

Er det behov for tiltak for å hindre korrosjon innvendig i norske vannledninger?

Av Eilen Arctander Vik

Forfatteren har i dag en halvdagsengasjementsstilling ved SIFF og er til daglig ansatt i Aquateam, Norsk Vannteknologisk Senter A/S, dannet av en gruppe tidligere NIVA-forskere.

Er det behov for tiltak for å hindre korrosjon innvendig i norske vannledninger?

Problemstillingen er meget aktuell, men har ikke et enkelt svar. I denne artikkelen vil problemstillingen bli belyst på grunnlag av erfaringer vunnet gjennom et omfattende prosjekt som startet i 1982 og ventes avsluttet tidlig i 1985. I 1982 startet Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) og Statens Institutt for Folkehelse (SIFF) et samarbeidsprosjekt, Alkalisering av drikkevann. Forfatteren var saksbehandler fra NIVA og Erik Skipperud Johansen fra SIFF.

I 1982 ble fire vannverk, Oset, Sylling, Askim og Moelv besøkt. De tre sistnevnte ble besøkt en gang under normal drift, dvs. med alkalisering og en gang uten alkalisering. Alkaliseringen var etter prosjektgruppens forespørsel blitt stoppet tre til fire dager før anleggsbesøket. Hvert anleggsbesøk involverte diskusjon med ansvarlige i kommunen og driftoperatøren omkring problemene med innvendig korrosjon i vannledningene, om dagens alkaliseringspraksis og om vannkvaliteten i kranvann. Videre ble 10–15 prøvepunkter rundt i ledningsnettet plukket ut i samarbeide med vannverkets folk.

Prøver ble tatt av henstandsvann, dvs. det første vannet som ble tappet om morgenen og av rennende vann, dvs. etter noen minutters tapping. Resultatene fra denne første undersøkelsen er rapportert i en NIVA-rapport; Alkalisering av drikkevann (Vik og andre, 1983).

I 1983 ble midler bevilget av NTNf's drikkevannsutvalg. Prosjektet ble videreført av forfatteren og Einar Bjerkelund (SIFF). Kristy Hendrickson, VALLE-stipendiat fra University of Washington kom til NIVA i mars 1983, og arbeidet hovedsakelig med dette prosjektet fram til des. 1983. I 1983 ble 8 nye vannverk besøkt, hensikten var å få dekket noen flere råvannskvaliteter, få et større spekter av data for vurderingene, samt å finne fram til to vannverk der utprøving av aktuelle tiltak kunne gjennomføres. Sommeren 1983 ble noen svenske og finske vannverk med stabilisering av vannkvaliteten besøkt. Videre ble Aga Gas, Chalmers Tekniska Högskola og Vattenstyrelsen i Finland besøkt. Finsk og svensk policy med hensyn på stabilisering av vannkvaliteten ble diskutert.

Forsøksprogram for utprøving av de to metodene for stabilisering som var i bruk

i Sverige og Finland ble planlagt, og midler for utprøving ble bevilget av NTNFs drikkevannsutvalg. Ved Eidsberg vannverk er CO₂ og kalkdosering (hydratkalk) under utprøving. Ved Grimstad undersøkes trefaseoppløseren for oppløsning av CaCO₃ og stabilisering av vannkvaliteten. Resultater fra denne delen av prosjektet vil senere bli presentert i Vann. Hensikten med prosjektet er å skaffe tilveie dagens viten omkring justering av vannkvaliteten for å hindre innvendig korrosjon i vannledninger. Hygieniske, prosesstekniske og korrosjonsmessige konsekvenser av ulike stabiliseringsmetoder for å hindre innvendig korrosjon vil bli vurdert.

Bl.a. på grunnlag av erfaringene som vinnes gjennom prosjektet vil det bli vur-

dert om helsemyndighetenes vannkvalitets-kriterier som berøres av denne problemstillingen bør revideres.

På grunnlag av en undersøkelse av vannkvaliteten ved 13 ulike vannverk samt utenlandske erfaringer vil nevnte problemstilling bli belyst.

Korrosjonsproblemets økonomiske omfang

Det finnes i dag lite norske data tilgjengelig omkring det økonomiske omfanget av korrosjon i vannledninger og armatur. Det er samlet endel utenlandske erfaringer som tydelig illustrerer problemets størrelse, se tabell 1.

Tabell 1. Utenlandske erfaringer om korrosjonsproblemets økonomiske omfang.

Sted	Årlig tap	Opplysninger	Referanse
Danmark	200 mill. D.kr.	Korrosjon i husinstallasjoner	Nielsen og Yding, 1977
Sverige	200 mill. S.kr.	Rene korrosjonsskader	Aga Gas, 1981
		Samme antagelse brukt som ved	
Sverige	75 S.kr./person	U.S.beregninger	Ryder, 1980
USA	700 mill. US\$	Vannforsyningsnett	
		Inkl. hovedledn. stikkledn.,	
USA, Seattle	30 US\$/husstand	husinst. + rengj. av nettet	Lowthian, 1978

Det er vesentlig å se årlig tap i tabell 1 i lys av hvilken vannkvalitet dette gjelder. Hedberg (1982) har sett på fordelingen av vannkvalitetsparametere som pH, kalsium, alkalitet, SI (Saturation index) og organisk stoff for svenske vannverk med en årlig produksjon over 500.000 m³, se tabell 2.

Vannkvaliteten i Seattle vannverk der man har beregnet årlig korrosjonstap til 30 US\$/husstand (1978 dollar) består av

to ulike råvannskilder med ulike korrosjonsegenskaper (Kennedy Engineers, (1976), se tabell 3. I Seattle har man iverksatt et program for å redusere korrosjonstapene, kalt «low carbonate treatment program». Dette går ut på å stabilisere vannkvaliteten med å øke karbonatinnholdet noe, men ikke til CaCO₃ likevekt. Ryder (1980) diskuterer programmet som går ut på å dosere soda og kalsium (CaO). Ryder har beregnet årlig besparelse p.g.a.

Tabell 2. *Fordelingen av vannkvalitetsparametere ved svenske vannverk med årsproduksjon på mer enn 500.000 m³.*

PARAMETER	PROSENTFORDELING		
	10	50	90
pH	≤ 7.3	≤ 7.8	≤ 8.6
Kalsium (mg/l)	≤ 8	≤ 25	≤ 74
Alkalitet (mg HCO ₃ ⁻ /l)	≤ 17	≤ 48	≤ 170
SI	≤ - 1.60	≤ -0.67	≤ +0.2
Organisk stoff (mg KMnO ₄ /l)	≤ 2	≤ 7	≤ 15

Tabell 3. *Vannkvaliteten i Seattle vannverk, Kennedy Engineers, 1976)*

VANNKILDE	ANALYSEPARAMETER		
	Ca	HCO ₃	pH
	(mg/l)	(mg/l)	
Tolt River	3.0	3.3	6.0
Cedar River	6.0	15.0	7.1
Tolt River, etter stabilisering	4.3	12-14	7.5-8.3
Cedar River, " "	7.4	15-21	7.5-8.3

Tabell 4. *Antatt reduksjon i korrosjonshastigheten ved («Low Carbonate») stabilisering av vannet i Seattle (Ryder, 1980)*

KILDE	RØRTYPE	PROSENT KORROSJONSHASTIGHETS-REDUKSJON
Cedar	Galvanisert stål	40
	Kobber	75
Tolt	Galvanisert stål	30
	Kobber	60

reduisert korrosjon til US\$ 7.2/husstand, mens utgiftene for tiltakene tilsvare US\$ 1.40/husstand. Totalkostnadene for dette tiltaket tilsvare 0.13—0.43 US\$/m³ vann behandlet. Kjemikaliekostnadene ut-

gjorde 70% av disse kostnadene. Man antok å oppnå reduksjoner i korrosjonshastighetene for galvanisert stål- og kobberør, se tabell 4.

For å få et inntrykk av situasjonen i Norge er det nødvendig å se på data fra norske vannverk (Kristiansen, 1979). I

tabell 5 er materiale fra noen fylker samlet.

Tabell 5. *Vannkvalitet ved norske vannverk. Data fra noen vannverk (Kristiansen, 1979)*

FYLKE	ANTALL VANNVERK	INTERVAL FOR KALSIUMKONSENTRASJON (mg Ca/l)	pH-INTERVAL
Finmark	8	0.3 - 12.8	5.7 - 7.0
Troms	65	< 1.0 - 60.0	5.8 - 8.4
Møre & Romsdal	15	1.0 - 12.0	5.5 - 8.7
Hordaland	20	0.3 - 8.6	5.3 - 7.4
Rogaland	24	0.3 - 7.8	4.9 - 7.5
V.-Agder	5	1.6 - 14.0	4.6 - 7.5
A.-Agder	6	1.0 - 2.0	5.3 - 7.8
Telemark	9	1.0 - 5.9	5.5 - 7.3
Østfold	10	3.0 - 10.0	6.4 - 8.8
Hedmark	8	4.5 - 43.0	6.2 - 8.6
Oppland	7	0.3 - 6.5	6.1 - 7.7

Det er verdt å merke seg de til dels ekstremt lave pH-verdier og kalsiumkonsentrasjoner som svært mange norske vannverk sliter med. Til sammenligning med svenske vannverk, har vi en god del bløtere og surere vann.

Ledningsmaterialer i bruk i Norge — korrosjonsbestandiget

For å kunne vurdere de økonomiske konsekvensene av innvendig korrosjon i vannledninger må man ha en skikkelig oversikt over ledningsnett materialer som brukes i Norge. Det statistiske materialet som eksisterer er mangelfullt. Ræstad (1984) har brukt data fra NKS statistikk og data er sammenstilt i tabell 5.

Pr. idag har vi svært lav utskiftningstakt av ledningsnettmateriale i Norge og mye av ledningsnettet vårt er «gammelt».

Ulike ledningsnett-materialer har ulik bestandighet i ulike vannkvaliteter. Grått støpejern er i Tyskland tatt opp etter 100 år og er like fine. Man har funnet et beskyttende belegg på innsiden av rørene som hovedsaklig har bestått av FeCO_3 (Sontheimer et al., 1979). Sammenlignet med norsk vannkvalitet har man her hatt ekstremt hardt vann med meget høy bufferevne ($\text{Ca}^{2+} = 112 \text{ mg/l}$, $\text{HCO}_3^- = 290 \text{ mg/l}$, $\text{pH} = 7.3$). Organisk stoff i vannet antas også å ha en svært positiv virkning m.h.p. filmdannelse på støpejernsrør.

Nye støpejernsrør som legges i bakken har innvendig sementmørtelforing. I Seattle har man undersøkt denne rørtypen. Noen prøvebiter var nesten 30 år gamle, og rørene var fortsatt meget gode, både for Cedar og Tolt vann (Kennedy Engineers, 1976).

Tabell 5. Ledningsnett materiale brukt i norske vannledninger.

Materiale:	Ant. km i bakken	Årlig økning (km)	
		1975	1980
Støpejern 1)	15.000	250	210
Asbestsement 2)	6.000	85	0
PVC	6.000	300	465
Annet	1.000	100	25
Kobberrør	> 90% av alle husinstallasjoner		

- 1) innvendig sementmørtelforing blir stadig vanligere, og de fleste av nyinstallasjonene har innvendig beskyttelse.
- 2) 50—75% har ingen innvendig beskyttelse.

Asbestsementrør (A-C) ble ukritisk brukt her i Norge. I USA bruker man en aggressivitets indeks (AI) for å finne om denne rørtypen kan anvendes. Aggressivitetsindeksen tar utgangspunkt i at kalsium fra A-C-røret løses ut når det ikke er likevekt mellom Ca^{2+} og HCO_3^- i vannet. Mye kritikk har vært reist mot denne forenklete beregningsmåten som ikke alltid stemmer. Den uttrykker imidlertid svært klart at vannets Ca^{2+} og HCO_3^- -konsentrasjon og pH er svært viktig. I Tvedestrand har man meget aggressivt vann (pH = 4.8—5.0, Ca^{2+} = 1 mg/l, HCO_3^- = 0 mg/l) og 25 år gamle rørbiter er tatt opp som viser at det kun er jordtrykket som holder dem sammen. I USA har man vist at høye sinkkonsentrasjoner i vannet sammen med et alkalitet på 50—100 mg HCO_3^- /l og pH = 7.5—8.5 gjør at et beskyttende belegg med sink-karbonat dannes (Larson, 1975). Dette fenomenet er under utprøving av US. EPA, og man har gjort teoretiske beregninger ved 25°C for å finne fram til nødvendig pH-verdi, sink- og bikarbonatkonsentrasjoner.

I Norge vet vi at asbestsementrør tæres meget raskt. Beregninger viser 0.1—0.7 mm/år (Vik, 1984), og målinger viser 0.3—0.4 mm/år. Dette gjelder rør uten innvendig beskyttelse. Rør med innvendig asfaltbelegg viser lav tæring.

I Bellevue som kjøper vann fra Seattle viste forsøk at det er nødvendig å dosere 0.3 mg/l av sink kontinuerlig til vann fra Tolt som var behandlet ved Seattle vannverket (pH = 7.5—8.3, HCO_3^- = 12—14 mg/l, Ca^{2+} = 4.3 mg/l) og å justere pH til 8.5 for å få dannet et beskyttende belegg på innsiden av A-C-rørene (Tate and Ramaley, 1982).

Når det gjelder bestandigheten av plast-rør har vi her lite kunnskap. Sollys virker nedbrytende på en del materialer. Noen typer organiske forbindelser (f.eks. bensinprodukter) kan diffundere gjennom plastveggen og organiske komponenter fra plast-røret kan løses ut i vannet. Effekten av ulike vannkvaliteter har vi i dag mangelfull kunnskap om.

Kobberrør er svært korrosive ved lave pH-verdier. Det er ønskelig at pH er

høyere enn 7.4. For å unngå grottering er det i følge Mattson og Fredriksson (1968) ønskelig at:

$$\text{pH} \geq 7.4$$
$$\frac{(\text{HCO}_3^-)}{(\text{SO}_4^{2-})} \geq 1.0$$

(konsentrasjonene er beregnet i mg/l)

Hedberg (1981) påpeker dessuten at $(\text{HCO}_3^-)/(\text{Cl}^-)$ forholdet bør være større enn 1.0.

I Finland har man påpekt nødvendigheten av at rest-aluminiumkonsentrasjonene bør være lavere enn 0.3 mg/l da aluminium har vist seg å øke grottingen (Sarja, 1980).

Dagens norske alkaliseringspraksis

I dag alkaliserer ca. 25% av norske vannverk som forsyner mer enn 1000 personer, vannet. I de fleste tilfeller er formålet å oppnå en pH = 8.0—8.5 ut fra vannverket. Av de ca. 100 vannverkene som alkaliserer vannet bruker ca. 50% natronlut, hvilket gir en pH-hevning, men ingen økning i vannets bufferevne. Ca. 25% av disse vannverkene bruker soda (Na_2CO_3) og oppnår pH-hevning og noe økning av bufferevnen. De resterende 25% bruker hydratkalk $\text{Ca}(\text{OH})_2$, og oppnår noe økning i kalsiumkonsentrasjonen og pH-verdien.

Besøk ved noen av disse vannverkene viser at man har en rekke prosessmessige problemer:

- 1) Mye dårlig pH-måleutstyr brukes.
— I et tilfelle ble pH justert til 9.6 p.g.a. at måleutstyret viste 8.5.
- 2) Det er ofte vanskelig å holde jevn pH ved bruk av hydratkalk ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).
— Det er ofte uhensiktsmessig kalk-doseringsutstyr ute på vannverkene.

Man mangler slurrytank og klarings-
ingstank. Skruene ut fra siloen tettes osv.

- Det er vanskelig å oppnå jevn kalk-konsentrasjon.

Videre endrer vannkvaliteten seg tildels svært mye ute på nettet.

- 1) Alkalisert vann til pH = 8.0 kan ha pH = 10.0—11.0 i kran. Dette skyldes utløsning av kalsium fra asbestsementrør og fra sementmørtelforingen i støpejernsrør.
- 2) I alkalisert vann med svært lav bufferevne reduseres pH utover ledningsnettet.

Vi vet i dag at pH-hevning av vannet kun har positiv innvirkning på korrosjonshastigheten for noen materialer:

- 1) kobberledninger (pH > 7.4)
- 2) sinkutløsning ($7.5 < \text{pH} < 8.5$)
- 3) messing (pH < 8.3)
- 4) Tungmetaller som kadmium og bly er ikke funnet i signifikante konsentrasjoner ute på nettet fra 13 vannverk.

De helsemessige konsekvenser av vannkvalitetsendringen i nettet er diskutert. Når det gjelder kadmium og bly finner vi kun meget lave konsentrasjoner av disse. Sink og kobber er funnet i tildels høye konsentrasjoner. Dette har først og fremst bruksmessige konsekvenser.

Asbestfibre finnes i tildels høye konsentrasjoner (Skipperud Johansen og andre 1984). Helsemyndighetene har funnet kreftfaren i tilknytning til IVAR-vannverket som svært liten, men man er i ferd med å samle et bedre grunnlagsmateriale for å kunne gi en generell konklusjon.

Utlekking av organiske stoffer fra plastrør vet vi lite om, men man antar her at helseisikoen er liten. En annen sak er om smaksulemper kan bli et problem.

Innvendig beskyttelse av ledningsnett

Eksisterende ledningsnett kan enten beskyttes ved rehabilitering eller ved å endre vannkvaliteten. Hensikten med vannbehandling er å produsere en tynn beskyttende film på røroverflaten. Som tidligere nevnt doserer noen vannverk ikke nok kje-

mikalier til å få dannet filmen, men stabiliserer delvis vannkvaliteten.

I tabell 6 er noen ulike muligheter sammenstilt. Som det framgår av tabellen, er vannkvalitetsendringer i form av pH-økning, kalsium- og bikarbonat-økning den vanligste framgangsmåten. Ved valg av metoder er vannkvaliteten før stabilisering og ledningsnettets beskaffenhet av avgjørende betydning. Som tidligere nevnt, vil forfatteren kunne bidra med viktige erfaringer omkring noen av metodene omkring årsskiftet.

Tabell 6. Ulike former for innvendig beskyttelse av ledningsnett.

Type belegg:	Vannkvalitet			
	Ca ²⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	pH	Andre (mg/l)
Delvis stabilisering «low carbonate»	5—8	~15—20	7.5—8.3	Seattle (Ryder, 1980)
CaCO ₃	> 20 30 20—30	> 33 50 > 36	6.8—7.3 8.5 > 8.3	USA anbefaling Svensk praksis Finske retningslinjer
Sinkhydroxokarbonat	4.3	14—17	7.5—8.3	Zn: 0.3—0.5 Forsøk i Bellevue. Kun for beskyttelse av asbestsementrør
FeCO ₃	20	60	7.0	Tyske erfaringer med beskyttelse av støpejernsrør. (Tysk bløtt vann)
Polyfosfater	1—5		5.0—8.5	Polyfosfat: 1—5 Brukt i industrielle installasjoner.

REFERANSER:

- Aga gas, 1981: Vatten, vårt vanligaste livsmedel. Brosjyre, AGA Gas AB, 17282 Sundbyberg, Sverige.
- Hedberg, T., 1982: Vårt korrosiva vatten. Brosjyre AGA Gas AB 17282 Sundbyberg, Sverige.
- Kennedy Engineers, 1976: City of Seattle Internal Corrosion Study, Phase 1 report.
- Kristiansen, H., 1979: Kjemiske analysedata for vann fra vannverk og større vassdrag. NIVA. O-76024.
- Larson, T. E., 1979: Corrosion by Domestic Waters. Bulletin. 59. Illinois State Water Survey. Urbana Ill.
- Lowthian, K. M., 1978: Final Environmental Impact Statement for Proposed Seattle Corrosion Control Plan. Seattle Water Department.
- Mattsson, E. and Fredriksson A. M., 1968: Pitting Corrosion in Copper Tubes — Causes of Corrosion and Counter Measures.
- Nielsen, K. and Yding, F., 1977: Korrosion i brugsvandsanlegg. Korrosionsteknikk, 3. juni 1977.
- Ryder, R. A., 1980: The costs of Internal Corrosion in Water Systems. Journ. AWWA 70: 5: 267.
- Ræstad, C., 1984: Levetid på VA-ledninger. Hvor stort er problemet? NIF-kurs.
- Sarja, 1980: The Corrosion at the water works, in the water distribution networks and in tap water fittings. Helsinki waterworks.
- Skipperud Johansen, E., Johansen, B. V. og Kristiansen, H., 1984: Undersøkelse av vannets virkning på asbestsementrør og forekomst av asbestfibre i drikkevannet for syv kommuner tilknyttet IVAR vannverket. SIFF rapport, SK7/83.
- Sontheimer, H., Kölle, W. und Rudek, R., 1979: Aufgaben, Methoden der Wasserchemie — dargestellt an der Entwicklung der Erkenntnisse zur Bildung von Korrosionsschutzschichten auf Metallen. Vom Wasser 52: 1.
- Tate, C. H. and Ramaley, B. L., 1982: Control of Asbestos Loss from Asbestos Cement Pipe in Aggressive Waters. EPA Cooperative Agreement. City of Bellevue, WA Interim report, Sept.
- Vik, E. A., Skipperud Johansen, E., Rogne, A. G., 1983: Alkalisering av drikkevann. Undersøkelse av noen vannverk. NIVA. VA — 1/83, F — 82441.
- Vik, E. A., Hendrickson, K. and Bjerkelund, E. 1984: NTNF Report under preparation.