

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Blindern

O - 24/76

KORROSJON PÅ ELEMENTER I VANNVARMERE

En undersøkelse av skadetilfeller

Oslo, 2/3 1977

Saksbehandler Hans Kristiansen

Instituttssjef Kjell Baalsrud

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1. INNLEDNING	6
2. OPPVARMING AV VANN	7
- Spalting av hydrogenkarbonatinnholdet i vannet	
- Forskning av vannets karbondioksydinnhold	
- Endring av vannets pH-verdi	8
3. KOBBERELEMENTER	8
- Undersøkelse av elementer fra Oslo-distriktet	
- Dimensjoner - wattstyrke - overflatebelastning	
- Metallbelagte elementer	
- Prinsippet for beleggets korrosjonsbeskyttende virkning	
- Nikkelbelakte elementer, korrosjon på nikkelbelagte elementer	
- Tinnbelakte elementer, korrosjon på tinnbelegget	
- pH-verdiens betydning	
3.1 <u>Jevn overflatekorrosjon</u>	9
- Korrosjon på kobber i oksygenholdig vann	
- Dannelse av belegg på metalloverflater	
- Korrosjonshastigheten i vann med forskjellig pH-verdi	
- Korrosjon i varmt vann.	
- Humusstoffenes og karbondioksydets betydning for korrosjon i varmt vann.	
- Korrosjonshastigheten i humusholdig og humusfritt vann ved forskjellige temperaturer og CO ₂ -innhold, figur 1.	28
- Korrosjonshastigheten som funksjon av CO ₂ -innholdet, figur 2	29
- Dannelse av korrosjonsbeskyttende belegg av kobberoksyd på metalloverflaten.	10
3.2 <u>Groptæring</u>	10
- Erfaring fra England med bløtt manganholdig vann, tæring på de varmeste deler	
- Kloridenes betydning	

- Erfaring fra Sverige med bløtt vann og lavt hydrogenkarbonatinnhold i forhold til sulfat, lav pH-verdi.	10
- Erfaring fra Norge, temperaturens innflytelse Reaksjon mellom jern i løsning og kobber	11
3.3 <u>Korrosjo på kobberelementer</u>	12
- Forskjellen mellom korrosjon på en flate som varmer opp og en som varmes opp av vannet	
- Vannprøver fra steder med korrosjon på kobber-elementer: Askøy, Loddefjord, Åsane, Erdal, Stord, Laksevåg, Haugesund, Hølen, Klepp.	13
- Analyseresultater: tabell 1.	31
3.4 <u>Diskusjon av resultatene</u>	14
- Korrosjon på elementer ved forskjellig instilling av bryter	
- Sjiktning av vann ved oppvarming.	15
- Termostatens plassering for å nedsette korrosjon.	
3.5 <u>Elementer av kobber i beholdere av syrebestandig stål</u>	15
- Spenningsforskjellen mellom metaller.	
- Inndeling av metaller i grupper etter spenningsforskjeller	
- Galvanisk korrosjon i elektrolyttfattig vann	16
- Korrosjonsskader på kobberelementer i stålbeholdere	
- Normalpotensialer i forhold til hydrogenelektroder	16
- Figur 3	30
3.6 <u>Undersøkelse av korroderte elementer</u>	16
- Korrosjonsproduktene danner belegg på metalloverflaten, grønt belegg under 50°C, svart over 50°C.	
- Korrosjon på elementer med grønt belegg	17
- Ingen korrosjon på elementer med svart belegg.	
- Korrosjonsskadene størst nærmest forskruingen.	
- Temperaturens innflytelse på korrosjonen.	
4. ELEMENTER AV SYREBESTANDIG STÅL	18
- Syrebestandig stål er betegnelsen på en rekke stållegeringer, som her er behandlet under ett.	
- Dimensjoner - wattstyrke - overflatebelastning av de undersøkte elementer.	

	Side
4.1 <u>Korrosjon på syrebestandig stål</u>	18
- Korrosjonsformer: groptæring, interkrystallins korrosjon, spenningskorrosjon.	
- Årsak til korrosjon.	
- Kloridenes betydning.	
- Anrikning av klorider på metalloverflaten.	19
4.2 <u>Groptæring</u>	19
- Passiv tilstand, krominnholdets betydning.	
- Aktiv - depassivert tilstand.	
- Betingelsen for å opprettholde passiviteten.	
- Oksygeninnholdet i vann ved 0 og 100°C.	
- Oksygeninnholdet i vann under trykk	20
- Utfelling fra vann.	
- Mulighet for depassivering av ståloverflaten under avsetninger.	
- Oksygeninnholdet i overflatevann.	
- Desinfisering av drikkevann.	
- Biokjemisk oksygenforbruk.	
- Oksygeninnholdet i grunnvann.	
- Lufting av grunnvann	
- Oksygenfritt vann	
- Oksygenfattig vann.	
4.3 <u>Korrosjon på elementer av syrebestandig stål.</u>	21
- Vannprøver fra steder med korrosjon på stålelementer: Askøy, Loddefjord, Laksevåg, Andebu, Frosta, Hølen, Gran, Selvik, Hamar, Brumunddal.	22
- Analyseresultater i tabell 2.	31
4.4 <u>Diskusjon av resultatene</u>	23
- Grunnvann har forårsaket de fleste tilfeller av korrosjon.	
- Grunnvann er vanligvis oksygenfattig.	
- Flest skader på det mest brukte elementtrinn	
- Kalkutfelling mulig indirekte årsak til korrosjonsskader	

	Side
4.5 <u>Undersøkelse av korroderte elementer</u>	24
- Temperaturen innflytelse på korrosjonen.	
- Utfelt belegg kan ha vært indirekte årsak til korrosjon, depassivering av ståloverflaten.	
- Mulighet for depassivering øker med økende overflatebelastning.	
- Syrebestandig stål er edlere enn kobber.	25
- Kobberutfelling på ståloverflaten tyder på depassivering.	
5. KONKLUSJON	25
5.1 <u>Kobberelementer</u>	25
5.2 <u>Elementer av syrebestandig stål</u>	26
6. LITTERATUR	27

FIGURER

Fig. 1. Korrosjon på kobber som funksjon av temperatur	28
Fig. 2. Korrosjon på kobber som funksjon av tilsatt CO ₂	29
Fig. 3. Normalpotensial for noen metaller i forhold til hydrogenelektroden	30

TABELLER

Tab. 1. Analysedata for vann hvor man har hatt korrosjonsskader på kobberelementer	30
Tab. 2. Analysedata for vann hvor man har hatt korrosjon på elementer av syrebestandig stål	30

1. INNLEDNING

Opprinnelig var det disponert Tor Bøhmer ved A/S Pyrox som tok initiativet til å få istand en undersøkelse av korrosjon på elementer for vannvarmere og søkte NTNF om økonomisk støtte til et forskningsprosjekt. Dette ble gjort under forutsetning av at en interessegruppe av vannvarmer- og kolbefabrikanter ble dannet, og at interessegruppen skulle stå som ansvarlig for gjennomføringen av prosjektet. NEMKO, som stadig mottar klager fra publikum over havarete varmekolber og derfor er direkte interessert i å få et forskningsprosjekt i gang, påtok seg å formidle den første kontakt mellom de berørte parter. Den 20. oktober 1975 ble det holdt et uformelt møte på NEMKO hvor korrosjonsprosjektet ble diskutert. På møtet var også NIVA representert.

Det var enighet om at forskning på dette felt var nødvendig for å kunne belyse de faktorer som kan bidra til å redusere de korrosjonsproblemer som synes å ha en økende tendens.

NTNF gir økonomisk støtte til industrielle forskningsprosjekter under forutsetning av at industrien selv bidrar med et beløp som er minst like stort. De bedrifter som på disse betingelser var villige til å være med på prosjektet var følgende:

Oslo Sveisebedrift
A/S CTC
Norema A/S
Høyax A/S
J.A. Nordeide & Sønner A/S
Ferro Fil A/S
Hotwater, S. Markmanrud
Lauguna Fabrikker
A/S Pyrox
Backer Elektro-Värme AB

En styringskomite for prosjektet ble opprettet, og denne fikk følgende sammensetning:

Andreas Arnkværn,	A/S CTC
Berit Bieker,	NEMKO
Tor Bøhmer,	A/S Pyrox
Per A. Johannessen,	MVL
Gösta Nilsson,	Backer Elektro-Bärme AB
Knut Nordeide,	J.A. Nordeide & Sønner A/S
J. Thorstensen,	Norema A/S
Prosjektleder Hans Kristiansen,	NIVA

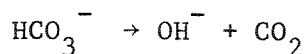
Senere er også Reidar Braathen jr. fra Oslo Sveisebedrift kommet med i styringskomiteen.

En del av korrosjonsprosjektet har gått ut på at de enkelte bedrifters serviceavdelinger har, hvor det har forekommet korrosjonsskader, samlet inn opplysninger om materialer, temperaturinnstilling og tappeforhold m.v. Disse opplysninger, sammen med prøver av drikkevannet på stedet, er sendt inn til NIVA for bearbeiding og analyse. På grunn av at prosjektet er omtalt i pressen, har instituttet fått inn en rekke eksempler på korroderte elementer fra steder der vannkvaliteten er kjent. Det gjelder særlig Oslo og nærmeste omegn.

Dette materialet er bearbeidet og resultatene behandlet i denne rapport.

2. OPPVARMING AV VANN

Når en flate varmes opp, vil hydrogenkarbonatet i vannet ved flaten spaltes etter likningen:



Det dannes karbondioksyd som er en gass uten ladning. Gassen er generelt lettere løselig i kaldt enn i varmt vann. Karbondioksydet som dannes, vil derfor drives bort fra den oppvarmede flate og ut mot kaldere områder i vannet.

Hydroksylionene som dannes ved spaltingen, vil ikke kunne drives bort på grunn av oppvarmingen. Det er elektrisk ladede ioner, og de må derfor

forbli på stedet for å opprettholde likevekten mellom de oppløste ioners ladninger. Dette medfører at pH-verdien på vannet omkring et varmeelement stiger.

3. KOBBERLEMENTER

Tilsammen 10 elementer av kobber er blitt sendt inn til undersøkelse fra Oslo vannforsyningsdistrikt. Alle elementene hadde en wattstyrke på 2000 og besto av to rør eller slynger. Rørenes diameter var 0,8 cm, den ene slyngen var 21 cm lang og den andre 42 cm. Strømstyrken var fordelt med 1/3 på den korteste og 2/3 på den lengste slyngen. Overflatebelastningen var dermed den samme på begge, ca. $6,3 \text{ W/cm}^2$.

Varmeelementer av kobber er vanligvis påført et metallbelegg av tinn eller nikkel. Beleggene påføres elektrolyttisk. Slike belegg er gjerne ikke helt tette, men har porer inn mot det underliggende metall. Både tinn og nikkel er mindre edle metaller enn kobber, og beleggene vil derfor virke katodisk beskyttende overfor kobber.

Undersøkelse av korroderte nikkelbelagte elementer viste at belegget var sprukket opp og korrosjonen på kobberet hadde spredt seg under belegget, slik at dette var skallet av i flak. Dette tyder på at den katodiske beskyttende virkning av belegget har hatt liten betydning. For tinnbelagte elementer viste undersøkelsen at belegget var gått i oppløsning på de partier av elementet som hadde vært varmest under bruk. Det var bare rester av tinnbelegget igjen inne ved anslutningen.

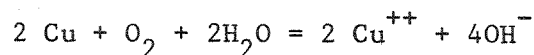
Normalt er tinn passivt overfor korrosjon under de forhold man har i drikkevann. Grunnen til passiviteten er at det dannes et beskyttende belegg på metalloverflaten. Ved høy pH-verdi vil dette belegget gå i oppløsning og tinnet begynner å korrodere.

Ved en oppvarmet overflate vil som nevnt, hydrogenkarbonatet i vannet spaltes og pH-verdien i vannet stiger. Dette kan være grunnen til at tinnbelegget går i oppløsning eller korroderer.

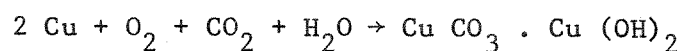
Generelt kan korrosjon på kobber inndeles i to former: jevn overflatekorrosjon og groptæringer.

3.1 Jevn overflatekorrosjon

I oksygenholdig vann korroderer kobber etter likningen:



Kobberhydroksyd som dannes ved reaksjonen, felles ut som et belegg på metalloverflaten og nedsetter korrosjonen. I karbondioksydholdig vann får man også utfelt belegg av basisk kobberkarbonat:

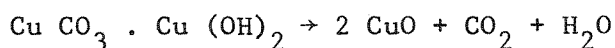


Da de belegg som dannes er basisk av karakter, vil korrosjon på kobber være avhengig av vannets pH-verdi, slik at jo surere vannet er, desto mer korrosjon. Dersom korrosjonen er jevn, er korrosjonshastigheten i kaldt vann ved normale pH-verdier så lav at den i praksis er uten betydning for kobbermetallets levetid. I litteraturen (1) er oppgitt at kobber korroderer i kaldt vann med ca. 0,002 mm/år ved pH 5, det dobbelte ved pH 4 og bare tredjeparten ved pH 7. I varmt vann vil korrosjonshastigheten være høyere fordi kjemiske reaksjoner generelt øker med økende temperatur.

Undersøkelser er utført ved NIVA for å finne sammenheng mellom korrosjon på kobber, vannets temperatur og dets innhold av karbondioksyd. Resultatene av undersøkelsen har vist at for vann fritt for humusstoffer og med konstant karbondioksydinnhold, øker korrosjonshastigheten med stigende temperatur til et maksimum ved ca. 50°C, for så igjen å avta med stigende temperatur. Undersøkelsen har videre vist at humusholdig vann er mer korrosivt overfor kobber enn humusfritt. Figur 1 viser korrosjonshastigheten som funksjon av temperaturen for kobber i humusfritt og humusholdig vann, med og uten tilsetning av karbondioksyd.

Figur 2 viser korrosjonshastigheten som funksjon av tilsatt mengde karbondioksyd. Humusholdig vann var vann fra Oslo vannverk tappet fra ledningsnett. Det har et innhold av organisk stoff på omkring 3 mg C/l.

Grunnen til at korrosjon på kobber avtar med økende temperatur antas å være at det belegg av kobberhydroksyd og basisk kobberkarbonat som dannes ved lav temperatur, spaltes og går over til kobberoksyd når temperaturen stiger:



Kobberoksyd er svart og gir en bedre beskyttelse enn det grønne basiske kobberkarbonatet. Undersøkelsene kan tyde på at humusstoffene i vannet hindrer denne spaltingen, slik at jo mer humus man har i vannet, desto høyere må temperaturen være for at det skal dannes belegg av kobberoksyd på metalloverflaten.

3.2 Groptæring

Groptæring er en langt mer alvorlig form for korrosjon enn den jevne overflatekorrosjon. Angrepene konsentreres til meget små områder av overflaten, og et rør eller en plate kan gjennomtæres i løpet av meget kort tid.

Groptæring på kobber har vært studert i mange land, men i de fleste tilfeller har vannet vært hårdt med høyt mineralinnhold. I England har Campbell (2) funnet at i visse tilfeller kan bløtt, manganholdig vann forårsake groptæring på kobber. Tæringen er da konsentrert på de varmeste deler av varmtvannssystemet. I gropene ble det funnet korrosjonsprodukter av enverdig kobberoksyd og mindre mengder kobberklorid. Kobberkloridet finner man nærmest metallet, og man antar derfor at kloridene er en medvirkende årsak til korrosjonen. Denne form for angrep ble første gang beskrevet av R. May (3) i 1953.

Angrepsmekanismen er teoretisk behandlet av Pourbaix (4) og krever at både klorid- og kobberkonsentrasjonen lokalt er høy og pH-verdien lav (246 mg Cl/l, 270 mg Cu/l og pH = 3,5). I drikkevannet for Brüssel, hvor kloridinnholdet er 22 mg/l og pH omkring 7,9, har man ikke denne form for angrep.

I Sverige har Mattsson og Fredrikson (5) foretatt en undersøkelse av skader på kobberrør. Det ble bare funnet groptæringer på rør for varmt vann.

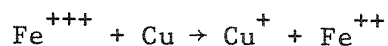
Når det gjaldt bløtt vann, fant man groptæringer der hydrogenkarbonatinnholdet var lavt, for det meste under 50 mg/l og hvor forholdet mellom hydrogenkarbonat og sulfat var mindre enn 1 og dessuten der pH-verdien var lavere enn 7,4.

Skader på kobberinnstallasjoner for varmt vann her i landet skyldes normalt groptæringer. Overflatevannet er ikke like korrosivt overalt. I enkelte distrikter kan rør eller plater av kobber gjennomtæres i løpet av meget korttid, mens det i andre områder kan ta årtier før materialet perforeres. Selv innen samme distrikt kan gjennomtæringshastigheten for kobber være meget forskjellig.

Korrosjonsfenomenene, slik de er beskrevet i 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 undersøkelsene hvor man hadde gjennomtæring i løpet av 2-3 år, hadde vannet et hydrogenkarbonatinnhold på 50 mg/l eller lavere. Hos oss er hydrogenkarbonatinnholdet sjelden over 10 mg/l.

De foran nevnte undersøkelser ved NIVA tydet på at også groptæring på kobber i humusfritt vann hadde et maksimum ved ca. 50°C. Groperne som ble dannet, hadde liten diameter og var forholdsvis dype. Det ble dannet 0,4 mm dype groper i løpet av 3 måneder. Undersøkelsen viste at jernhydroksyd utfelt direkte på en kobberflate kunne være årsak til groptæring.

Treverdige jernioner angriper kobber og reduseres til toverdige:

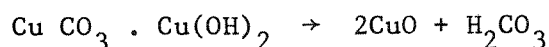


Toverdige jern vil oksyderes til treverdige av oksygenet i vannet og kan dermed angripe kobber på nytt. Korrosjonsangrepet kan således betraktes som en kjemisk reaksjon med jern som katalysator, analogt med angrep på jern eller aluminium i kobberholdig vann hvor kobberionene er katalysator.

Praktisk erfaring har vist at i humusholdig vann kan man få groptæring på kobberrør ved vesentlig høyere vanntemperatur enn 50°C.

3.3 Korrosjon på kobberelementer

De undersøkelser som er gjort ved NIVA, gjelder korrosjon på kobber i varmt vann. Vann og metall hadde i disse tilfeller samme temperatur. Et varmeelement varmer opp vannet, og metallflaten vil derfor ha høyere temperatur enn vannet omkring. Som forklart under avsnittet "Oppvarming av vann", vil vannkvaliteten ved en oppvarmet overflate være forskjellig fra resten av vannmassen. På grunn av spalting av hydrogenkarbonat vil vannet på overflaten få høyere pH-verdi og derfor bli mindre korrosivt. Utfelt basisk kobberkarbonat vil også spaltes ved oppvarming og det dannes fri karbonsyre, slik at vannet omkring blir surere:



Dersom forholdene langs elementoverflaten er homogen, vil den karbon-syren som dannes, drives bort fra elementet ved oppvarming, og hele overflaten blir jevnt passivert. I de fleste tilfeller er miljøet langs overflaten ikke homogent. Man har utfelling fra vannet, og enten det er humusstoffer eller metalloksyder som utfelles, kan man aldri få en jevn avsetning på elementoverflaten. Man kan få en delvis spalting av basisk kobberkarbonat og en ujevn beleggdannelse på metalloverflaten, og som følge derav en ujevn korrosjon.

Vannprøver for analyse er samlet inn fra steder med korrosjonsskader på varmeelementer av kobber. Resultatene er ført opp i tabell 1. I tabellen er angitt sted og vannkilde, om det er offentlig vannverk (V.V.) eller privat brønn. I tabellen er videre angitt hvor lang brukstid elementet har hatt, hvilken stilling bryteren har stått på og hvilken del av elementet som er ødelagt.

Begge prøvene fra Askøy er fra det kommunale ledningsnett. Vannet er surt og ekstremt kalsiumfattig. Kvaliteten på vannet varierer; særlig gjelder det innholdet av organisk stoff (humusstoffer), jern og kobber. Kobberinnholdet må skyldes korrosjon på kobberrør, mens jerninnholdet både

kan skyldes korrosjon på jernrør og være bundet til humusstoffene. Fra humusholdig vann har man en kontinuerlig utfelling av humusstoffene som avsetter seg som slam i rørene. Slammet hvirvles fra tid til annen opp og følger vannstrømmen, men på grunn av ulikt vannforbruk og røرنettets utforming, vil slammet fordele seg ulikt på abonnentene.

Prøven merket "Vestlandet" er noe mer mineralholdig, men kalsiuminnholdet er for lavt til å forårsake kalkutfelling. Høyt magnesiuminnhold i forhold til kalsiuminnholdet tyder på sjøvannspåvirkning. Vannet er surt og korrosivt overfor kobber. Høyt jerninnhold vil forårsake utfelling, slik at korrosjonen blir ujevn.

Vannprøvene fra Loddefjord, Åsane og Erdal er alle sure, meget kalsiumfattige og høye kobberinnhold viser at de er korrosive overfor kobber.

Stord kommune hadde, inntil 1971 iallfall, vannverk med bare overflatevann, men hadde dengang planer om å utnytte grunnvannsforekomster. Vannprøven fra Stord tyder på at planene er gjennomført. Vannet har høy pH-verdi og er derfor lite korrosivt overfor kobber. Det er ikke gitt opplysninger om hvorfor elementet er ødelagt, men vannet har høyt kalsiuminnhold, slik at utfelling av kalkbelegg kan være årsaken.

Prøvene fra Laksevåg og Haugesund er av surt og bløtt overflatevann. De har begge meget høye innhold av organiske stoffer, men som nevnt kan dette innholdet variere. Mest korrosjon på elementer har man hatt i vann fra Haugesund vannverk. Av skaderapporten fremgår at denne ene abonnent har måttet skifte element 6 ganger i løpet av 4 år, og driftstiden for elementene har variert mellom 4 og 10 måneder.

Brønnvannsprøven fra Hølen er sur og har høyt elektrolyttinnhold. Vannet er derfor forholdsvis korrosivt. Vannet har høyt kalsiuminnhold, men på grunn av lav alkalitet, som er et mål for hydrogenkarbonatinnholdet, vil det ikke kunne utfelles kalkbelegg på elementet. Skaden kan derfor bare skyldes tæring.

Når det gjelder tilfellet av korrosjon på kobberelement fra Klepp oppgis at elementet ble ødelagt på korttid og at den elementslyngen som ikke

hadde vært i bruk, var fullstendig opptært, mens den andre slygen fortsatt var brukbar. Analysen viser at vannet er meget surt og har høyt elektrolyttinnhold. Det totale innhold av karbondioksyd i vannet er høyt i forhold til alkaliteten. Det betyr at karbondioksydet i det vesentlige foreligger i fri form. Vannet er da aggressivt, og selv om kalsiuminnholdet er forholdsvis høyt, vil det ikke være mulig å få utfelt karbonatbelegg.

Vannet er generelt korrosivt overfor kobber. Når en av slyngene på et element er varm, drives karbondioksyd bort fra den varme overflaten hvor pH-verdien stiger, men dermed vil vannet omkring den andre slygen bli surere og mer korrosivt enn det analysedata skulle tilsi.

3.4 Diskusjon av resultatene

Resultatene av analysen viser at de fleste vannprøver er sure og dermed korrosive overfor kobber. Dette kommer til uttrykk ved høyt kobberinnhold i ledningsvannet. For surt vann øker korrosiviteten, økende innhold av oppløste salter eller stigende konduktivitet. Kortest levetid hadde et element i surt brønnvann med høy konduktivitet.

Folk har vanligvis bryteren for vannmarmen stående på 1, det vil si med lavest effekt på elementet. Undersøkelsen viser videre at det stort sett er det elementrøret som ikke har vært i bruk, som korroderer. Det er den elementdelen som tilsvarer stilling 2 på bryteren. Vannets innhold av organiske stoffer har i noen grad forstyrret dette bildet.

Den delen av elementet som har påsatt strøm, vil ha høyest temperatur. Det at korrosjonen avtar med økende temperatur, passer med de forskningsresultater som er oppnådd med hensyn til korrosjon på kobber. Om det skal gå strøm eller ikke gjennom elementet, styres av en termostat som er innstilt på en bestemt temperatur. Termostaten er vanligvis montert over elementet.

Når vannet i en vannvarmer blir oppvarmet, oppstår et markert skille mellom det varme og det kalde vannet. Temperaturskillet har man i underkant av det elementrøret som varmer opp vannet, slik at alt vannet under varmelementet er kaldt. Dersom det ikke tappes vann, vil temperatur-

skillet etterhvert viskes ut, og alt vannet i beholderen vil litt etter litt få samme temperatur. Det varme vannet tappes ut fra toppen av vannvarmeren. I en trykkvannvarmer kommer samme mengde kaldt vann inn i bunnen. Derved oppstår et skille mellom varmt og kaldt vann. Jo langsommere man tapper, desto mer markert blir skillet. Dette er vist av Andreas Arnkværn i boken "Varmt vann" (6).

Når det da tappes meget langsomt eller varmtvannskranen står og drypper, får man et markert temperaturskille som beveger seg langsomt oppover, forbi elementet, og først når det kalde vannet rekker opp til termostaten, settes strømmen på elementet. menetterhvert som temperaturskille jevner seg ut, drives karbondioksyd fra den varmere og mot den kaldere sone, slik at elementet før det kobles inn, kan bli stående i vann av maksimal korrosivitet lengre tidsrom av gangen. Dette kan i mange tilfeller også bidra til at man får korrosjon på det elementrøret som står koplet på.

Korrosjon på varmeelementer av kobber kan forhindres ved at man på en vannvarmer har en bryter som enten slår strømmen på eller av og to termostater som regulerer strømstyrken på elementet. Den ene termostaten plasseres i underkant av elementet og opererer det laveste trinnet. Den andre termostaten plasseres over elementet og opererer høyeste trinn. Elementet blir dermed bare satt på full styrke når forbruket av varmt vann er stort.

3.5 Elementer av kobber i beholdere av syrebestandig stål

I passiv tilstand er syrebestandig stål noe edlere enn kobber; det vil si at når syrebestandig stål og kobber koples sammen, må man vente en noe høyere korrosjon på kobberet. Spenningsforskjellen mellom disse to metaller er så lav at den galvaniske korrosjon som derved oppstår, regnes å være uten praktisk betydning. I USA (7) har man av praktiske grunner inndelt bruksmetallene i grupper etter edelheten. Metallene innen hver gruppe kan uten større korrosjonsproblemer, koples sammen. I denne inndeling er syrebestandig stål og kobber oppført i samme gruppe.

Den galvaniske korrosjon er også avhengig av den elektrolyttiske ledningsevne i vannet. Jo høyere ledningsevnen er, desto større er faren for galvanisk korrosjon. I elektrolyttfattig overflatevann er ledningsevnen så lav at man i praksis ikke har fått noen galvanisk korrosjon, selv der metaller fra forskjellige grupper i den ovenfornevnte inndeling er blitt koplet sammen.

Av det som er nevnt ovenfor, skulle derfor kobberelementer ikke være mer utsatt for korrosjon i beholdere av syrebestandig stål enn i beholdere av annet materiale. Praktisk erfaring har imidlertid vist at havarifekvensen for kobberelementer i syrebestandig stålbeholdere er usedvanlig høy. Det er nok å nevne Skjettenbyen i Lillestrøm, hvor det i omkring 1000 leiligheter opprinnelig ble satt inn vannvarmere i HWT-stål med kobberelementer. Etter 3-4 år måtte samtlige elementer skiftes ut på grunn av korrosjon.

På den annen side må det nevnes at man erfaringsmessig ikke har spesielle korrosjonsproblemer med steatittelemerter i kobberhylse montert i beholdere av syrebestandig stål for direkte oppvarming av vannet. I indirekte oppvarmede beholdere har man aldri hatt korrosjonsproblemer med elementene.

Figur 3 viser normalpotensialet for noen metaller i forhold til hydrogen-elektroder. Normalpotensialet er spenningsforskjellen mellom hydrogenelektroder og metallet omgitt av 1 normal løsning av metallens ioner. Det fremgår av figuren hvilken betydelig spenningsforskjell det er mellom syrebestandig stål i passiv og aktiv tilstand.

3.6 Undersøkelse av korroderte elementer

Når belegget som dannes under korrosjon på kobber i varmt vann, har forskjellig farge avhengig av hvilken temperatur korrosjonen har foregått ved, kan man omvendt av fargen på en korrodert kobbergjenstand bedømme hvilken temperatur vannet har hatt under korrosjonen. På samtlige av de undersøkte kobberelementer hadde den minste slyngen, den som tilsvarer stilling 1 på bryteren, en sort overflate stort sett uten tegn til angrep. På noen av dem hadde korrosjonsproduktene en grønnlig farge nærmest for-

skruingen, og her var det antydning til angrep. Det var den lengste slyngen på elementene som var angrepet av korrosjon. Korrosjonsproduktene var grønne, og det viser at den lengste slyngen må ha hatt lavere temperatur en den korte.

Korrosjonen på elementenes lengste slynge så ut til å starte inne ved forskruingen. På noen av elementene var det lengste røret tært helt av og lå på bunnen av beholderen. På elementet fra Oslo, som det refereres til i tabell 1, ble det konstatert feil ved at sikringer gikk. Ved undersøkelse av elementet ble det bare funnet korrosjonsangrep på den lengste slyngen nærmest forskruingen. En vannvarmer ved instituttet her ble skiftet ut etter 5 år. Den var lite i bruk og bryteren hadde alltid stått på stilling 1. Etter utskiftningen ble elementet undersøkt. Elementet var av kobber, og begge rørene hadde svart overflate uten korrosjonsangrep. Dette viser at vannet omkring elementet alltid har hatt forholdsvis høy temperatur.

Undersøkelse av elementene viser klart temperaturens innflytelse på korrosjon av kobber. Folk flest har bryteren til vannvarmeren stående mest i stilling 1. Dermed er det den minste elementslyngen som får strøm og holdes oppvarmet. På grunn av spalting av hydrogenkarbonat drives karbondioksyd bort fra den oppvarmede overflaten, slik at den elementslyngen som ikke oppvarmes, blir omgitt av vann med høyere korrosivitet. Den kaldeste delen av et element er inne mot festet; både fordi beholderveggen leder bort varme og fordi elektriske motstandstråder har sin tilkopling noen centimeter inne i elementetrøret.

4. ELEMENTER AV SYREBESTANDIG STÅL

Under betegnelsen syrebestandig stål inngår flere materialtyper, som foruten at de har det til felles at de ikke ruster under vanlig forekommende betingelser, også har god korrosjonsmotstand mot syrer. Foruten krom og nikkel, som er hovedlegeringsbestanddelene, inngår også i legeringen små mengder andre metaller, f.eks. molybden. Vi har ikke kunnet foreta noen metallurgisk undersøkelse for å bestemme ståltypen. Elementer av disse materialer behandles derfor under ett.

I alt 8 elementer av syrebestandig stål kom inn til instituttet for undersøkelse. 6 av disse hadde samme dimensjoner og overflatebelastninger som kobberlementene, mens 2 var ettrørselementer. Rørets lengde var 420 mm og diameter 14 mm. Effekten var totalt 2000 watt fordelt på to gløde-tråder i røret med 1/3 av effekten på den ene og 2/3 på den andre. Overflateeffekten ble da henholdsvis 3.6, 7.2 eller 10.8 W/cm² for stilling 1, 2 eller 3 på elementbryteren.

Syrebestandig stål brukes uten noen form for belegning av overflaten.

4.1 Korrosjon på syrebestandig stål

Under normale forhold er syrebestandig stål meget bestandig i naturlig vann, og korrosjon opptrer bare under spesielle forhold.

Den korrosjonsform som man kan vente vil opptre på elementer av syrebestandig stål, er groptøring. Av andre mulige korrosjonsformer kan nevnes interkrystallins korrosjon og spenningskorrosjon. Interkrystallinsk korrosjon opptrådte gjerne i nærheten av sveisesømmer og var tidligere et alvorlig problem, men som nå er løst ved å forbedre stål kvaliteten. Korrosjon skyltes utfelling av krom-karbon-forbindelser i det oppvarmede området. Spenningskorrosjon opptrer bare når vann av høy temperatur (over 65°C) har høyt kloridinnhold. Så høye kloridkonsentrasjoner (over 300 mg/l) vil man i praksis bare kunne få når kloridholdig vann damper inn på en ståloverflate. Korrosjonen ytrer seg som sprekkdannelse.

Anrikning av klorider på en elementoverflate kan man få dersom overflate-temperaturen blir så høy at vannet koker. I en trykkvannvarmer ligger vannets kokepunkt på over 100°C , avhengig av trykket. Med et trykk på 100 m vannsøyle koker vannet ved ca. 180°C . I karbonatholdig vann hvor man får utfellinger på elementoverflaten, kan man også få anrikninger av klorider i belegget, som forårsaker spenningskorrosjon på stålet.

4.2 Groptæring

Alle rustfrie og syrebestandige stålkvaliteter inneholder mer enn 12% krom, og grunnen til deres korrosjonsbestandighet er at de lett lar seg passivere ved at det danner seg et belegg av kromoksyd på overflaten. I passiv tilstand er rustfritt og syrebestandig stål langt edlere enn i aktiv tilstand, det vil si uten kromoksydbelegg på overflaten. Betingelsen for å få dannet den passive tilstand og at denne skal kunne opprettholdes er at det finnes oksygen eller andre oksydasjonsmidler i vannet (7). Under reduktive betingelser nedbrytes den passive tilstand og materialet blir aktivt med hensyn til korrosjon.

Korrosjonen opptrer gjerne i oksygenfattig stillestående vann, fordi man da kan få en delvis aktivisering av ståloverflaten. Av denne grunn finner man i litteraturen at oksygeninnholdet i vannet må være over $2 \text{ mg O}_2/1$ for at passiviteten skal kunne opprettholdes (8).

Oppløseligheten for oksygen i vann med fri kontakt til atmosfæren avtar med stigende temperatur fra omkring $15 \text{ mg O}_2/1$ ved 0°C til 0 ved 100°C . Oppløseligheten for oksygen i vann øker med økende trykk. Når vannet varmes opp i en trykkvannvarmer, får oksygenet ikke anledning til å unngå selvselv om oppløseligheten overskrides. Den totale mengde oksygen i varmtvannet må være den samme som i en tilsvarende mengde kaldt vann. Ved oppvarmingen kan man få en forskyvning av oksygenet i vannet fra den oppvarmede flate og ut mot kladere vann. I naturlig vann, særlig overflatevann, vil det være jernholdige humusstoffer som koagulerer og felles ut fra vannmassen og avsetter seg på varmeelementet. Under oppvarmingen forskyves oksygenet bort fra elementoverflaten. Riktignok sirkulerer vannet forbi elementet under oppvarmingen, men det vil allikevel være et

sjikt nærmest overflaten hvor vannet er i ro. Jernet i avsatte humus-stoffer kan reduseres til toverdige. Når elementet senere koples ut, vil jernet bli oksydert, og under denne reaksjon kan metalloverflaten under avsetningen bli depassivert og det oppstår groptæring.

Oksygeninnholdet i drikkevann kan variere innenfor vide grenser. Normalt er overflatevann mettet med oksygen. Om vinteren, når elver og innsjøer er tilfrosset og uten mulighet til å ta opp oksygen fra atmosfæren, kan oksygeninnholdet i vannet bli lavt, ned mot oksygenfritt, særlig i dyp-lagene av innsjøer. Vannverk som tar vann fra dypere lag av en innsjø, kan få oksygenfattig vann. I vann fra større vannverk, som følger Statens Institutt for Folkehelses krav til drikkevann om oksygeninnhold og desinfeksjon, vil man ikke få problemer med oksygenfattig vann. For vannverk som forsyner mer enn 1000 innbyggere, kreves at vannet skal ha en oksygenmetning på over 70% og at vannet skal desinfiseres. Desinfeksjonsmiddelet er et oksydationsmiddel. Selv om vann fra et vannverk blir desinfisert, vil det ikke være sterilt. Når vannet blir stående f.eks. i en avslått vannvarmer hvor det er avsatt organiske stoffer, vil man få bakterievekst som forbruker oksygen. Vannet i beholderen kan da bli oksygenfattig.

Grunnvann er vanligvis oksygenfattig, og vann fra dype borebrønner kan være oksygenfritt. Det er særlig mindre vannverk og enkelthusholdninger som har grunnvannsforsyning. Vannet pumpes opp via en hydrofortank og direkte inn på ledningsnett. Vannet luftes vanligvis bare dersom man har ulemper med det på grunn av høyt innhold av jern og mangan. I oksygenfattig vann foreligger jern og mangan oppløst i toverdige form. Ved tilførsel av luft oksyderes disse ioner til treverdige, henholdsvis fireverdige form og danner fnokker som kan filtreres fra.

Absolutt oksygenfritt vann er ikke korrosivt. Selv om vannet er oksygenfritt når det kommer opp fra grunnen, vil det alltid kunne ta opp oksygen forskjellige steder i ledningsnett. I hydrofortanken er det en luftpute over vannet for å stabilisere trykket. Her kan det tas opp oksygen, og dessuten i pumpen og gjennom pakninger. Oksygen diffunderer lett gjennom veggene i plastrør og inn i vannet. Det er oksygeninnhold på mellom 0 og 2 mg O_2 /l som er farlig for korrosjon på rustfritt stål.

4.3 Korrosjon på elementer av syrebestandig stål

Foruten korroderte elementer er det også kommet inn vannprøver for analyse fra forskjellige steder hvor man har hatt unormalt mye korrosjon på varme-elementer av syrebestandig stål. Resultatene er ført opp i tabell 2.

Prøvene fra Askøy, Loddefjord og Laksevåg oppgir å være fra de kommunale ledningsnett. På alle tre steder benyttes overflatevann. Forbrukerne i Askøy og Loddefjord har begge hatt korrosjonsskader både på kobber (tabell 1) og syrebestandig stål. I Askøy har vannet høyt innhold av organiske stoffer og jern, slik at utfelling på elementet kan ha vært årsak til korrosjonen også på syrebestandig stål. Vannet i Loddefjord skulle normalt ikke kunne forårsake korrosjon da det er oksygenholdig. Skaden oppgis å være overledning, men årsaken til overledningen er ikke oppgitt.

Av analysedata for prøven fra Laksevåg skulle heller ikke dette vannet være korrosivt, men i tabell 1 er det også analysedata for en vannprøve fra samme vannverk i Laksevåg tatt på et annet tidspunkt. En sammenlikning viser at vannkvaliteten varierer. Utfelling på elementet kan være en mulig årsak til korrosjonen. Overflatevann som ikke undergår høygradig rensing i vannverket, kan variere i kvalitet.

Andebu vannverk får vann fra et borehull. Vannet har høyt innhold av oppløste mineralstoffer. Klorid- og sulfatinnholdet er høyt i forhold til alkaliteten. Dette gjør at det ikke så lett avsetter seg kalkbelegg fra vannet. Foruten de analysedata som er angitt i tabellen, ble også oksygeninnholdet bestemt til 0,26 mg O₂/l. Muligheten for depassivering av metalloverflater er derved tilstede. I et kommunalt boligområde har det vært en rekke tilfeller av korrosjon på elementer av syrebestandig stål.

Frosta kommune i Nord-Trøndelag har et kommunalt vannverk som forsyner det meste av befolkningen. Vannet blir tatt fra en innsjø. Imidlertid finnes det også gårder som tar vann fra egne brønner. På tre av disse gårdene har man hatt korrosjonsskader på syrebestandig stål. Elektrisitettsverket har måttet skifte elementer inntil hver 14. dag. Analyseresultatene merket Frosta i tabell 2 er fra en av disse gårdene. Resultatene viser at vannet er forholdsvis kalkholdig. Sammenliknet med prøven fra

Andebu har vannet høyere alkalitet i forhold til klorid- og sulfatinnholdet, slik at det her foreligger mulighet for utfelling av karbonatbelegg på elementet. Vi har ikke kunnet bestemme oksygeninnholdet, men det høye innhold av jern tyder på at vannet er oksygenfattig. Korrosjonsskadene kan i disse tilfeller skyldes kalkavsetninger på elementet og en depassivering av metallet under avsetningen.

Hølen vannverk i Vestby har grunnvannsforsyning, og av analysedata i tabell 2 fremgår at vannet er surt og har så høyt kloridinnhold i forhold til alkaliteten at kalsiumkarbonatutfelling fra vannet ikke er mulig. Korrosjonsskader på elementer av syrebestandig stål har imidlertid forekommet i dette vannet. Da korrosjonen ikke influeres av vannets lave pH-verdi, kan den bare forklares ved at vannet er oksygenfattig.

En gård på Gran, Hadeland, tar vann fra egen brønn, og vannet har forårsaket korrosjonsskader på elementer av syrefast stål. Analysen i tabell 2 viser at vannet har høyt innhold av kalsium i form av hydrogenkarbonat, slik at kalkutfelling på elementet er mulig. Prøven fra Svelvik er også fra en husstand med egen brønn. Analysen viser at vannet er surt og kalkfattig. Utfelling på elementet her er ikke mulig. Det høye kobberinnholdet viser at vannet er korrosivt overfor kobber, og høyt jerninnhold kan tyde på at vannet er oksygenfattig.

Et nytt boligfelt i Hamar hadde korrosjonsskader på elementer av syrefast stål allerede ved innflyttingen. Analysedata i tabell 2 er fra en nylig innflyttet leilighet og fra en leilighet før innflytting. Boligfeltet får vann fra det kommunale vannverk gjennom sementforede støpejernsrør. Høy pH-verdi og høyt kalsiuminnhold i vannet skyldes tæring på sementforingen etter lang oppholdstid for vannet i rørene. Ved henstand i rørene vil også foregå et biokjemisk forbruk av oksygenet, slik at vannet blir oksygenfattig.

Brumunddal har grunnvannsforsyning, og vannet fordeles til forbrukerne via to høydebassenger. Analysen av oksygen i vannet har gitt varierende verdier, men stort sett har innholdet vært lavt. Vannet blir ikke luftet. I tabell 2 er oppført analysedata for 3 vannprøver fra forskjell-

lige steder i Brumunddal. Analysen viser at alle prøver har samme mineralstoffinnhold. De registrerte skader på elementer av syrebestandig stål gjelder boligfelter som begge får vann via det ene av høydebassengene, men det er ikke registrert tilsvarende skader på elementer i boliger som forsynes med vann fra det andre høydebassenget.

4.4 Diskusjon av resultatene

Resultatene av analysen viser at det i de fleste tilfeller er grunnvann som forårsaker korrosjon på syrebestandig stål. Korrosjon har forekommet både i vann med høyt kalsiuminnhold hvor utfelling av karbonatbelegg på elementet har vært mulig, og i vann med lavt kalsiuminnhold hvor slik utfelling ikke har vært mulig. Det er innkommet for få opplysninger om elementenes levetid til å kunne si noe om hvilken vannkvalitet som er mest korrosiv.

Av de få opplysninger vi har fått om bruken av vannvarmere, går imidlertid frem at det er det minste elemenrøret som korroderer. Det er den delen av elementet som er mest i bruk. Det viser at jo varmere metalloverflaten er, desto mer utsatt er den for korrosjon. På kobber danner det seg et oksydbelegg som nedsetter korrosjonen når temperaturen stiger. For syrebestandig stål er heller det motsatte tilfelle; nemlig at oksydbelegget går i oppløsning på grunn av mangel på oksygen i vannet umiddelbart omkring elementet.

Når det gjelder korrosjon i kalkholdig grunnvann, tyder ikke undersøkelsen på at karbonatutfelling har vært den direkte årsak. Grunnvann er vanligvis oksygenfattig, slik at korrosjon som følge av depassivering av metalloverflaten derfor er en mer sannsynlig årsak.

Overflatevann er oftest mettet med oksygen, men når vannet blir stående stille i rør eller beholdere, brukes oksygen opp og vannet blir oksygenfritt. I nye boligområder kan vannet i vannvarmerne bli oksygenfritt før vannforbruket er kommet opp på normalt nivå. Undersøkelsen tyder på at dette kan være årsaken til korrosjon på elementer av syrebestandig stål i nye boligfelter.

4.5 Undersøkelse av korroderte elementer

Kjemiske reaksjoner forløper hurtigere desto høyere temperaturen er. Det samme gjelder korrosjonsreaksjoner når disse får forløpe uhindret. Korrosjon på kobber hindres av en beleggdannelse på overflaten når temperaturen stiger. For syrebestandig stål ser det ikke ut til at noen slik effekt gjør seg gjeldende. På samtlige av de undersøkte elementer var det den minste slyngen som var mest korrodert, og nærmest anslutningen der elementrørene har hatt lavest temperatur, var metalloverflaten best bevart. Et ettrørselement var bare korrodert langs overflaten like over den glødespiralen som var forbundet til stilling 1 på elementbryteren. Da bryteren for det meste blir stående i stilling 1, viser dette at for syrebestandig stål er det de varmeste deler av elementet som er mest utsatt for korrosjon. Der elementrørene var angrepet av korrosjon, var det rustdannelse over større områder. Det viser at ståloverflaten er blitt depassivert på grunn av lavt oksygeninnhold i vannet.

Elementer fra steder med hårdt vann hadde rester av kalkbelegg på overflaten. Det belegget som satt igjen, var meget tynt og skadene så ikke ut til å være forårsaket av en overoppheting på grunn av belegget. Utfelt belegg på en flate som varmes opp, blir gjerne grovkrystallinsk og porøst, og har god varmeledningsevne. Det var det minste elementrøret som var korrodert, og det satt ikke lenger belegg igjen på overflaten. Under rester av belegg på det lengste røret var metalloverflaten ikke angrepet.

Selvom belegget ikke direkte har forårsaket korrosjon, kan avsetningen ha medvirket til at metallet lettere er blitt depassivert i vann med ellers lavt oksygeninnhold. Når en flate varmes opp, drives oksygenet bort fra flaten og et belegg kan hindre oksygenet i å komme tilbake til flaten for å opprettholde passiviteten.

På elementer hvor rørslyngene lå tett sammen, var det avsatt belegg i mellomrommet mellom dem, og her var metallet under på begge slyngene gjennomtåret. Korrosjon her kan forklares ved at metalloverflaten er blitt depassivert når elementet var innkapslet, og belegget har hindret at metallet igjen er blitt passivt etter at det ble koplet ut.

I litteraturen oppgis at syrebestandig stål er edlere en kobber og messing. Det betyr at kobber og messing i kontakt med syrebestandig stål vil korrodere og dermed beskytte stålet galvanisk. Den galvaniske korrosjonen er avhengig av den elektrolyttiske ledningsevne i vannet og har liten betydning i elektrolyttfattig vann. I kalkholdig vann vil utfelling på metalloverflaten også beskytte mot galvanisk korrosjon.

På varmeelementer med skrueanslutning er elementrørene sveiset på en messingforskruing. Det er ikke blitt påvist korrosjon av messingen på noen av de elementer som har vært undersøkt.

Metallenes praktiske edelhet med hensyn til korrosjon vil influeres av beleggdannelsen på overflaten. Avsatte belegg nedsetter i alminnelighet korrosjonen, og metallet blir tilsynelatende mer edelt enn uten belegg. For syrebestandig stål beror dets edelhet på at overflaten har et sjikt av kromoksyd. Kromoksydbelegget nedbrytes når det f.eks. er lite oksygen i vannet.

Et ettrørselement uten korrosjonsskade ble undersøkt. Elementet hadde et svart belegg som gikk i oppløsning ved behandling med konsentrert salpetersyre. I syren ble det funnet 46 mg kobber og 0,1 mg nikkel. Det viser at det sorte belegget besto av kobberoksyd. Den lave nikkelmengden viser at det er lite av selve metallet som har gått i løsning under syrebehandlingen. Kobberet må derfor være utfelt fra vannet. Kobber kan bare felles ut på et annet metall dersom dette er mindre edelt enn kobber. Det betyr at stålet i dette tilfellet har vært på grensen til å bli depassivert.

5. KONKLUSJON

5.1 Kobberelementer

Undersøkelsen har vist at for kobber er det de kaldeste deler av elementet som er mest utsatt for korrosjon. Dette skyldes at på de varmeste deler dannes et oksydbelegg som beskytter mot korrosjon.

Et element av kobber bør derfor alltid være omgitt av varmt vann. Termostaten bør være plassert slik i forhold til elementet, at strømmen settes på så snart det kommer kaldt vann inn i vannvarmeren.

Generelt er korrosjon på kobber større jo surere vannet er, men når elementet varmer opp vannet, spaltes hydrogenkarbonatene på elementoverflaten. Vannet omkring elementet får dermed høyere pH-verdi. Korrosjonen på et varmelement er derfor mindre avhengig av vannets surhetsgrad når det er i bruk enn når det ikke er i bruk.

Innhold av organiske stoffer i vannet fremmer korrosjon på kobber.

5.2 Elementer av syrebestandig stål.

De fleste tilfeller av korrosjon på syrebestandig stål har forekommet i grunnvann. For å opprettholde passiviteten på syrebestandig stål kreves at vannet inneholder minst 2 mg O_2 /l.

Grunnvann har vanligvis lavt oksygeninnhold, og det er sjelden det luftes. Overflatevann kan også bli oksygenfattig dersom det blir stående lenge i rør eller beholdere uten tilgang på luft.

Depassivering av metalloverflaten på grunn av lavt oksygeninnhold i vannet ser ut til å være hovedårsaken til korrosjon på syrebestandig stål.

Det er de varmeste deler av elementet som er mest utsatt for korrosjon.

Beleggdannelse på elementet ser ikke ut til å være den direkte årsak til korrosjonsskade. Avsatt belegg kan imidlertid føre til at metallet under lettere depassiveres og dermed være indirekte årsak til korrosjonen.

På elementer med flere elementrør kan det når rørene ligger tett sammen, avsette seg belegg i mellomrommene mellom dem og med korrosjonsangrep til følge.

6. LITTERATUR

1. Camp: Water and its Impurities.
Reinhold publishing corporation.
New York 1963, s. 172.
2. Campbell, H.S.: A natural inhibitor of pitting corrosion of copper
in tapwater,
Journal of Applied Chemistry 4, 633 (1954).
3. May, R.: Some observations on the mechanism of pitting corrosion.
J. Inst. Metals 82, 65-74 (1953).
4. Pourbaix: Lectures on Electrochemical Corrosion.
Plenum Press. New York - London 1973, s. 266.
5. Mattsson, E. og Fredrikson, A.-M.: Pitting corrosion in copper tubes
- cause of corrosion and counter-measures.
Br. Corros. J., 3, 246 (1968).
6. Arnkværn, Andr.: Varmt Vann.
Vigar A/S - Nesodden 1971.
7. Evans, Ulick R.: The Corrosion and Oxydation of Metals s. 198.
Edward Arnold Ltd., London 1961.
8. Müller, J. Werkstoffeinsatz in Warmwasser-Versorgungsanlagen.
Neye Hütte, 15, 12, 716 (1970).

Fig.1 Korrosjon på kobber som funksjon av temperatur

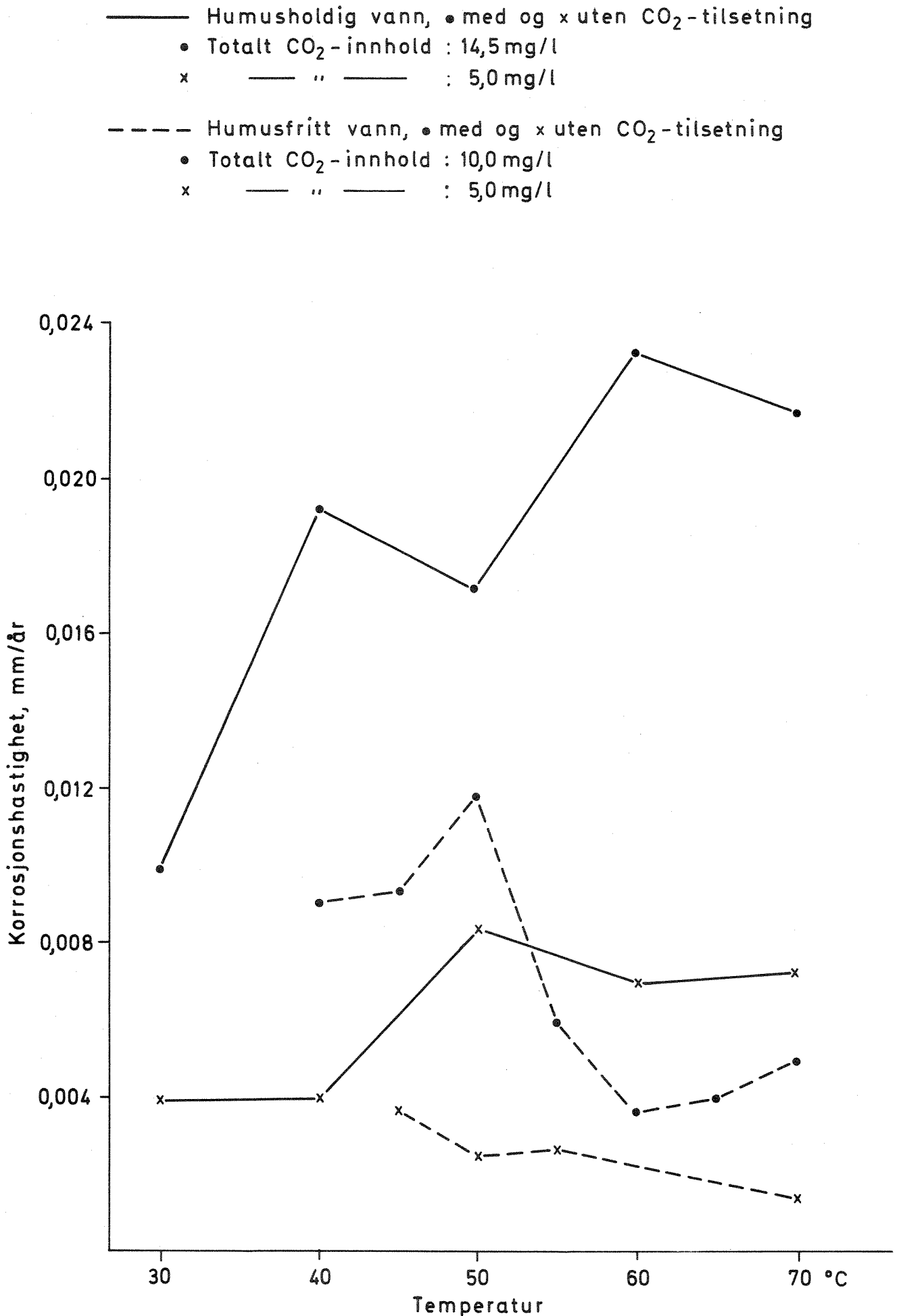
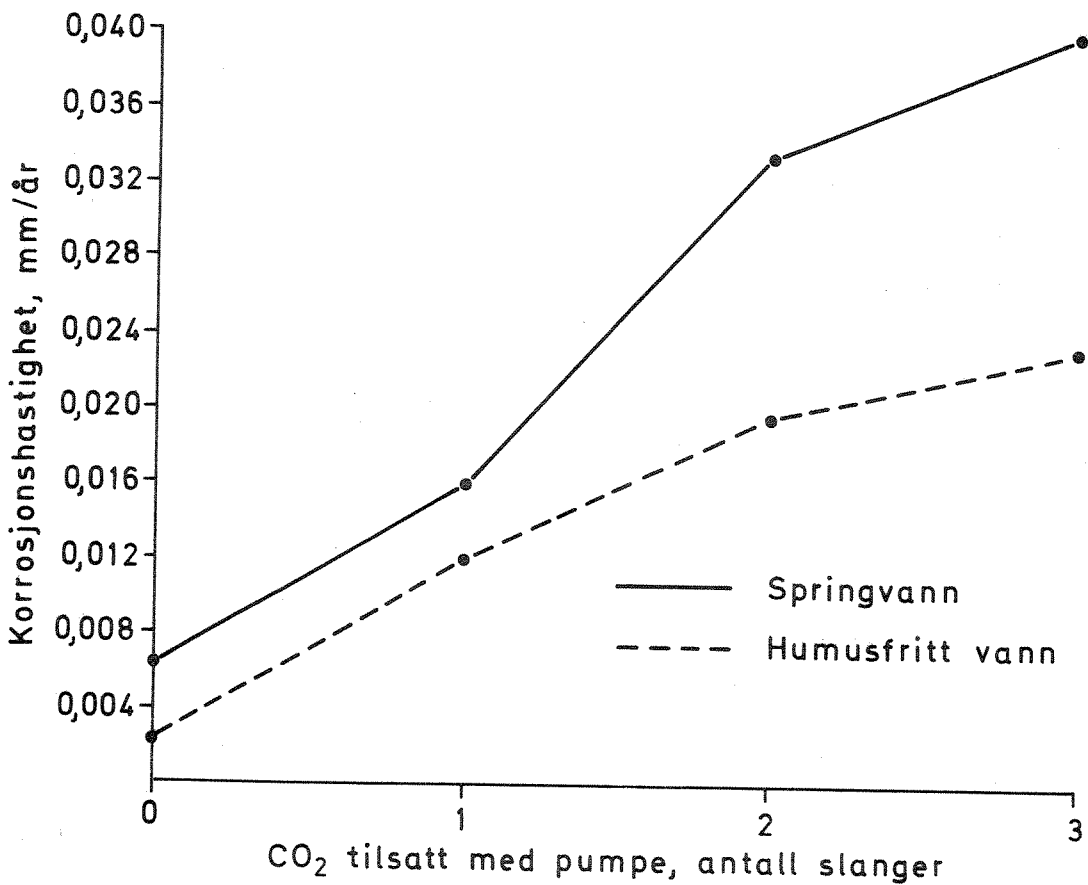


Fig.2 Korrosjon på kobber som funksjon av tilsatt CO₂

Middelverdier for pH og totalt CO₂ -innhold ved de forskjellige tilsetninger

Antall slanger		0	1	2	3
Humusholdig vann	pH	7,0	6,0	5,7	5,6
	mg CO ₂ /l	5,0	14,6	22,8	32,9
Humusfritt vann	pH	7,0	6,2	5,9	5,7
	mg CO ₂ /l	5,0	10,0	16,3	23,9



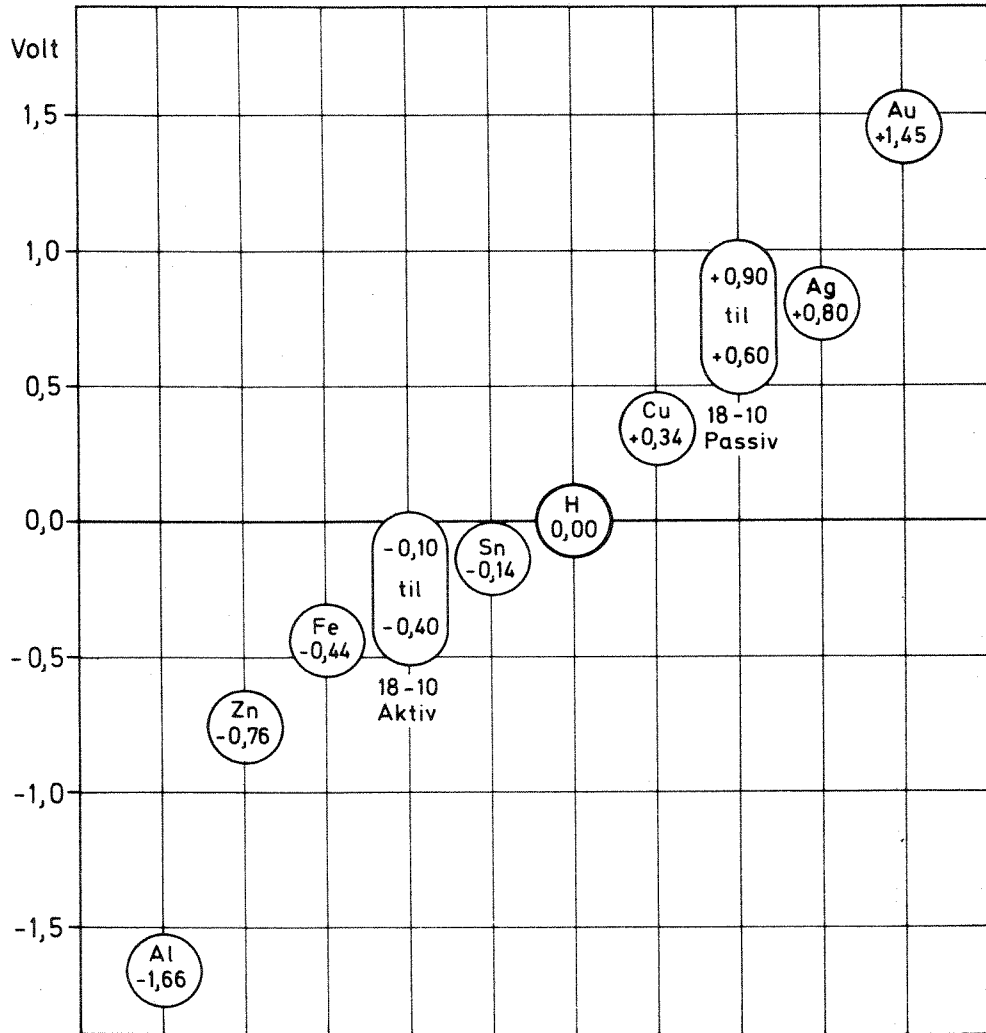


Fig. 3. Normalpotensial for noen metaller i forhold til hydrogenelektroden. 18-10 er syrebestandig stål med 18% C₂ og 10% Ni.

