

Korrosjon på vannledningsrør

Av *cand. real. Hans Kristiansen*

Hans Christiansen er ansatt som forsker ved Norsk institutt for vannforskning. Han er *cand. real.* fra Universitetet i Oslo i 1960 med kjemi som hovedfag.

Korrosjon er den nedbrytningsprosess et materiale er utsatt for av sitt omgivende miljø. Det gjelder både kunstig fremstilte materialer og naturlige produkter. Ordet korrosjon har lenge vært forbeholdt nedbryting av metaller, og når man snakker om korrosjon uten å presisere materialer, tenker man vanligvis på metallene. Selv om det kan være mange gode grunner for å definere metallenes korrosjon for seg, har man i den senere tid latt ordet få en mere generell betydning.

Korrosjon har stor økonomisk betydning. Det er enorme summer som går tapt i et moderne samfunn på grunn av korrosjon, og disse summer har en tendens til å øke med tiden. I USA har man beregnet at korrosjon koster hver innbygger mellom 34 og 50 dollars pr. år, og ca. 10 % av dette skyldes korrosjon på nedgravde ledninger og på varmtvannsinstallasjoner i boliger. Disse tall stemmer godt med liknende overslag som er gjort i andre land. De omfatter direkte tap i form av vedlikehold og erstatning av korrodert

materiale. Overført til Norge skulle de årlige utgifter på grunn av korrosjon beløpe seg til mellom 170 og 250 kroner pr. innbygger, og totalt for vannledningsrør mellom 68 og 100 millioner kroner.

For vannledningsrør er det korrosive miljø naturlig vann. Vannet inneholder stoffer vanligvis kalsiumkarbonat, som både kan utfelles på en røroverflate og oppløses igjen, og dette vil influere på korrosjonsprosessene. Vannets oppløsende virkning overfor kalsiumkarbonat kalles aggressivitet. Aggressivitet har direkte sammenheng med vannets innhold av karbondioksyd. Det er praktisk å skille mellom korrosivitet og aggressivitet, idet et aggressivt vann ikke behøver være korrosivt overfor et bestemt materiale, og et ikke aggressivt vann kan være korrosivt.

Det foregår en utstrakt korrosjonsforskning på dette området verden over, og i de enkelte land er forskningen gjerne konsentrert som problemer man har i landet. Noen forsk-

ningsresultater er almengyldige, mens andre er spesielle og kan ikke direkte overføres til andre forhold. Mens rørmaterialene stort sett er de samme fra land til land, kan vannets sammensetning være forskjellig. Den er avhengig av de klimatiske og geologiske forhold i landet.

I denne fremstilling er gitt en liten oversikt over korrosjonsproblemer i de mest alminnelig brukte rørmaterialer med spesielt sikte på den vannkvalitet vi har i Norge.

Agressivitet.

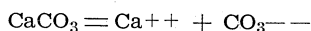
Fra man begynte å lede vann gjennom rør, har man kunnet konstatere at vannet innvirker på forskjellige måte på materialet i rørledningene. I noen tilfeller har man fått kalkavsetninger og gjengroing av rørledningene etter kortere eller lengre tid. I andre tilfeller har vannet angrepet rørmaterialet, og ledninger er blitt ødelagt av korrosjon. I atter andre tilfeller kan rørledningene ha vært i bruk i meget lang tid uten at vannet har hatt noen innvirkning på materialet.

Det var først i begynnelsen av vårt århundre, etter at man hadde fått kjennskap til lovene for de kjemiske likevekter og betydningen av pH-begrepet, at man kunne studere nærmere hvorfor vann kan oppføre seg så forskjellig.

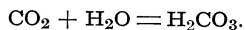
Vannets egenskaper er betinget av de stoffer som er oppløst i det. Naturlig vann har en evne til å løse opp materialer eller mineraler det kommer i kontakt med, og denne oppløsende evne økes av gasser, særlig karbondioksyd, som det opptar fra atmosfæren. Oppløsningsangrepet er

av to slag: enten rent kjemisk oppløsende, eller som et kjemisk angrep på grunn av vannets innhold av syre. Vannets oppløsningsangrep på bergartene kalles kjemisk forvitring, og de bergartsmineraler som er lettest oppløselige, er karbonatene. Av disse er det kalsiumkarbonat som har størst utbredelse i naturen, og kalsium er som regel det metallion ferskvann inneholder mest av.

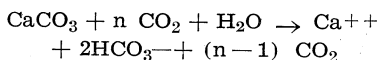
I rent vann løses kalsiumkarbonat etter likning:



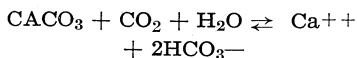
når man ser bort fra vannets deltagelse i reaksjonen. Kalsiumkarbonat er meget tungt oppløselig. Bare ca. 12,5 mg CaCO_3 /l løses ved 20 °C. Inneholder vann karbondioksyd, danner det med vannet karbonsyre:



Dette øker kalsiumkarbonatets løselighet og reaksjonen skjer etter likningen:



Det siste leddet i likningen er aggressiv karbondioksyd som er i stand til å løse opp mer kalsiumkarbonat og reaksjonen går videre inn til det har innstilt seg en likevekt mellom fast og oppløst kalsiumkarbonat ved et bestemt karbondioksydinnhold og en bestemt temperatur:



Denne likevekt kalles karbonatlikevekten. Dersom karbondioksyd av en eller annen grunn blir fjernet fra vannet, f.eks. ved oppvarming, blir

kalsiuminnholdet i vannet for høyt, likevektsreaksjonen forskyves mot venstre og det felles ut kalsiumkarbonat.

Utfellingen skjer langsomt og kalsiumkarbonat bygger seg opp som et fast og hardt belegg på de flater vannet har kontakt med. I rør vil utfellingen skje på rørveggene, slik at tverrsnittet etter hvert reduseres, og dette vil fortsette til man ikke lenger får vann gjennom rørene. Vann i karbonatlikevekt hverken avgir eller utfeller kalsiumkarbonat. Karbonatlikevekten er temperaturavhengig (2).

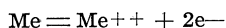
Temperaturens innflytelse er slik at utfellingen øker med økende temperatur. I større vannledningsnett vil man ha svingninger i temperaturen på vannet. Utfelt belegg vil løse seg der temperaturen er lav, og man vil få større utfellinger igjen der temperaturen er høy. For å unngå utfellingsproblemer på grunn av slike temperaturforskjeller, må vannverk som har råvann med høyt kalsiuminnhold, gjøre rentvannet svakt aggressivt før det sendes ut på nettet. Ved oppvarming av vann med høyt kalsiuminnhold må det tas spesielle hensyn for å unngå utfellinger i varmtvannsledninger (f.eks. tilsetning av dispergeringsmidler eller unngå oppvarming til for høy temperatur).

De fleste vannverk her i landet opparbeider drikkevann av overflatevann. Dette er surt og meget fattig på oppløste stoffer og derfor alltid aggressivt. Kalsiuminnholdet er i de fleste tilfeller så lavt at kalkutfelling ikke er mulig ved noen temperatur eller pH-verdi. I enkelte til-

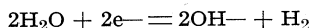
feller hvor vannet alkaliseres med hydratkalk kan kalsiuminnholdet bli så høyt at det utfelles belegg på varmeelementer i varmtvannsbereidere. Særlig gjelder dette vann som i tillegg har fått økt kalsiuminnhold ved transport gjennom lengre rør av betong eller asbestsement.

Korrosjon, generelt.

Korrosjon på metaller i vann er for det meste av elektrokjemisk natur. Det vil si at når metallioner går i løsning, etterlater de seg elektroner som ledes gjennom metallet til et annet sted på metalloverflaten hvor de opp-tas ved reaksjon med vannet eller oppløste stoffer i vannet. Metallet går i oppløsning under dannelse av positivt ladede metallioner:



Metallet får overskudd av elektroner som må ledes bort for at reaksjonen, eller korrosjonen skal fortsette. Dette skjer ved reaksjon med vannet:



eller oppløste stoffer i vannet:



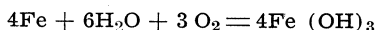
under dannelse av hydroksylioner. For at korrosjonen skal kunne forløpe må vannet være ladningsmessig i balanse. Det vil si at positive og negative ioner i vannet må kompensere hverandre.

Ved korrosjonen dannes hydroksylioner ved metalloverflaten. Disse nøytraliserer karbonsyren i vannet. For vann i karbonatlikevekt eller svakt aggressivt vann vil karbonatlikevekten forskyves mot utfelling av fast kalsiumkarbonat. Kalsiumkar-

bonat danner sammen med korrosjonsproduktene et belegg på metall-overflaten som virker beskyttende mot korrosjon.

Korrosjon på jern.

Jern er det mest alminnelige rør-materiale og brukes vanligvis i form av stål, støpejern og duktilt støpejern. Normalt skjer korrosjonen ved at jern går i løsning som toverdige ioner og videre en oksydasjon til treverdige ioner og dannelse av jernhydroksyd etter totallikningen:



Ved dannelse av toverdige ioner øker vannets pH-verdi. Er vannet i nærheten av karbonatlikevekt, vil man få utfelt et belegg av kalsiumkarbonat og jernhydroksyd.

For at belegget skal gi effektiv beskyttelse mot korrosjon på jern, kreves at vannet inneholder oksygen, og at det ikke inneholder større mengder klorider og sulfater. Dersom et slikt belegg ikke gir tilstrekkelig beskyttelse, er det vanlig å tilsette fosfater. Fosfatene danner tungtløselige forbindelser med kalsium, og dette bidrar til å tette kalkrustbelegget og dermed gjøre beskyttelse mer effektiv.

I vann hvor karbonatutfelling ikke er mulig, vil korrosjon på jern alltid forekomme, selv i helt oksygenfritt vann. Når jern korroderer, vil korrosjonsproduktene avsette seg i form av oksyder på overflaten. Siden man får dannet både to- og treverdige jernioner og hydroksydene av disse har forskjellig løselighet, gir oksydbelegget som dannes dårlig beskyttelse mot korrosjon. Det er ujevnt

og har svake punkter som gjør at korrosjonen blir ujevnt. Starter korrosjonen et sted, bygger det seg opp rustknoller av korrosjonsproduktene på overflaten. Rustknollene vokser innenfra etterhvert som det dannes groper i metallet. Et snitt gjennom en rustknolle viser en lagdeling som tyder på at korrosjonen har foregått med vekslende oksygentilgang. Korrosjonshastigheten er størst ved lavt oksygeninnhold på jernoverflaten, og korrosjonsproduktene som dannes er mørke. Ved høyt oksygeninnhold avtar korrosjonshastigheten og oksydene som dannes er brune. For støpejern er korrosjonshastigheten forholdsvis lav. Et støpejernsrør ble undersøkt etter ca. 70 års drift. Korrosjonsangrepene på enkelte steder hadde trengt ca. 5 mm inn i rørmaterialet, og korrosjonsproduktene var avsatt som rustknoller på overflaten.

Avsetningen av korrosjonsproduktene fører til en reduksjon av rørtverrsnittet og dermed en reduksjon av vanngjennomstrømningen. For rør av mindre dimensjoner har antakelig denne reduksjon av tverrsnittet større betydning for rørenes driftstid enn selve korrosjonen. Sinkbelegget i galvaniserte jernrør tæres forholdsvis fort av surt vann, og etter at det er borte, begynner jernet å korrodere. Korrosjonsproduktene av jern trenger stor plass, og for 2" galvaniserte jernrør har vi erfaring for at de har grodd igjen av rust etter en total driftstid på bare ca. 10 år.

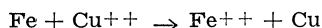
Vannledningsrør av jern for vann hvor karbonatutfelling ikke er mulig, må være overflatebehandlet slik at

vannet ikke får direkte kontakt med metallet. Når man finner rustknoller i jernrør for bløtt overflatevann, betyr det at rørene mangler den korrosjonsbeskyttelse som gjør dem egnet for vannet. Mange rør leveres fra fabrikk påsmurt tynne asfalt- eller steinkulltjærebelegg. Beleggene er ikke beregnet på å gi beskyttelse av rørene under drift, men egentlig bare under transport og lagring. Slike rør er beregnet på vann som gir kalkutfelling. For at asfaltbelegg skal kunne gi beskyttelse, må det ha en viss tykkelse. Der det er små sår eller ujevnheter i belegget, vil vannet få kontakt med jernet som begynner å korrodere, og korrosjonen kan bre seg slik at belegget løsner.

I den senere tid er det laget jernrør med en innvendig sementforing. Foringen har gjerne en tykkelse på omkring fem mm og gir jernet en effektiv beskyttelse mot korrosjon. I vann hvor karbonatutfelling ikke er mulig, vil kalsium med tiden løses ut fra belegget. Undersøkelse av sementforede jernrør etter meget lang driftstid, har vist at etter hvert som kalsium løses fra belegget, blir det tilført jern fra det underliggende metall (3,4). Selv etter at all kalsium er byttet ut med jern i belegget, har det fortsatt sin beskyttende evne i behold, og det dannes ikke rustknoller på yttersiden.

Korrosjon som en elektrokjemisk reaksjon, er avhengig av vannets elektrolytiske ledningsevne, slik at jo lavere ledningsevnen er, desto mindre korrosjon. Ledningsevnen i overflatevann er vanligvis så lav at galvanisk korrosjon i praksis har liten betydning. Galvanisk korrosjon er

den korrosjonsform som oppstår når to forskjellige metaller kobles sammen f.eks. korrosjon på jern som er forbundet med kobber. En annen og langt alvorligere form for korrosjon på jern oppstår når vannet inneholder oppløst kobber (5). Kobber får da direkte kontakt med jernet fordi oksydsjiktet på overflaten ikke dekker fullstendig. Reaksjonen mellom kobber og jern kan oppfattes som en kjemisk reaksjon etter likningen:



idet elektroner utveksles ved direkte kontakt mellom metallatomene. Utfelt kobber oksyderes av vannet og vil igjen kunne angripe mer jern.

En slik reaksjon vil være uavhengig av vannets elektrolytiske ledningsevne. Mens galvanisk korrosjon bare opptrer i kontaktpunktet mellom to forskjellige metaller, vil korrosjon på grunn av spor av kobber i vannet, opptre i hele rørsystemet hvor man har kobberholdig vann, og gjennomtæring skjer på relativt kort tid.

Denne form for korrosjon opptrer i kjølesystem av jern- eller stålrør, for eks. i meierier, hvor vannet tas inn gjennom kobberrør. I resirkulerende kjølesystem kan man også få akselerert korrosjon på jern ved at kobber eller kobberlegeringer i systemet avgir kobber til vannet. I slike tilfeller kan korrosjonen unngås ved å tilsette korrosjonshindrende stoffer til kjølevannet.

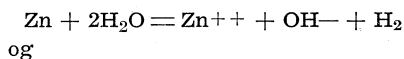
Korrosjon på sink.

Vannledningsrør av galvanisert jern lages bare i mindre dimensjoner. Slike rør brukes til mindre stikkled-

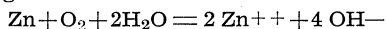
ninger, til vannledninger for små private vannverk og i en viss utstrekning til husinstallasjoner. I den senere tid er galvaniserte jernrør blitt forenget av andre rørmaterialer. Innendørs er kobberrør etter hvert blitt enerådende, og utendørs er plastrør blitt mer og mer alminnelig.

Sinkbelegget på galvanisert jern korroderer i vann. Da sink er et mindre edelt metall, er korrosjonen på sink mer avhengig av vannets surhet enn de fleste andre bruksmetaller. Ved flere anledninger er det funnet høyt sinkinnhold i vann fra galvaniserte jernrør hvor vannkilden var surt og bløtt overflatevann. Ved en undersøkelse utført av NIVA, ble sinkinnholdet i vann som rant kontinuerlig gjennom galvaniserte jernrør analysert, og ut fra resultatene kunne man beregne sinkbeleggets varighet til 1—2 år.

Sink korroderer etter likningene:



og

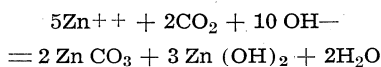


Vannets pH-verdi stiger. Når vannet blir stående i røret, vil denne pH-stigningen føre til at korrosjonen etter hvert stanser. Et sinkbelegg vil derfor vare lenger jo mindre vannføringen er gjennom røret. Etter at sinkbelegget er forsvunnet, begynner jernet å korrodere, og korrosjonsproduktene av jern vil oppta mer og mer plass i røret, slik at den vannmengde man får gjennom røret etter hvert avtar.

Korrosjon på sink i bløtt vann har et minimum i pH-området 8—9 (6). Dette skyldes at det i nevnte pH-område dannes et beskyttende belegg av sink-

hydroksyd på overflaten. Både over og under de nevnte pH-verdier vil dette belegget gå i oppløsning. Galvaniserte jernrør anbefales derfor ikke for vann med lavere pH-verdi enn 8 eller høyere pH-verdi enn 9—10. Høye pH-verdier kan man f.eks. få på vann som har passert lengre strekninger med rør av betong eller asbestsement.

I mer karbonatholdig vann dannes belegg av basisk sinkkarbonat ved reaksjonen:



Dette gir utmerket beskyttelse mot korrosjon. Det er funnet (7) at slike belegg dannes når vannets innhold av karbondioksyd er over 34 mg/l. Vannet må da ikke være for aggressivt, det vil si ha for høyt innhold av karbondioksyd i forhold til kalsium.

Grunnvann er som regel mer karbonatholdig enn overflatevann. Når man har erfaring for at sinkbelegget har gitt fullverdig korrosjonsbeskyttelse i årtier på vannledningsrør fra brønner, skyldes dette at vannets karbonatinnhold har vært høyt nok til å danne beskyttende belegg på sinkoverflaten. Samme beskyttende belegg gjør det mulig å bruke hydrofortanker av galvanisert jern til vann fra borebrønner.

Galvaniserte jernrør brukes også til varmt vann, kanskje ikke så meget her i landet som i andre land. Det har vist seg at når temperaturen på vannet overstiger ca. 60 °C (8), øker korrosjonshastigheten på sinkbelegget radikalt. Den korrosjonsformen som da opptrer, er groptæring, og man får en perforering både av sink-

belegget og av det underliggende jern. Det fins flere forklaringer på dette fenomen. Noen hevder at det skjer en «inversjon av polariteten» (9) mellom sink og jern. Det vil si at jern som normalt er edlere enn sink ved ca. 60 °C, blir mindre edelt enn dette. Denne forklaring er noe tvilsom, idet man da bare skulle forvente en korrosjonsøkning på sink i kontakt med jern. Dette er ikke tilfelle. Det har vist seg at den samme økning av korrosjonshastigheten får man også på sinkplater uten forbindelse med jern. En annen forklaring er at belegg av sinkhydroksyd eller basisk sinkkarbonat ved 60 °C går over til sinkoksyd (10), og dette har karakter av et metallbelegg som er edlere enn både sink og jern. Der det er svakheter i dette belegg, vil man få punktvis angrep, først på sink og deretter på jern. En tredje forklaring er at man over 60 °C får andre mer voluminøse belegg uten noen korrosjonsbeskyttende egenskaper (11).

Ved heving av temperaturen over 60 °C, øker korrosjonshastigheten til et maksimum ved ca. 70 °C for så å avta igjen. Når temperaturen på vannet er kommet opp i 100 °C, er korrosjonshastigheten på sink igjen lav, men noe høyere enn under 60 °C. Autoklaver av galvanisert jern er særlig utsatt for korrosjon idet man både ved oppvarming og avkjøling av disse må forbi det korrosjonsfarlige temperaturområdet.

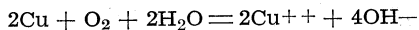
Korrosjon på kobber.

Kobber brukes meget som materiale for vannledningsrør og dominerer fullstendig i husinstallasjoner

både for varmt og for kaldt vann. Foruten til rør brukes kobber i form av plater til innvendig kledning av trykkbeholdere for beredning av varmt vann. Kobberets store utbredelse beror på dets relativt gode korrosjonsbestandighet kombinert med at det er lett å bearbeide og har god varmeledningsevne.

Grunnen til kobberets korrosjonsbestandighet er at metallet er forholdsvis edelt. Det angripes ikke av surt oksygenfritt vann, men korroderer i oksygenholdig surt vann, og korrosjonsbestandigheten er større jo surere vannet er. Også alkalisk vann er korrosivt overfor kobber, men dette kan man se bort fra når det gjelder drikkevann.

I oksygenholdig vann korroderer kobber etter likningen:



Dersom korrosjonen er jevn er hastigheten for den så lav at den i praksis er uten betydning for rørens levetid. I litteraturen (12) er oppgitt at kobber tæres av kaldt vann med ca. 0,002 mm/år ved pH 5, det dobbelte ved pH 4 og bare tredjeparten ved pH 7. Korrosjonshastigheten vil være noe høyere i varmt vann, uten at det hittil har foreligget noe tall for den. Korrosjon tilfører vannet oppløst kobber. Vannet kan på denne måten oppta betydelige mengder kobber, særlig når det passerer lange strekninger med kobberrør, og vannets kontaktid med metallet blir lang. Varmtvannet får høyt kobberinnhold når det oppvarmes i batterier av tynne kobberspiraler. Kobberinnhold på 2–3 mg pr. liter har vært målt i flere tilfeller

i både kaldt og varmt vann. Det er ikke satt noen maksimalverdi for kobberinnhold i drikkevann her i landet, men i følge Verdens helseorganisasjons internasjonale forskrifter bør det ikke overstige 1,0 mg kobber/l.

Overfor mennesker har kobber moderat giftighet. Et voksent menneske kan eksempelvis innta 100 mg kobber pr. dag uten at det medfører noen akutt helseskade. Kobberforgiftning på grunn av drikkevannets kobberinnhold er derfor lite sannsynlig. Husdyr tåler langt mindre kobber enn mennesker, og kobberforgiftning med dødelig utgang blant småfe på grunn av drikkevannets kobberinnhold har forekommet.

Kobber danner grønne forbindelser med såpe slik at man får grønne flekker i vasker og badekar der vannet drypper fra kranen, hvor rester av såpen binder kobberet i vannet. Ved høyere innhold av kobber vil vannet bli grønt når det tilsettes såpe. Tekstilfibre inneholder forbindelser som binder kobber, og tøy kan få en blågrønn farge når det vaskes i kobberholdig vann.

Kobberholdig vann angriper andre mindre edle metaller. Aluminiumskjeler som brukes til koking av vann, får etter hvert gråhvite knopper innvendig. Under disse er det groper i metallet som skyldes kobber i vannet. Sinkbelegget på galvanisert jern (13) og også jern og stål kan angripes av kobber i vannet som nevnt foran.

Groptæring er en langt mer alvorlig form for korrosjon enn den jevne overflatekorrosjonen. Angrepene er da konsentrert til meget små områder av overflaten, og et rør eller en

plate kan gjennomtæres i løpet av kort tid uten at dette har forårsaket spesielt høyt kobberinnhold i vannet. Groptæring på kobber har vært studert i mange land, men i de fleste tilfeller har vannet vært hardt og har hatt høyt mineralinnhold. I USA (14) er temperaturens og strømhastighetens innflytelse på korrosjon i bløtt vann blitt studert, og man fant at ved 10 °C var korrosjonshastigheten lav og uavhengig av strømningshastigheten når denne var lavere enn 3,9 m/s. Når temperaturen steg fra 10 °C, økte korrosjonshastigheten, men avtok igjen over 80 °C. Korrosjonshastigheten hadde en maksimalverdi for temperaturer omkring 70–90 °C. Denne maksimalverdi var særlig markert ved vannhastighet over 1,5 m/s. For hårdere vann hadde temperaturen minde innflytelse på korrosjonen. Når forskningsresultatene skal vurderes må man være oppmerksom på at bløtt vann i denne undersøkelsen var avherdet vann. Det vil si at vannet opprinnelig var hardt, men de hårdhetsdannende ioner, kalsium og magnesium, er erstattet med natrium. Avherdet vann er bløtt vann med høyt mineralinnhold og kan ikke sammenliknes med bløtt og ekstremt mineralfattig overflatevann.

Ved høye gjennomstrømningshastigheter for vannet oppstår turbulens eller erosjonskorrosjon. Kobber er ømfintlig overfor denne form for korrosjon, og angrepene har et karakteristisk hesteskoformet utseende. Skadene oppstår der vannhastigheten er størst, i bend, forskjellige uheldige utførte tilkoplinger og i andre tilfeldige innsnevringar av rørdiameteren. Erosjonskorrosjon oppstår ved at det

beskyttende belegg som dannes på overflaten skades og metallet blottlegges for korrosjon. Når skaden skjer gjentatte ganger på samme sted, oppstår et dypere korrosjonsangrep på metallet. Av betydning for erosjonskorrosjon er vannets innhold av oppslemmede og oppløste stoffer, dets innhold av oksygen eller luft og dessuten vannets temperatur, hårdhet og pH-verdi.

For å unngå erosjonskorrosjon anbefaler kobberrørfabrikantene generelt at vannhastigheten ikke må overstige 1,5 m/s, noe høyere for vann som danner karbonatbelegg. I bløtt overflatevann har man ikke observert skader som skyldes erosjonskorrosjon. Strømningshastigheter på 6 m/s er alminnelig, iallfall i rør for kaldt vann. Ved vurdering av erosjonskorrosjon er det mulig man må skille mellom tilfeller hvor vannet strømmer kontinuerlig med høy hastighet gjennom røret og tilfeller hvor vannet bare i korte tidsintervaller kommer opp i høy hastighet.

I England har Campbell (15) funnet at i visse tilfeller kan bløtt, manganholdig vann forårsake groptæring på kobber. Tæringene har da vært konsentrert på de varmeste deler av varmtvannssystemet. I gropene ble det funnet korrosjonsprodukter av enverdig kobberoksyd og mindre mengder kobberklorid. Man antar derfor at kloridene er en medvirkende årsak til korrosjon. Over gropene besto korrosjonsproduktene vesentlig av basisk kobbersulfat. I Sverige har Mattsson og Fredrikson (16) foretatt undersøkelser av skader på kobber-rør. Det ble bare funnet groptæring på rør for varmt vann. For bløtt

vann fant man groptæring der hydrogenkarbonatinnholdet var lavt, for det meste under 50 mg/l og hvor forholdet mellom hydrogenkarbonat og sulfat var mindre enn 1 og dessuten der pH-verdien var lavere enn 7,4.

Skader på kobberinstallasjoner for varmt vann her i landet skyldes normalt groptæring. Bløtt og surt overflatevann som ikke alkaliseres til tilstrekkelig høy pH-verdi i vannverket er hovedsakelig årsak til skadene. Overflatevannet er ikke like korrosivt overalt. I enkelte distrikter kan rør eller plater av kobber perforeres av korrosjon i løpet av meget kort tid, mens det i andre områder kan ta årtier før materialet gjennomtæres. Selv innen samme distrikt kan hastigheten for gjennomtæring av kobber være meget forskjellig, og årsaken til skadene er derfor ikke helt klarlagt.

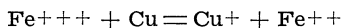
Korrosjonsfenomenene som de er beskrevet fra andre land, stemmer i mange tilfeller dårlig med de observasjoner som er gjort her i landet. I England har man erfaring for at gjennomtæring av kobber i bløtt vann skjer langsomt, og det er sjelden at kobberrør perforeres på kortere tid enn 6 år. Her i landet kan man få perforering i løpet av 1–2 år. Ved de svenske undersøkelser hvor man hadde gjennomtæring i løpet av 2–3 år, var vannets hydrogenkarbonatinnhold omkring 50 mg/l eller lavere, her i landet er hydrogenkarbonatinnholdet sjelden over 10 mg/l.

En undersøkelse av vannkvalitetens og temperaturens betydning for korrosjon av kobberspiraler for varmtvannsberedere (17) viste at

groptæringer bare forekom der vannet inneholdt mer karbondioksyd enn det som tilsvarte likevekt med atmosfærens karbondioksydinnhold og lav temperatur (55 °C). Vannet ble osonert, og på grunn av både gjennomblåsing av osonholdig luft under trykk og på osonets oksyderende virkning på organiske stoffer, fikk vannet et ekstra tilskudd av karbondioksyd. Resultatene av denne undersøkelse førte til at groptæring på kobber måtte studeres under betingelser som tillot en mer kontrollert variasjon av vannets temperatur og karbondioksydinnhold.

Undersøkelser er i gang ved NIVA for å finne sammenheng mellom korrosjon på kobber, vannets temperatur og dets innhold av karbondioksyd. Foreløpige resultater viser at hastigheten for den jevne overflatekorrosjon i vann med konstant karbondioksydinnhold har et maksimum ved ca. 50 °C og avtar med stigende temperatur (18). Ved konstant temperatur øker korrosjonshastigheten med økende karbondioksydinnhold. Groptæring på kobber ser også ut til å ha et maksimum ved ca. 50 °C. Gro-pene som dannes, har liten diameter og er forholdsvis dype. Det ble dannet 0,4 mm dype groper i løpet av 3 måneder.

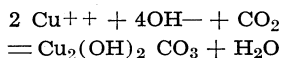
Undersøkelsen har vist at jernhydroksyd utfelt direkte på en kobberflate er årsak til groptæring. Treverdig jern angriper kobber og reduseres til toverdi:



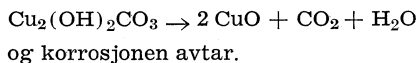
Toverdig jern oksyderes til treverdig av oksygeninnhold og angriper kobberet på nytt. Korrosjonsangrepet

er en kjemisk reaksjon analog med angrep av kobber på jern.

Forskjeller i korrosjonshastighet har sammenheng med beleggdannelse på metallflaten. Med lavt karbondioksydinnhold i vannet og pH-verdi over 7, dannes et svart belegg av kobberoksyd på overflaten. Dette gir god korrosjonsbeskyttelse. Med høyere karbondioksydinnhold og lavere pH-verdier dannes grønne belegg av basisk kobberkarbonat etter likninen:



Belegget gir dårlig beskyttelse mot korrosjon. Når temperaturen stiger, går basisk kobberkarbonat over til kobberoksyd:



Temperaturen på varmtvannet kan variere innenfor vide grenser både som følge av forskjellig termostatinnstilling og forskjellig vannforbruk. Ved oppvarming av vann vil også karbondioksydinnholdet forskyves innen vannmassen bort fra det varme området og mot det kalde. I de fleste varmtvannsberedere står vannet under trykk. Det varmes opp enten direkte av et varmeelement i selve vannmassen, nederst i beholderen, eller indirekte av en avstengt vannmengde under og rundt nederste del av beholderen. Det varme vannet tappes ut øverst i beholderen, og samtidig kommer det en tilsvarende mengde kaldt vann inn nederst. Når dette varme vannet varmes opp, vil man på grunn av overmetning få ulik fordeling av karbondioksydinnholdet

inne i beholderen. Karbondioksyd drives ut mot ytterflatene som stort sett er kaldere enn vannmassen forøvrig.

Varmtvannsberedere med innvendig kobberhud, som særlig er utsatt for korrosjonsskader, er av den mindre typen, såkalte benkeberedere. Disse har liten kapasitet. Med stort forbruk av varmt vann og når varmelementet står innstilt på lav wattstyrke, vil vannet i lange perioder ha lav temperatur og derfor er korrosjonen maksimal. En del varmtvannsberedere er blitt undersøkt ved NIVA. På små benkeberedere, korrosjonsskadet etter 3 års driftstid, hadde kobberhuden et grønt belegg av basisk kobberkarbonat, som beskytter dårlig mot korrosjon. Dette viser at temperaturen på vannet stort sett har vært lav, omkring 50 °C. Beredere med større varmtvannskapasitet hadde mørke belegg på kobberflaten og disse har hatt betydelig lengre driftstid. Mørke belegg dannes ved høyere temperatur og gir bedre korrosjonsbeskyttelse. De beste varmtvannsberedere med hensyn til korrosjon er den type hvor vannet varmes opp indirekte ved at hele beholderen er omgitt av en annen beholder hvor oppvarmingen foregår. I dette tilfelle er det berederveggene som varmer opp vannet og derfor alltid er varmere enn vannet. Dette må anses som en fordel fremfor at vannet varmer opp berederveggene.

Varmeelementer av kobber for direkte oppvarming av vannet vil være



Fri kalk stabiliserer denne likevekt. Vannet i materialet, porevannet, har høyt kalsiuminnhold og høy pH-verdi.

utsatt for korrosjon dersom forbruket av varmt vann er meget lavt eller varmtvannskranen står og drypper. Det kalde vannet kommer inn i bunnen av berederen og man vil da kunne få en sjikting av vannet, det vil si at det oppstår et markert skille mellom varmt og kaldt vann. Termostaten står over varmelementet og kobler dette inn først når det kaldere vannet når opp til termostaten. Varmelementet vil dermed bli stående i lengre tid i vann med maksimum korrosivitet.

Korrosjon på betong- og asbestrør.

Betongrør som må tåle større vanntrykk, lages av forspent betong. Den er fremstilt på en slik måte og med en bestemt gradering av tilslaget så at betongen får optimal tetthet og styrke. I asbestsement er tilslaget asbestfibre, og mørtelen har et forholdsvis høyt sementinnhold. Asbestfibrene tjener også som armering i den ferdige vare. Etter avbindingen herdes asbestsementrør på forskjellige måter. De vanligste er enten i vannbad eller i autoklav.

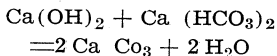
Herdeprosessen for betong og asbestsement er en reaksjon mellom sement og vann, og det dannes sementmineraler og fri kalk eller mer presis, kalsiumhydroksyd ($Ca(OH)_2$). Reaksjonen forløper ikke helt ut, men innstiller seg på en likevekt mellom ureagert sement og reaksjonsprodukter hvor hovedreaksjonen er:

En utvasking av fri kalk fra porevannet forstyrrer likevekten. For å opprettholde denne må mer sement

reagere slik at mer fri kalk dannes. En kontinuerlig utvasking av fri kalk vil derfor føre til at materialet med tiden nedbrytes.

I autoklavherdede asbestsementrør er andel av sement erstattet med pulverisert kvarts som i autoklaven reagerer med kalsium til kalsiumsilikat. Materialet vil derved få et lavere innhold av fri kalk og skulle derfor være mer motstandsdyktig overfor utvasking eller utluting.

Utluting av fri kalk gir vann i kontakt med betong- eller asbestsement en høyere pH-verdi og et høyere kalsiuminnhold. For vann med så høyt innhold av kalsium og karbondioksyd at det er i nærheten av karbonatlikevekt, vil denne forandring av vannkvaliteten forårsake en utfelling av kalsiumkarbonat på betong- eller asbestsementoverflaten etter likningen:



Karbonatutfellingen eller karbonatiseringen stanser da videre utluting av fri kalk. Konsentrasjonen av kalsium og karbondioksyd i bløtt overflatevann her i landet er i de fleste tilfeller så lav at karbonatisering av en betong- eller asbestsementoverflate ikke er mulig.

I vann fra betong- eller asbestsementrør uten beskyttende belegg på overflaten, er det påvist en økning av vannets pH-verdi og kalsiuminnhold i overensstemmelse med det som er nevnt ovenfor. Dette viser at det foregår en oppløsning av rørmaterialet. Nedbrytningshastigheten for et bestemt rør kan beregnes når man kjenner vannføringen, rørets

lengde, dimensjon og rørmaterialets sammensetning. Forspente betongrør av større dimensjoner brukes til overføringsledninger. Vannføringen blir målt til enhver tid, og det er sjelden større uttappinger underveis. For slike rør ligger forholdene vel til rette for bestemmelse av kalkutløsningsen «in situ» fra materialet. Ved NIVA er det ved flere anledninger foretatt slike beregninger (19–23). Undersøkelsene har vist at utlutingen av kalsium er størst i den første driftstiden og avtar forholdsvis raskt de første 2–3 år og deretter langsomt. Etter 12 år tilsvare kalkutløsningsen en korrosjon på mellom 0,1 og 0,2 mm pr. år (19).

Asbestsementrør benyttes i mindre dimensjoner og det er som regel flere avgreninger. For disse er det vanskeligere å få sikre mål for vannføringen i en bestemt strekning slik at man kan få pålitelige tall for kalkutløsningsen ved å analysere vannet fra rør i bedrift. For asbestsementrør der vannet ble undersøkt over et lengre tidsrom, tilsvarte kalkutløsningsen en tæring av materialet på 0,5–0,7 mm pr. år (21). Sammenliknet med betongrør er dette en høy korrosjonshastighet. For å få sikrere tall for korrosjonshastigheten ble det montert et forsøksanlegg hvor kalkutlutingen kunne bestemmes under mer kontrollerte betingelser enn hva man kan oppnå for rør i drift.

To typer asbestsementrør, det ene autoklavherdet og det andre vannherdet, er under utprøving i et forsøksanlegg. Resultatene hittil har vist at utløsningsen av kalsium fra rørmaterialet har vært konstant under hele undersøkelsestiden og den sam-

me for begge rør (23). Kalkutløsningen tilsvarer en korrosjonshastighet på 0,1–0,2 mm pr. år. Det er det samme som ble funnet for forspente betongrør.

Asbestsement er et mer sementholdig materiale enn betong. Man får derfor en større påvirkning av vannkvaliteten for hver flateenhet asbestsementrør enn betongrør. Avhengig av vannets oppholdstid i rørene kan pH-verdien på vann fra asbestsementrør ofte bli meget høy. Verdier på over 11 er ingen sjeldenhet. Vannet fra rørene i forsøksanlegget, hvor oppholdstiden var ca. 1 døgn, hadde en pH-verdi på omkring 10. Ifølge Verdens helseorganisasjons internasjonale normer er den høyest tillatte pH-verdi for drikkevann 9,2.

På den indre overflate av både betong- og asbestsementrør dannes

etter hvert belegg både som følge av utfellinger fra vannet og på grunn av hydrolyse av utløste silisiumforbindelser fra rørmaterialet. Dette belegget har vist seg å ha en viss motstandsdyktighet mot vannets eroderende virkning. I ett tilfelle er vannhastighetens innflytelse på belegg i betongrør blitt undersøkt og man fant at vannhastigheten opp til 3,12 m/s ikke hadde noen eroderende virkning på belegget (18). For å undersøke om avsatt belegg har noen innflytelse på kalkutløsningen fra asbestsement, ble avsatt belegg omhyggelig fjernet en gang fra rørene i forsøksanlegget. Etter igangsetting fant man en større kalkutløsning bare for de vannherdede rør. Dette viser at belegget har en viss beskyttende virkning for denne rørtape.

1. Kristiansen, H.: *Det naturlige vanns aggressivitet og forskjellige metoder til bestemmelse av vannets aggressive egenskaper.* Vatten 4, 439, 1969.
2. Kristiansen, H.: *The calcium concentration at different temperatures as a function of the pH for water in a carbonate equilibrium.* Vatten 1, 7, 1975.
3. Carson, H. Y.: *Cement-lined water mains.* Ind. Eng. Chem., 19, No. 7, 1927.
4. Chappell, E. L.: *Chemical characteristics for cement pipe lining.* Ind. Eng. Chem., 22, No. 11, 1203, 1930.
5. Pourbaix, M.: *Lectures on Electrochemical Corrosion.* Plenum Press, New York — London 1973, side 228.
6. Gmelins-Handbuch: *Der Anorganischen Chemie, Zink.* Verlag Chemie, GMBH S. 559.
7. Bauer og Schikorr: *Über die korrosion von Elektrozinke und Raffinadezinke.* Z. Metallkunde 26, 73–80 (1937).
8. Schikorr, G.: *Trans. Elektrochem Soc.* 76, 247 (1939).

9. Thin, D.: *La corrosion dans les installation de distribution d'eau chaude. Causes et remèdes proposés par le Co S.T.I.C.*
L'information du bâtiment. No. 2, février 1969, p. 3—8.
10. Gilbert, J.: J. Elektrochem. Soc. 99, 16 (1952).
11. Dreulle, N. og Dreulle, P.: *Comportement du zine et de l'acier galvanisé dans les environnement nocifs et rôle protecteur du zine.*
La Tribune du CEBEDEAU, Nos. 369—370, 334 (1974).
12. Camp: *Water and its Impurities.*
Reinhold publishing corporation. New York 1963, s. 172.
13. Dreulle, N. og Dreulle, P.: *Influence du cuivre sur la corrosion par l'eau chaud du zine et de l'acier galvanisé.*
Revue de métallurgie. Mars 1972 s. 233.
14. Obrecht, M. F. og Quill, L. L.: *How temperature velocity of portable water affect corrosion of copper and its alloys.*
Keeney Publishing Co., Chicago 1962.
15. Campbell, H. S.: *A natural inhibitor of pitting corrosion of copper in tap-water.* Journal of Applied Chemistry 4, 633 (1954).
16. Mattsson, E. og Fredrikson, A.-M.: *Fitting corrosion in copper tubes — Cause of corrosion and counter-measures.* Br. Corros. J., 3, 246 (1968).
17. Kristiansen, H.: K 5—1. *Undersøkelse av korrosjon på varmtvannspiraler.* NIVA 1967.
18. Kristiansen, H.: *Korrosjon på kobber i vann ved forskjellige temperatur og karbondioksydinnhold.* NIVA-rapport CI-06, 1975.
19. Kristiansen, H.: *The extraction of calcium by soft water from prestressed concrete pipes.* Vatten 1, 70, 1974.
20. Kristiansen, H.: *Innwendig korrosjon på betongrør ved Trondheim og Strinda fellesvannverk.* NIVA-rapport 0—206, 1967.
21. Kristiansen, H.: *Innwendig korrosjon på betongrør ved Skedsmo vannverk, Lillestrøm.* NIVA-rapport 0—222, 1967.
22. Kristiansen, H.: *Innwendig korrosjon på betong og asbestsementrør ved Interkommunalt vannverk.* NIVA-rapport 0—237, 1964 og 1966.
23. Kristiansen, H.: *Undersøkelse av kalkutlating fra betongrør ved Vestfold interkommunale vannverk.* NIVA-fremdriftsrapport K-7/60, 1973.
24. Kristiansen, H.: *Utlating av kalsium fra asbestsementrør.*
NIVA-fremdriftsrapport nr. 5, K-7/69, 1974.