

Vannkvalitetsendringer på norske vannforsyningsnett pga. innvendig korrosjon

Av Eilen Arctander Vik

Eilen Arctander Vik er forsker hos Aquateam - Norsk vann- teknologisk senter A/S, siv.ing. og Ph.D., og har vært engasjert i forskningsaktiviteter knyttet til vannkvalitet og korrosjon siden 1982.

Foredraget ble holdt på et NIF kurs om «behandlingsmetoder for drikkevann» den 17.—19. april 1989.

1. Bakgrunn

Store investeringer har forekommet i kommunale vann- og avløpssystemer, og ca. 80% av investeringene er foretatt i ledningsnett og transportsystemene. Man regner med at ledningsnettet har en gjenanskaffelsesverdi på ca. 130 mrd NOK.

Det er en kjent sak at surt, mineralfattig vann med lav alkalitet er korrosivt overfor ledningsnettmaterialer. I Norge anvendes hovedsaklig (ca. 85%) overflatevann i drikkevannsystemer. Korrosjonsproblemene som dette skaper, kjenner men i noen grad til, spesielt i nord-vestlige USA, Canada og i noen deler av Europa (spesielt Sverige, Finland og Norge). Karakteristisk norsk overflatevann regnes for å være spesielt aggressivt overfor en rekke metaller og sementbaserte materialer. Spesielt viktige vannkvalitetsparametre relatert til innvendig korrosjon i ledningsnett er vannets lave pH-verdi, lave alkalitet og lave innhold av kalsium. Det har vært kjent i årevis at vannets surhet har stor

innvirkning på utløsning av metaller. I «kvalitetskrav til vann» (Sosialdepartementet 1976, ref. nr. 1) står det:

«Ved at drikkevann får en pH-verdi i området 8,0—8,5 vil utløsningen av tungmetaller fra armatur og vannledninger nedsettes. Forbrukerne vil dermed bli beskyttet mot høye konsentrasjoner av tungmetaller i drikkevann. Dette har direkte hygienisk betydning, idet bly og kadmium lett løses ut ved lavere pH-verdier. Det vil også nedsette kobberutløsning fra kobberledninger og vannvarmere og dermed eliminere irring i sanitærinstallasjoner. Selv om det kommer forskrifter som for fremtiden regulerer kvaliteten på armatur og andre innretninger på vannledningsnettet, må det taes hensyn til at hygienisk utilfredsstillende armatur, lodd, messing m.m. allerede er i bruk i flere tusen hjem, og at befolkningen i dag må beskyttes mot følgende av dette.»

Konsekvensen av nevnte vannkvalitetskrav var at de aller fleste norske vannbehandlingsanlegg måtte alkalisere vannet for å hindre utløsning av tungmetaller fra kobberledninger og

husinstallasjoner. Alkalisering i form av pH-heving var derfor å betrakte som ett av minimumskravene til vannbehandling, i tillegg til siling, desinfisering og lufting (grunnvann). Som alkaliseringmiddel ved norske vannverk har man i stor grad anvendt kalk i form av hydratkalk ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), lut (NaOH) og soda (Na_2CO_3). I Norge har lut vært mest brukt (2).

De siste årene, fra 1976 og frem til i dag, har imidlertid en rekke spørsmål blitt reist rundt sammenhengen mellom vannkvalitet, helse og korrosjon i sanitærinstallasjoner, hovedledninger og stikkledninger. Det har foregått grunnleggende forskningsarbeide i en rekke land. Ved statens institutt for folkehelse (SIF) har man fra ca. 1983 frem til 1987 vært forsiktig med å håndheve alkaliseringsskravet fordi man var usikker på hvilken effekt den «gamle» alkaliseringsspraksisen hadde.

NTNFs Program for drikkevannsforskning startet et FoU-prosjekt i 1983 for å få bedre kunnskap om tiltak for å hindre korrosjon (3-10). Dette arbeidet har vært gjennomført i samarbeid med Statens institutt for folkehelse som tidligere hadde gjennomført en rekke studier (11-16). Med bakgrunn i ovennevnte arbeider ble det utarbeidet nye kvalitetsnormer til drikkevann relatert til korrosjon og korrosjonsprodukter (17) og en håndbok om innvendig korrosjon i vannledninger (18).

2. Korrosjonsprodukter fra korrosjon i vannverk

2.1. Generelt om korrosjon

Ordet korrosjon kommer av det latinske ordet *corrodere*, som betyr «å gnage istykker». Med korrosjon menes

angrep på et materiale av det omgivende medium. I vann kan angrepet skje enten ved en ren oppløsning av materialet eller en kjemisk reaksjon mellom materialet og vannet eller stoffer løst i vannet.

På *metaller* er angrepet for det meste av elektrokjemisk natur, se fig. 1. Nesten all korrosjon i vann skjer ved en reaksjon mellom oksygen og metall. Som en grunnligning for hoveddelen av all korrosjon kan man skrive:

metall + oksygen + vann \rightarrow korrosjonsprodukter.

Korrosjon består av to prosesser, anodereaksjonen og katodereaksjonen. Anodereaksjonen er den som gir metallopløsningen:

metall \rightarrow metalioner + elektroner

Katodereaksjonen er en reaksjon mellom oksygen (O_2), vann (H_2O) og de elektroner som er frigjort ved anodereaksjonen:

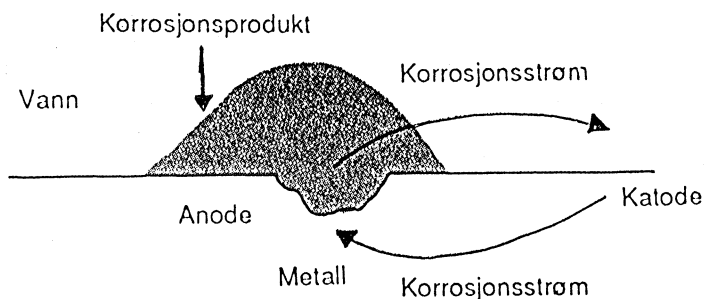
oksygen + vann + elektroner \rightarrow hydroksylioner.

Korrosjonsforløpet etterfølges av et elektrisk kretsløp. Elektronene beveger seg gjennom metallet fra anode- til katodeareal og metall- og hydroksylionene beveger seg gjennom vannet, se figur 1.

Resultatet av dette er (se tabell 1):

- metaller i løsning som kan gi uønskete konsentrasjoner.
- En lokal økning i vannets pH-verdi nær metalloverflaten, hvilket kan resultere i dannelsen av uønskede korrosjonsprodukter, hovedsaklig hydroksider.

For *sementbaserte materialer*, er angrepet en kjemisk reaksjon mellom vannet og materialet. Korrosjon skjer oftest ved



Figur 1. Strømkretsløp ved groptæring av metallrør i kontakt med vann.

Tabell 1. Drikkevannets kvalitet kan endres gjennom sin kontakt med ulike rørmaterialer før det kommer fram til konsumentene.

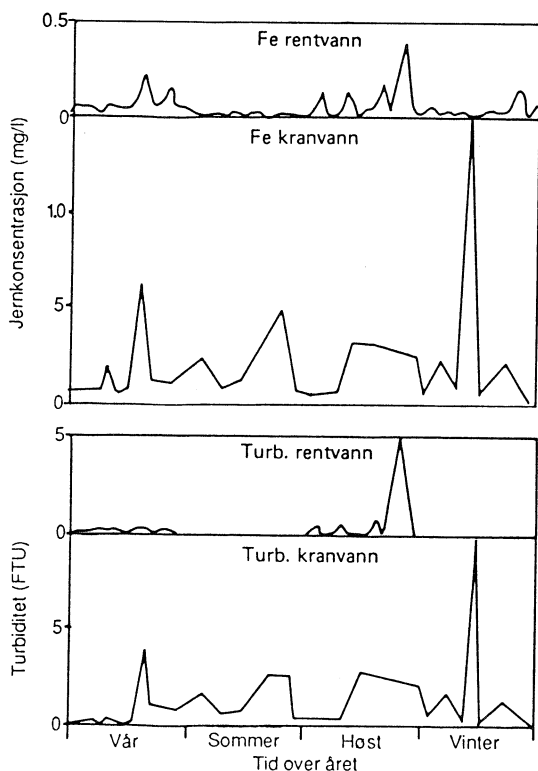
Rørmaterialer i kontakt med vann	Bruksulempervannkvalitetspåvirkning
Jern- og stålrør uten innvendig beskyttelse	Økt Fe-konsentrasjon og økt turbiditet. Grumset, rødbrunt vann, smaken påvirkes, (Fe = 0.5 mg/l og høyere) klesvasken o.l. kan få flekker. Reduksjon av rørtverrsnittet, behov for hyppig spyling av nettet.
Galvaniserte rør	Nye rør: økt sinkkonsentrasjon. Smaken påvirkes (Zn = 1 mg/l og høyere). Gamle rør: som for jern- og stålrør.
Sementbaserte rør, jern og stålrør med innvendig sementmørtelforing og asbestsentrør	Kan få ekstremt høye pH-verdier (>11,0) på nettet som kan gi CaCO ₃ -utfellinger ved oppvarming eller utløsning av metaller. Vannets Ca-innhold og ledningsevne øker. For A-C rør kan man få økt asbestfiberinnhold i vannet.
Kobberrør	Økt Cu-konsentrasjon. Grønnfarging av vaskeservanter o.l., gjennomtæring av varmtvannsberedere o.l. Grønnfarging av blondt hår, smaken påvirkes (Cu = 1 mg/l og høyere). Tæring på kokekar av aluminium.
Messingkoplinger og armatur	Kan gi økt Zn- og tungmetallkonsentrasjoner. Smaken påvirkes (Zn = 1 mg/l og høyere).

at kalsium vaskes ut av sementen. Resultatet er en kraftig økning i vannets pH-verdi, alkalitet og kalsiuminnhold, hvilket resulterer i en overmeting mhp. kalsiumkarbonat, spesielt under opphenting av vann. mao. tradisjonelle problemer med hardt vann på tross av at vannet ut fra vannverket er bløtt.

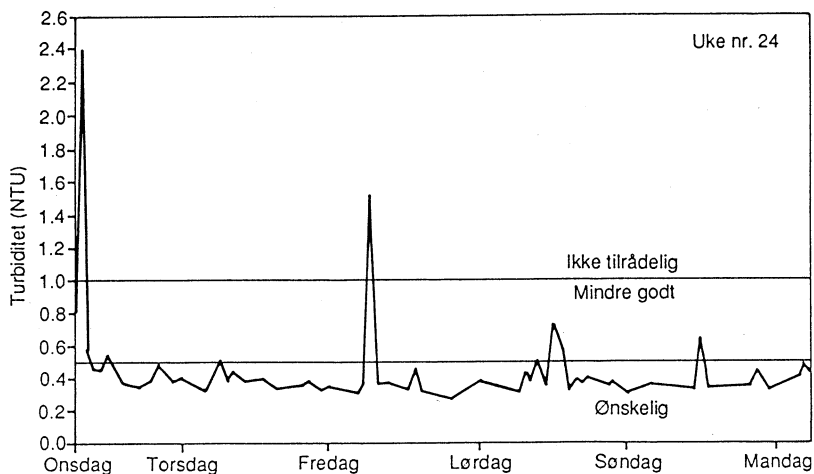
2.2. Jern- og stålrør

Stål- og jernrør er dominerende som rørmateriale. Korrosjon foregår som jevn overflatekorrosjon eller groptæ-

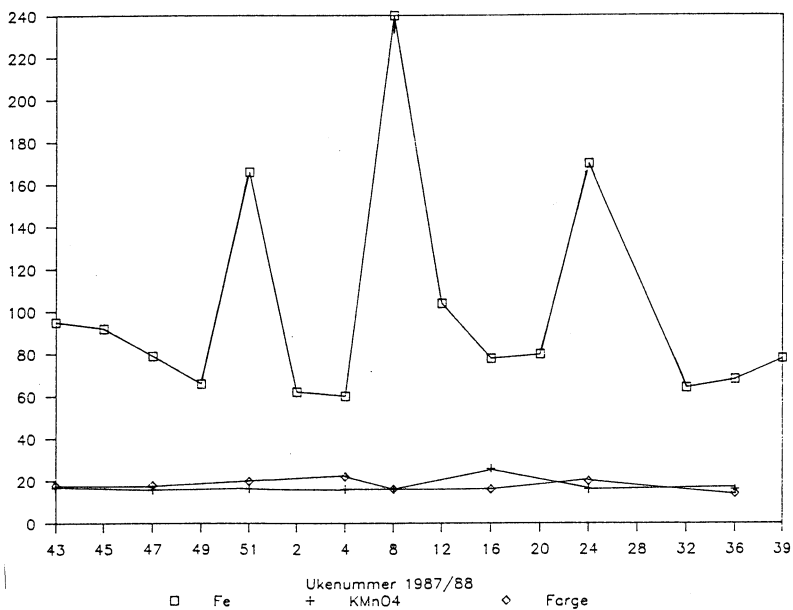
ring. Jevn overflatekorrosjon er meget vanlig. Ulike korrosjonsprodukter, spesielt jernhydroksider, dannes på innsiden av rørene. Disse har en dårlig korrosjonsbeskyttende effekt. Korrosjonsproduktene løsner av og til og gir brune/røde partikler i vannet og svært varierende vannkvalitet (se tabell 1 og fig. 2). Figur 3 og 4 illustrerer samme forhold. Dersom man øker vannets alkalitet til 0,6—1,0 mmol/l og kalsiumkonsentrasjonen til > 15 mg/l, vil korrosjonsproduktet sideritt (FeCO_3) blan-



Figur 2. Jernkonsentrasjonen også påvist ved måling av turbiditet (grumsethet), ute på nettet, varierer over året pga. korrosjonsprodukter som løsner fra innsiden av jern- og stålrør. Figuren illustrerer forskjellene i rent vann fra vannbehandlingsanlegget og i vannet fram til konsumentene.



Figur 3. Registrerte turbiditetsmålinger (uke nr. 24) fra testtriggen plassert på et prøvepunkt i nettet som forsynes fra en støpejernsledning (19).



Figur 4. Registrerte jernkonsentrasjoner i løpet av en prøveperiode på ett år. Resultatene er fra samme prøvepunkt som i fig. 3. (19).

det med kalsiumkarbonat, (CaCO_3), dannes. Dette har en meget god korrosjonsbeskyttende effekt, og vannets kvalitet frem til konsumentene forblir stabilt.

2.3. Galvaniserte rør

Sink brukes som korrosjonsbeskyttende belegg for stål. Korrosjonsproblemene for dette materialet har vært store, og det brukes ikke så ofte i dag. Ved bruk av nye galvaniserte rør, vil man kunne finne forhøyete sink-konsentrasjoner i vannet. Vannet kan få en bitter smak, og i ekstreme tilfeller bli grumset. Det er ikke kjent at sink i drikkevannet kan gi helseskader. Sink forekommer imidlertid ofte sammen med andre tungmetaller, spesielt kadmium. Ved bruk av sink av dårlig kvalitet er det fare for betenkelige kadmiumkonsentrasjoner. I aggressivt vann, varer belegget svært kort tid. Sinkbelegget korroderer svært raskt i vann med lav pH. Kobberinnhold i vannet — så lavt som $10 \mu\text{g/l}$ — er påvist å øke korrosjonshastigheten for galvaniserte rør, pga. galvanisk korrosjon. Kobberrør bør derfor ikke plasseres foran galvaniserte rør. For å redusere korrosjonen på slike rør, anbefales det at pH er høyere enn 8 og at vannets bikarbonatinnhold er høyt. Når det galvaniserte belegget er skadet, skjer korrosjon av jernet. Korrosjonsproduktene som dannes, blir derfor de samme som for jernrør. (Tabell 1).

2.4. Sementbaserte materialer

Generelt gjelder at surt (pH < 7,5), mykt (Ca^{2+} < 10 mg/l) og bikarbonatfattig (alkalitet < 0,3 mol/l) vann er aggressivt mot betong. Det finnes ikke noe bra mål for aggressiviteten av vann, men vannets kalk og kullsyrelikevekt er utgangspunkt for en slik vurdering i

Norge. Det er imidlertid ikke ønskelig å levere et vann i kalk- og kullsyrelikevekt, da hardt vann gir bruksmessige ulemper. Det dannes kalksåper med fettsyrer, og vaskeegenskapene blir dårligere. Kalkbelegg kan føre til overoppheting av varmeelementer i varmtvannsberedere, oppvaskmaskiner og andre husholdningsapparater.

2.4.1. Asbestsementrør

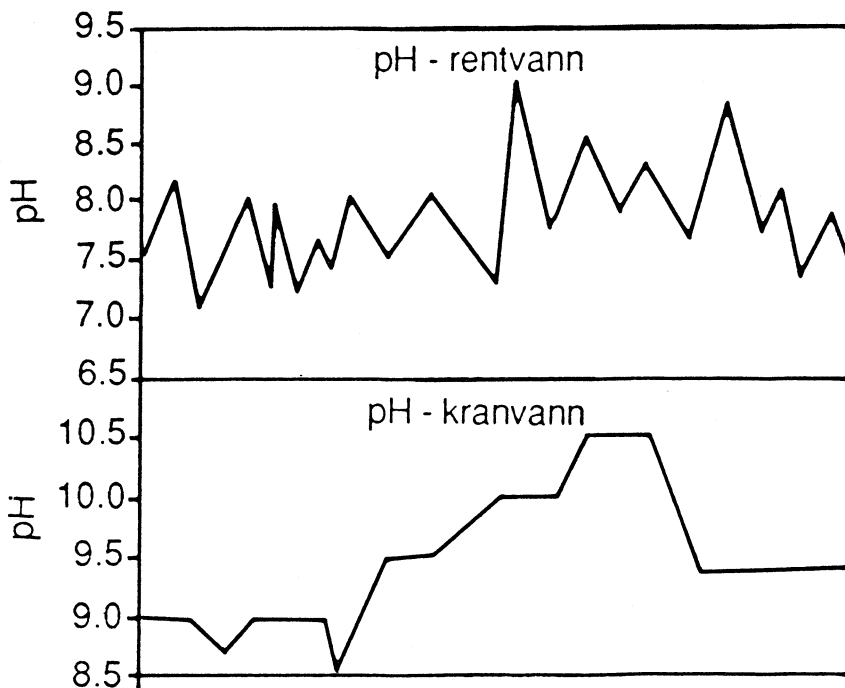
I Norge ble asbestsementrør tatt i bruk allerede før 2. verdenskrig, men først etter krigen ble det alminnelig å bruke disse rørene til vannforsyning. All bruk i Norge er basert på import. Denne var jevnt stigende med maksimum i 1969 da plastrør ble konkurrerbare. En kraftig reduksjon i importen ble registrert i 1975 da diskusjonen om asbest og helseproblemer kom i gang. I dag installeres ikke nye asbestsementrør. Problemene med tæring av denne rørtypen har imidlertid begynt å gjøre seg gjeldende i stor grad spredt over hele landet. Asbest er en fellesbetegnelse på en rekke fiberliknende silikatmineraler med varierende egenskaper. Asbest omfatter to hovedgrupper, serpentile og amfibole mineraler. De såkalte krysotile fibrene som er brukt i ca. 80 prosent av asbestsementrørene tilhører serpentinene, mens asbest fra amfibolgruppen, krokidolitt (blå asbest), er brukt i de resterende 20 prosent. Ved tæring på asbestsementrør frigis asbest etter hvert som sementmaterialet brytes ned. Avgivelsen av asbest kan variere svært over tid fordi store deler av sementbindemiddelet kan tæres vekk uten at den tilsvarende asbestdelen løser. Fibrene som finnes i vannet er uhyre små, med hovedmengden mindre enn $2 \mu\text{m}$ lange. Av denne grunn kan fiberkonsentrasjonen i vannet være

flere hundre millioner pr. liter uten at dette er merkbart ved målinger av partikulært materiale eller turbiditet. Bestemmelse av asbestfibre gjøres med elektronmikroskop og er en meget kostbar og tidkrevende analytisk teknikk. Det er kjent at asbest i innåndingsluften kan lede til kreft hos mennesker. Særlig farlige er lange fibre (mer enn 10 μm). Når asbest inntas via munnen med mat eller drikkevann er ikke effekten den samme. Undersøkelser av befolkningsgrupper som er utsatt for betydelige konsentrasjoner av asbestfibre i drikkevannet, gir ikke noe

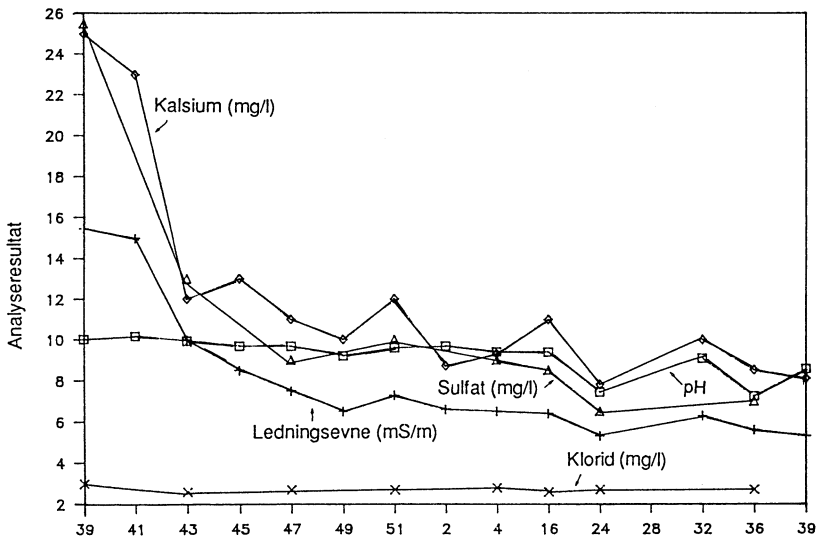
entydig bilde, men en eventuell kreftrisiko må være forsvinnende liten.

Ved langvarig kontakt mellom sementbaserte rørmaterialer og vann som ikke er i karbonatlikevekt, øker vannets hardhet (kalsiumkonsentrasjon) samtidig som pH-verdien stiger. (Se eksempel i figur 5).

I endeledninger med lang oppholdstid er pH-verdier over 11,0 ikke uvanlig. Slike ekstreme verdier påstås å kunne gi øyeirritasjon ved bad og dusjing. Ved pH omkring 12 skjer det en kraftig økning i utløsningshastigheten av metaller fra messingarmatur.



Figur 5. Effekten av aggressivt vanns kontakt med asbestsementledninger. Kranvannets pH-verdi er vesentlig høyere enn rentvannets.



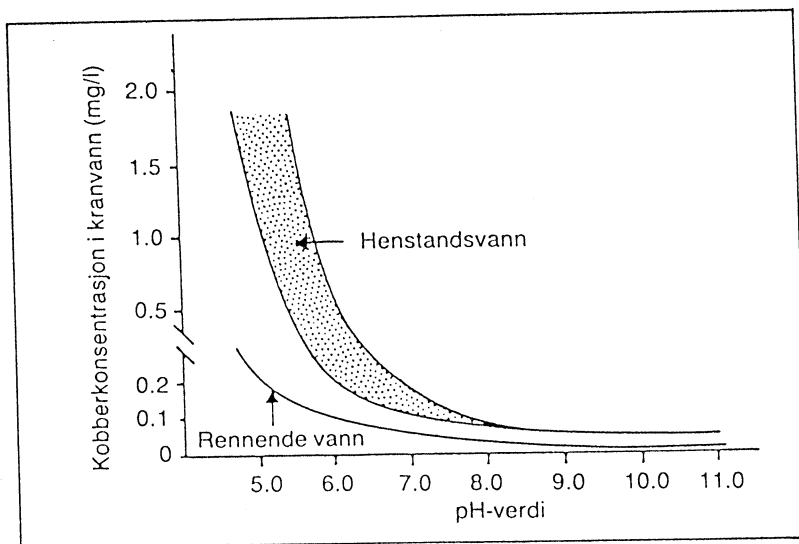
Figur 6. *Vannkvalitet på prøvepunkt i kontakt med mørtelføret støpejern (19). Rent vann ut fra vannbehandlingsanlegget har f.eks. pH = 6.0–6.5.*

2.4.4. Mørtelførete rør

Idag leveres stål og støpejernsrør også med innvendig sementmørtelføring. Belegget er vanligvis 5–15 mm tykt. Sement er fysisk bundet til metallioner i overflaten. Eksisterende jern- og stålrør kan også rehabiliteres ved innvendig påføring av sementmørtel. I Norge har man relativt kort tids erfaring med bruken av disse ledningene og erfaringer med levetiden av slike føring er begrenset. I relativt nye rør, 3–5 år gamle, som fører bløtt vann, har man imidlertid registrert kraftig utlakning av kalsium. Det syntes imidlertid som om utlakning avtar over tid. Ved langvarig kontakt mellom mørtelføring og vann som ikke er i karbonatlikevekt vil vannets innhold av kalsium og sulfat øke (se fig. 6). Resultatet er økt pH-verdi, økt alkalitet og økt ledningsevne.

2.5. Kobberrør

Generelt gjelder at surt (pH < 7,5) vann er korrosivt mot kobber. Overflatekorrosjon innvendig i kobberrør, kan gi svært høye konsentrasjoner av kobber hos konsumentene. Korrosjon av kobberrør i hus kan føre til kobberinnhold på flere milligram per liter vann. Konsentrasjonen avhenger av vannkvalitet og oppholdstiden i rørene. Ved relativt korte rørestrekninger, slik som i enebolig, vil konsentrasjonen raskt reduseres når vannet tappes. I større boligkomplekser eller der også stikkledninger er av kobber, er det registrert at kobberkonsentrasjonen i vannet til enhver tid kan holde seg over ett mg/l. Vann fra varmtvannsberedere inneholder ofte svært høye kobberkonsentrasjoner. Det er ikke kjent at kobberinnholdet i drikkevann kan ha helseskadelig virkning på voksne men-



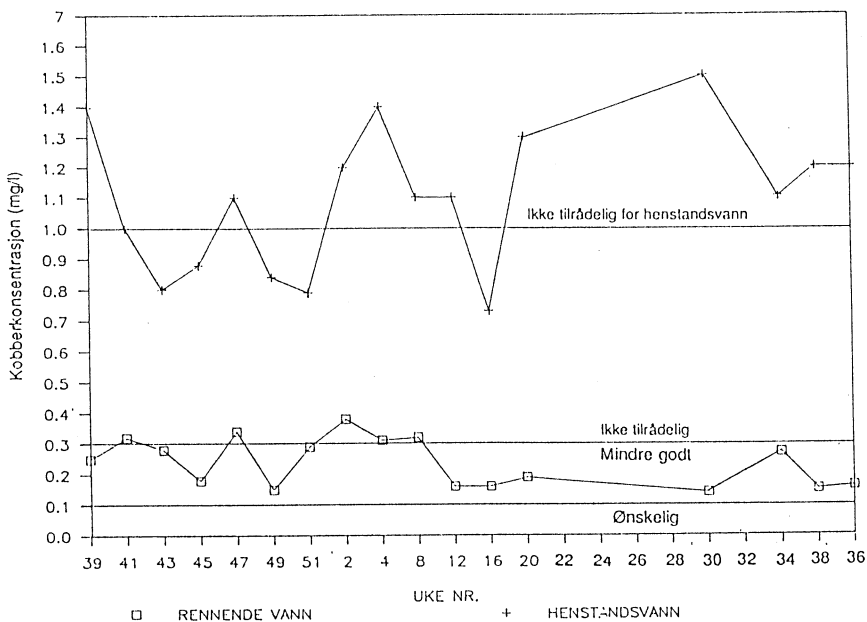
Figur 7. Vanlige kobberkonsentrasjoner i drikkevann ved ulike pH-verdier, henstandsvann (> 10 timer henstand i rørene) og rennende vann.

nesker. Småbarn kan muligens få diaré av høye kobberkonsentrasjoner ($\text{Cu} > 2 \text{ mg/l}$). Ved høye konsentrasjoner, kan vannet få en bitter smak ($\text{Cu} = 1 \text{ mg/l}$ og høyere). Kobber fra kranvannet kan felles ut både som organiske og uorganiske salter. Disse har oftest grønn farge. Avsetninger av kobbersåper i sanitærutstyr er et velkjent fenomen. Det er også registrert at personer med lyst hår har fått grønnskjær i håret ved dusjing i vann med høye kobberkonsentrasjoner. I figur 7 er det indikert hvilke kobberkonsentrasjoner som er vanlig i kranvann ved ulike pH-verdier. Konsentrasjonene man finner i henstandsvann, dvs. vann som har stått i rørene mer enn 10 timer siden siste tapping, er vesentlig høyere enn for rennende vann. Figur 8 viser kobberkonsentrasjoner i rennende vann og

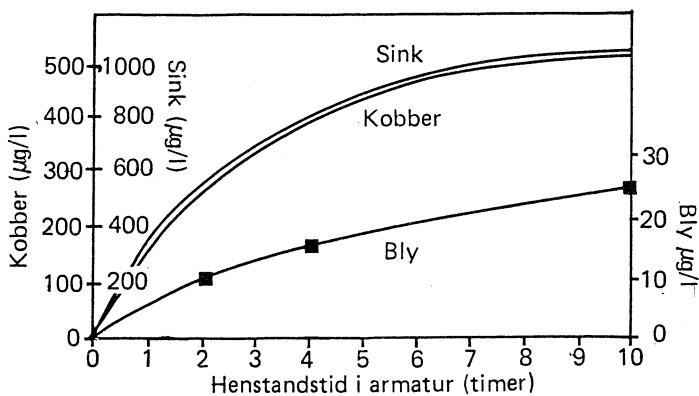
henstandsvann fra en konsument (19). SIFFs kvalitetsnormer til drikkevann er inntegnet.

2.6. Messingarmatur

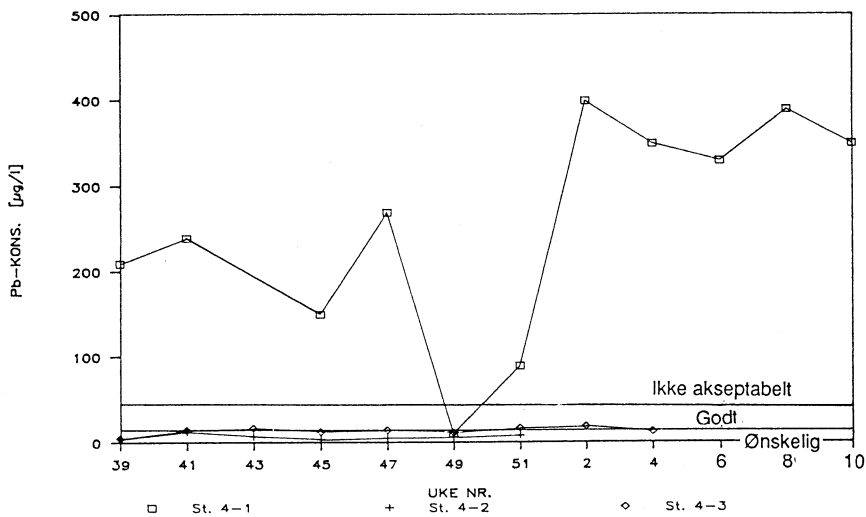
Messing som brukes i kraner og ventiler er en legering av kobber, sink og bly. Merkbar påvirkning av vannkvaliteten får en bare på det vannvolumet som blir stående i kranene i lengre tid. I figur 9 er det presentert data som viser betydningen av henstand. Regelmessig bruk av henstandsvann til konsum vil derfor kunne innebære en helseisiko på grunn av blykonsentrasjonen. Bly virker negativt på en rekke barn og fostre som er spesielt følsomme for blyeksponering. Bly virker på en rekke organer, bl.a. nervesystemet, nyrene og bloddannelsen. Hvis henstandsvannet alltid tappes ut før drikkevannet bru-



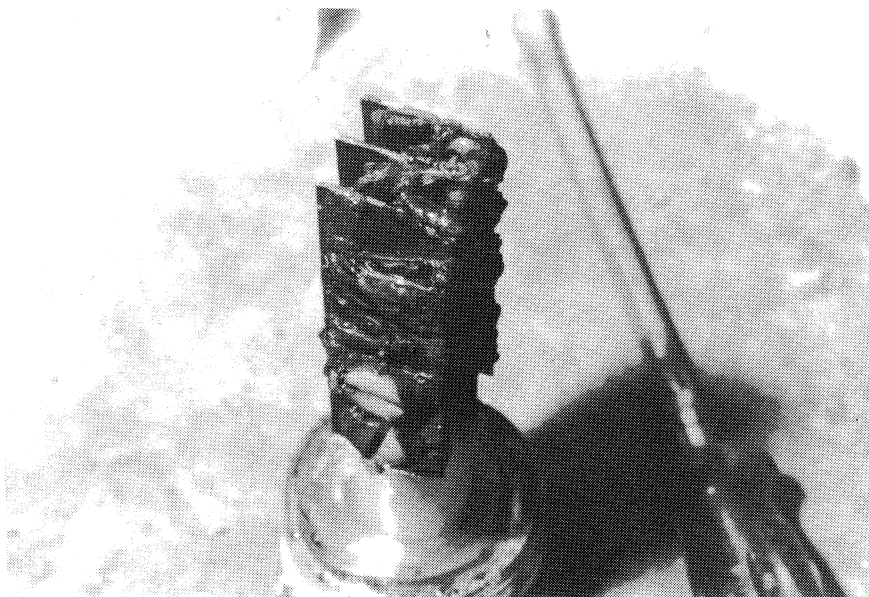
Figur 8. Eksempel på rennende vann og henstandsvann i en prøveperiode på ett år hos en konsument. SIFFs normer for drikkevann er inntegnet for både rennende vann og henstandsvann (19).



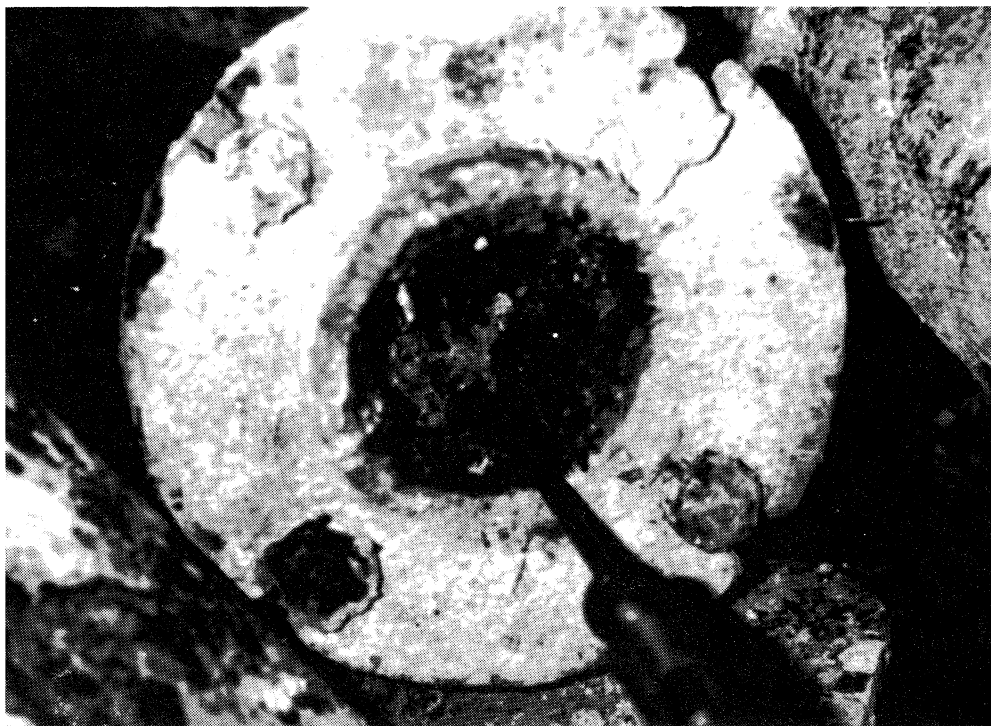
Figur 9. Konsentrasjonen av metaller i drikkevannet øker med økt kontaktid (henstandstid) før tapping.



Figur 10. Blykonsentrasjoner i henstandsvann registrert hos en konsument. SIFFs normer for bly er inntegnet i figuren (19).



Figur 11. Korrosjonsprodukter fra jern avleires innvendig i ledningsnettet. Vektappungene på bildet har vært installert i ledningsnettet ca. 1 år (19).



Figur 12. Tverrsnittet på jernledningen kan reduseres kraftig pga. korrosjonsprodukter. Eksempelet er fra et støpejernsrør (19).

kes, har kvalitetsendringer i messinginstallasjoner neppe noen helse- og bruksmessig betydning. Fig. 10 gir imidlertid eksempel fra en konsument der det ble registrert ekstreme blykonsentrasjoner i drikkevann. Ved grundigere undersøkelse ble dette problemet sporet tilbake til en spesiell kran.

3. Andre effekter av innvendig korrosjon

Korrosjon av materialer i kontakt med drikkevannet fra vannhandlingsanlegget fram til brukeren kan resultere i ulike typer vannkvalitetsproblemer. Korrosjonsproduktene kan gi en dårlig fysisk-kjemisk vannkvalitet. Figur 11 viser hvorledes korrosjonsprodukter

dekker metallbiter som har vært eksponert for aggressivt drikkevann. Vekstapkuponger på bildet har vært utplassert i ledningsnett til Oslo kommune ca. 1 år (19). Når rustbelegget løser forringes vannets fysisk-kjemiske kvalitet (brunt eller rødt vann), men også ledningsnettets tverrsnitt reduseres kraftig, fig. 12 (19). I vannverk resulterer dette gjerne i økt spylefrekvens av nettet. Korrosjonsprodukter vil også tette «sprinkler-anlegg», nøddusjer, tannlege-utstyr etc.

Korrosjonsangrep kan fremme biologisk vekst i ledningsnett. Dette fører til slamdannelse og dårlig lukt og smak på vannet. Figur 13 gir et eksempel på biologisk materiale registrert på jern-



Figur 13. Eksempel på biologisk materiale som har avleiret seg på jern-elektroder utplassert i ledningsnettet ca. ett år (19).

elektroder plassert i ledningsnettet i en periode på ett år (19).

Korrosjonen kan videre føre til lekkasjer eller brudd med fare for kontaminering fra kloakk eller andre forurensningskilder. Figur 14 viser et eksempel på hvorledes groper dannes på baksiden av korrosjonsproduktene. Små groper kan gi rask gjennomtæring og små hull i rørene. De dypeste groperne som ble registrert etter ett års eksponeringstid var på 0,6 mm (19). I forbindelse med avstengning av vannet kan undertrykk forekomme, og kloakk i grøften kan trekkes inn i vannledningene gjennom svært små hull. Ved reparasjoner av brudd, er det ofte praktiske vanskeligheter knyttet til å følge gjeldende hygieniske retningslinjer for rengjøring av rør, før anlegget settes i drift igjen.

Bakterielle forurensninger kan forekomme. Store slam og sandmengder kan også komme inn i rørene.

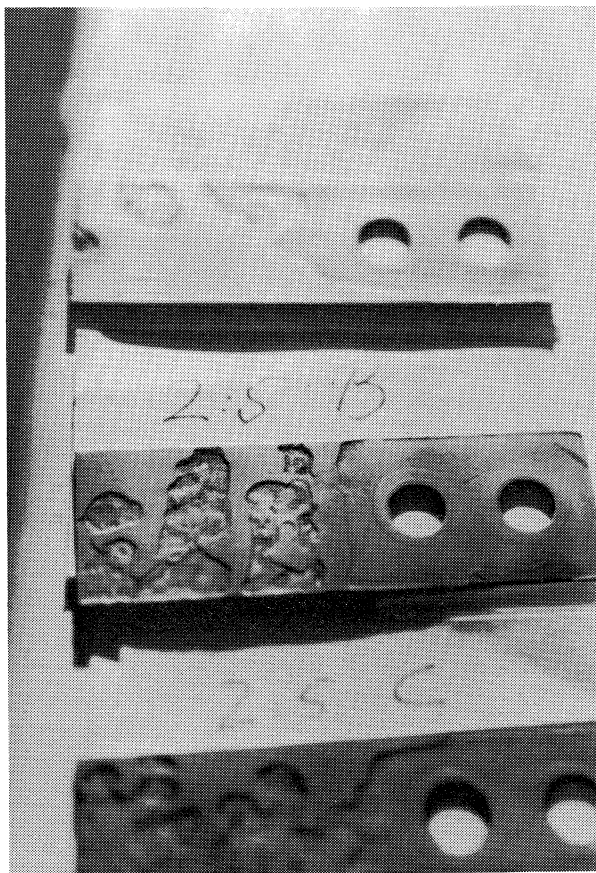
Surt vann ($\text{pH} < 7$) vil tære på de fleste metaller. Dette kan ha helsemessige konsekvenser dersom giftige tungmetaller blir utløst fra ledningsnettsmaterialer. Det er verdt å merke seg at det ikke finnes drikkevannsledninger av bly her i landet. Den viktigste kilden til bly er derfor messing som brukes i armatur og kuplinger. Kadmium inngår ikke i de legeringer som idag anvendes til drikkevannsarmatur, men kan følge sink som en forurensning. Undersøkelser av flere norske vannverk viser at giftige tungmetaller som bly (Pb) og kadmium (Cd) sjelden forekommer i helsemessige betenkelige konsentrasjoner. På grunn av utløsning av kobber og sink fra ledningsnett og husinstalla-

sjoner, kan man beregne at dersom 2 millioner av Norges befolkning har kobberør og messingarmatur samt korrosivt drikkevann, forurenses miljøet (via slam og utløpsvann fra avløpsanlegg) med ca.:

14,6 kg Zn/år

14,6 kg Cu/år.

Beregninger er basert på et vannforbruk på 200 l/pe/d. og en konsentrasjon hos konsumentene på 100 µg/l av hvert metall.



Figur 14. Eksempel på groper som avdekkes under korrosjonsproduktene fra jernrør (19).

REFERANSER

1. SIFF 1976, «Kvalitetskrav til drikkevann».
2. 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 vannverk». SIFF rapport, SK7/83, 1984.
3. Vik, E. A., Skipperud Johansen, E. og Rogne, Å. G., 1983: «Alkalisering av drikkevann. Undersøkelse av noen vannverk. NIVA. VA-83, F-8244.
4. Vik, E. A., Hendricsson, K. and Bjerkelund, E., 1985: «Treatment for corrosion control. Literature Review and Research Program». Project report No. 3, NTNF's Program for drikkevannsforskning, rapport nr. 10/84.
5. Vik, E. A., 1986: «Alkalisering — korrosjonskontroll. Aktuelle prosesser. Effekter, driftserfaringer, kostnader». Fra NIF-kurs om Behandlingsmetoder for drikkevann, 27.—29. oktober 1986.
6. Vik, E. A., 1984: «Er det behov for tiltak for å hindre korrosjon innvendig i norske vannledninger?» Vann nr. 2, 1984.
7. Vik, E. A., 1986: «The Effects of Corrosion Control of low Alkalinity Waters — Norwegian Experiences». Aqua No. 4, pp. 198—.
8. Vik, E. A., Rogne, Å. G., Bomann, E. og Bjerkelund, E., 1984: «Alkalisering av drikkevann, korrosjonskontroll. Undersøkelse av noen vannverk. Delrapport 2». NTNF's Program for drikkevannsforskning. Rapport nr. 9/84.
9. Vik, E. A. og Bjerkelund, E., 1986: «Alkalisering av drikkevann, korrosjonskontroll. Alkalisering og karbonatisering ved Eidsberg vannverk». Delrapport 4. NTNF's Program for drikkevannsforskning. Rapport nr. 12/85.
10. Vik, E. A., Nilsen, T. L. og Boman, E., 1988: «Alkalisering av drikkevann, korrosjonskontroll ved Grimstad vannverk. Delrapport 5. NTNF's Program for drikkevannsforskning. Rapport nr. 26/88.
11. SIFF, 1982: «Rapport vedrørende utløsning av kjemiske elementer — særlig bly og kadmium i ledningsvann». Oslo, august.
12. SIFF, 1974: «En makro- og mikrokjemisk undersøkelse av Oslos drikkevann i 1973». Oslo, desember, SIFF.SK ekstern rapport 10, 36 s. ISSN.
13. Myhrstad, J. A., 1976: «Notat vedrørende utløsning av visse tungmetaller fra armatur og innretninger på vannledningsnett». SIFF, Oslo, januar.
14. Bjerkelund, E. og Klæbo, T. O., 1982: «Utløsning fra messing til vann alkalisert med lut, soda og kalk». SIFF-SK intern rapport 1/82.
15. Skipperud Johansen, E. og Bjerkelund, E., 1983: «Utløsning av tungmetaller fra kranarmatur ved Norsk Hydro, Herøya og Rafsnes». SIFF-SK ekstern rapport nr. 42, juni, 43 s. ISSN 0333-4643.

16. Skipperud Johansen, E., Johansen, B. V. og Kristiansen, H., 1983: «Undersøkelse av vannets virkning på asbestsementrør og forekomst av asbestfibre i drikkevannet». SIFF:SK ekstern rapport nr. 40, 55 s. ISSN 0333-4643.
17. SIFF, 1987: «Kvalitetsnormer for drikkevann». Drikkevann G2. Veiledningsmateriale i G-serien «Generelt om drikkevann» fra Statens institutt for folkehelse, 72 s.
18. Vik, E. A. og Hongve, D., 1988: «Innvendig korrosjon av vannledninger». NTNFS utvalg for drikkevannsforskning.
19. Vik, E. A., Nielsen, T. L. og Lundar, A., 1989: «Betydningen av korrosjon i ledningsnettet til Oslo vannverk». delrapport 2. Aquateam. april.

GRUNNVANN — BRØNNBORING

Grunnundersøking — Grovhullsboring

Vår allsidige maskinpark og lange erfaring gjør at vi kan utføre dei fleste typer boringar til fornuftig pris.

HALLINGDAL BERGBORING

Magne Veslegard

3570 Ål - Telefon: 067/84 200

5700 Voss - Telefon: 055/11 285

Utstyr for: VANNHASTIGHETSMÅLING VANNSTANDSMÅLING LANDMÅLING

Repr.

A. Ott
Kampen

Sigurd Baalsrud

Jacob Aalls gt. 17, 0364 Oslo 3
Tlf.: (02) 46 46 65

Askania Werke
Berlin W