH ca. 8,5. Under disse forholdene reduserte NOM korrosjonshastigheten.

Behov for videre forskning

Prosjektet har gitt økt kunnskap om betydningen av strømningsforholdene for jernkorrosjon. Det er også vist at NOM har betydning for alle faser av korrosjonen, og at sammensetningen av NOM har stor betydning i denne sammenheng. Det er imidlertid behov for et mer inngående studium av betydningen av ulike deler av NOM for korrosjonen.

Resultatene indikerer at biofilmdannelse kan påvirke korrosjonen, men denne effekten bør være gjenstand for et grundigere studium.

Resultatene har også vist at grop-tæring kan opptre under forhold som gir lite jevn korrosjon, og at grop-tæringen dermed bestemmes av andre forhold enn den jevne korrosjonen. Det er grunn til å tro at "forurensninger" i et dekkende belegg kan være årsak til groptæring, men pga. de uheldige konsekvensene av groptæring er det viktig å løfte dette emnet fra tro til viten.

Det er vist at dosering av silikat i form av vannglass kan ha en korrosjonsforebyggende effekt i et relativt ionefattig vann. SINTEF, Aquateam og Oslo kommune gjennomfører et full-skala FoU-prosjekt som tar sikte på å frembringe ytterligere kunnskap om beleggdannelse ved bruk av vannglass for korrosjonskontroll. Det er i

t tillegg behov for mer dokumentasjon av vannkvalitetsutviklingen før, under og etter vannglassdosering, fordi vannglass forventes å kompleksbinde jern og på den måten løse opp korrosjonsprodukter. Det sistnevnte som er spesielt interessant fordi det i flere norske vannverk uten vannglassdosering er registrert en akkumulering av korrosjonsprodukter i ledninger med lav vannhastighet.

En takk til bidragsytere

Vi vil rette en takk til Norges Forskningsråd og Svenskt Vatten, VAFORSK, som har finansiert arbeidet. Prosjektet har i betydelig grad blitt gjennomført ved korrosjonsmålinger på norske og svenske vannverk, og vi vil takke vannverkene for samarbeidet.

Referanser

Elfström Broo, A., Berghult, B., Østerhus, S. W. og Hem, L. J., 2001, Jernkorrosjon i drikkevannsledninger: Sammenstilling av norske og svenske forskningsresultater, litteraturoversikt og behov for fremtidig forskning. Sweco VBB VIAK/SINTEF/Aquateam-rapport, juni.

Hem, L. J. 2001, Korrosjonskontroll Skullerudsonen. Effekten av vannbehandlingen for korrosjonshastighetene i ledningsnett. Aquateam-rapport 01-059.

Rudek, R. 1979, *Untersuchungen zum Einfluss von Naturlichen Organischen Wasserinhalstoffen auf die Vorgänge bei der Korrosion in Trinkwasserinstallationen*. Dissertation Univ. Karlsruhe, Germany.

Sander, A, Berghult, B., Elfström Broo, A., Lind Johansson, E och Hedberg T., 1996, *Iron Corrosion in Drinking Water Distribution systems – the Effect of pH, calcium and hydrogen carbonate*, Corr. Sci., 38(3), s. 443-455.

Sander, A, Berghult, B., Ahlberg, E., Elfström Broo, A., Lind Johansson, E. och Hedberg T., 1997, *Iron Corrosion in Drinking Water Distribution systems – Surface Complexation Aspects*, Corr. Sci., 39(1), s. 77-93.

www.asplanviak.no

Asplan Viak +++ - | +++

Asplan Viak er en tverrfaglig rådgivnings- og konsulentvirksomhet med over 400 medarbeidere fordelt på 18 kontorer landet rundt fra Kristiansand i sør til Karasjok i nord. Asplan Viak jobber blant annet innen følgende fagfelt:

-
- | | | |
|-------------------|---------------------|---------------|
| * vannbehandling | * avløpsrensing | * elektro |
| * vannforsyning | * geodata | * arkitektur |
| * ledningsanlegg | * hydrogeologi | * byggteknikk |
| * nettmodellering | * forurenset grunn | * landskap |
| * ledningskart | * renovasjon | * samferdsel |
| * driftskontroll | * avfallshåndtering | * internett |
-

Asplan Viak Sør AS

TK-senteret Longum Park
Serviceboks 701
4808 Arendal

Telefon: +47 37 03 55 60
E-post: arendal@asplanviak.no
Internett: www.asplanviak.no/avsor