

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Brekke

O-76024

KORROSJON PÅ ELEMENTER I VANNVARMERE

Avsluttende rapport

Oslo, 10. april 1981

Saksbehandler : Hans Kristiansen

Instituttetsjef : Kjell Baalsrud

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

Postadresse: Brekke 23 52 80
Postboks 333, Blindern Gaustadalleen 46 69 60
Oslo 3 Kjeller 71 47 59

Rapportnummer: 0-76024
Undernummer: IV
Løpenummer: 1273
Begrenset distribusjon: Ingen begrensning

Rapportens tittel: Korrosjon på elementer i vannvarmere. Avsluttende rapport.	Dato: 10. april 1981
	Prosjektnummer: 0-76024
Forfatter(e): Hans Kristiansen	Faggruppe:
	Geografisk område: Generelt
	Antall sider (inkl. bilag): 22

Oppdragsgiver: Interessegruppe av vannvarmer- og elementfabrikanter med NTNf-støtte	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.): B0601-5568
---	--

Ekstrakt:

I trykkvannvarmer hvor vannet varmes opp med elementer direkte inn i bruksvannet har korrosjon på elementene forekommet. For å klargjøre sammenhengen mellom vannkvalitet og korrosjon på elementer av forskjellig materiale og med forskjellig flatebelastning er det satt inn forsøks-elementer forskjellige steder i landet. Undersøkelse av skadede forsøks-elementer har vist at skader på kobber-elementer bare oppstår når temperaturen på metalloverflate er forholdsvis lav, og skader på elementer av rustfritt stål bare oppstår i vann med lavt oksygeninnhold.

4 emneord, norske:	Vannvarmere
1.	Element
2.	Korrosjon
3.	Drikkevann
4.	

4 emneord, engelske:	
1.	
2.	
3.	
4.	



Prosjektleders sign.:

Seksjonsleders sign.:



Instituttetsjefs sign.:

ISBN 82-577-0383-4

FORORD

Prosjekt nr. B 0601-5568 "El. varmekolber - Havaribekjempelse" er en undersøkelse av korrosjon på elementer i vannvarmere for direkte oppvarming av vann. Prosjektet kom i stand i 1976 som et samarbeid mellom produsenter av vannvarmere, leverandører av elementer, norske og utenlandske på det norske marked, og andre interessenter. Prosjektet ble finansiert med 50 % fra Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd (NTNF) og 50 % fra deltakerne.

Hensikten med prosjektet var:

- å komme frem til elementtyper som holder i de vannkvaliteter vi har her i landet.
- å motivere vannverkseiere til adekvat vannbehandling som kan redusere korrosjon.
- å informere fagfolk i bransjen og brukere om hva de kan gjøre for å unngå korrosjonsskader.

Undersøkelsen har vært utført ved Norsk institutt for vannforskning (NIVA) og Det norske Veritas (DnV). Resultater oppnådd gjennom prosjektet er blitt løpende publisert i tidsskriftsartikler og rapporter hvorav de viktigste konklusjoner er omtalt i avisartikler. Denne rapport er en oppsummering av disse publikasjoner og en avslutning av prosjektet.

Tidligere rapporter under prosjektet omtales i teksten og angitt i litteraturfor-tegnelsen (1, 6, 8). I tillegg er laget et tabellverk over kjemiske analysedata for vann fra vannverk og større vassdrag. På side 15 er en liste over tidsskriftsartikler hvor prosjektet er omtalt.

Prosjektet ble ledet av en styringskomité som ved avslutningen av prosjektet hadde følgende sammensetning:

Siv.ing. Berit Bieker, NEMKO
Civ.ing. Algot Danielsson, Backer Elektro-Värme AB
Siv.ing. Gunnar B. Mæhle, DnV
Driftsing. Knut Noreide, J.A. Nordeide & sønner A/S
Siv.ing. Torolf Paulshus, MVL
Ingeniør Bernt Sandtorv, Pyrox A/S
Ingeniør Jan O. Thorstensen, NOREMA A/S
Ingeniør Peter Tscherning, Sandvik Norge A/S
Ingeniør Arne Vold-Johansen, OSO
Ingeniør Svend Aaserud, A/S CTC
Cand.real. Hans Kristiansen, NIVA

med sistnevnte som forfatter av rapporten.

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
FORORD	3
INNHALDSFORTEGNELSE	5
INNLEDNING	6
UNDERSØKELSE AV KORRODERTE ELEMENTER	
Elementer med rør av kobber	7
Elementer med rør av syrebestandig stål	8
FORSØKSELEMENTER	
Elementer med kobberrør	
Elementer med rør av "rustfrie" stållegeringer	10
Beleggdannelse på elementet	12
KONKLUSJON	13
Elementer med rør av kobber	13
Elementer med rør av syrebestandig stål	13
LITTERATURLISTE	14
Tisskriftartikler hvor prosjektet er omtalt	15

NORSK INSTITUTT FOR VANNFRSKNING

KRI/KEN
10.3.1980

KORROSJON PÅ ELEMENTER I VANNVARMERE

INNLEDNING

Da det varmtvannet en familie trengte, ble varmet opp i en trykkløs beholder, hadde man få korrosjons problemer både på element og beholder. I en trykkløs beholder drives både oksygen og fri karbondioksyd ut og vannet får dermed høyere pH-verdi og lavere oksygeninnhold. Begge deler bidro til å minske korrosjonsfaren. For å gjøre tilgangen på varmt vann mer bekvem, ble kaldtvannet ledet under trykk i en kobberspiral gjennom beholderen på badet og frem til servant og kjøkken. Man fikk dermed varmt vann under trykk frem til tappestedene. Slike vannvarmere hadde gjerne liten kapasitet, og avhengig av gjennomstrømningshastigheten fikk man varierende temperatur på varmtvannet. Det oppsto korrosjon i spiralene, og siden disse var laget av rør av små dimensjoner, fikk man forholdsvis høyt innhold av oppløst kobber i vannet.

Behovet for varmt vann ble stadig større og kapasiteten på vannvarmere måtte økes. Dette ble gjort ved å sette trykk på beholderne. Kaldt vann ble ført inn i bunnen og varmt vann ble tatt ut fra toppen og kunne ledes frem under trykk til alle tappesteder. Vannet ble varmet opp av et element av kobber plassert i en avstengt vannmasse, som varmet opp bruksvannet indirekte. I den avstengte vannmassen ble oksygen og fri karbondioksyd drevet ut. Vannet ble "dødt" og man fikk ingen korrosjonsproblemer med elementene, men man hadde et lite forbruk av døvannet. Når beholderen ikke ble etterfylt, kunne elementet bli tørrbrent og dermed ødelagt (se figur 1).

Elementet består av en motstandstråd ført inn i et metallrør og fylt med magnesiumoksyd som isolasjonsmateriale. Metallrøret er bøyd i en hårnåls-slynge og endene festet til elementhodet hvor tilkoplingen utføres. Hvert element består vanligvis av to slynger. Til- og frakopling av elementet reguleres av en termostat som vanligvis er innstilt for en vanntemperatur på 70 °C.

I slutten av 60-årene ble det tillatt å montere elementet direkte inn i bruksvannet. Det førte til at man fikk store korrosjonsproblemer med elementer av kobber. Det ble laget elementer av rustfrie stållegeringer, men også disse fikk man korrosjonsproblemer med.

Det økende antall korrosjonsskader på varmeelementer ble et problem for NEMKO, som hadde stor interesse av å få årsakssammenhengen klarlagt og var derfor med på å ta initiativet til denne undersøkelsen. Analyse av vannprøver, innsamling av skadede elementer og klassifisering av skadene er utført ved Norsk institutt for vannforskning, og de metallurgiske undersøkelser er utført ved Det norske Veritas.

Resultatene som er oppnådd gjennom prosjektet er blitt løpende publisert og gjort kjent. Dette har ført til at praksis er blitt endret og antallet korrosjonsskader har gått betydelig ned siden prosjektet startet.

Undersøkelsen ble lagt på det praktiske plan og i hovedsak utført i to deler. Første del gikk ut på å samle inn skadede elementer og å finne sammenheng mellom skade og vannkvalitet på stedet (1). Den andre del gikk ut på å lage spesielle forsøks-elementer av forskjellig materiale og med forskjellig effekt pr. flateenhet. Forsøks-elementene er montert i vannvarmere hos forbrukere rundt i landet tilknyttet vannverk med forskjellig vannkvalitet.

UNDERSØKELSE AV KORRODERTE ELEMENTER

Elementer med rør av kobber

Korrosjon på elementer med rør av kobber forekom både i grunnvann og i overflatevann. Kobber er et metall med forholdsvis stor motstandsdyktighet overfor en jevn tæring på overflaten. I varmt vann oppstår imidlertid en ujevn tæring. Korrosjonen er da konsentrert til små områder av overflaten hvor metallet gjennomtæres forholdsvis fort. De undersøkte kobber-elementene hadde vært utsatt for denne form for korrosjon.

Korrosjon på kobber øker med stigende temperatur til et maksimum ved omkring 50-60°C (2) for deretter å avta igjen. Grunnen til dette er at det

ved høyere temperatur dannes et svart belegg av kobberoksyd på metall-overflaten som virker beskyttende mot korrosjon. For et element med to rørslynger er den ene eller den andre eller begge slynger tilkopleet strøm med bryter henholdsvis i stilling "1", "2" eller "3".

Temperaturen på overflaten av en elementslynge tilkopleet strøm er omkring 15°C høyere enn i vannet. Elementet får dermed et belegg av kobberoksyd på overflaten selv om temperaturen i vannet er forholdsvis lav. Når vannforbruket er stort i forhold til størrelsen på vannvarmeren, vil man få lav temperatur på vannet omkring elementet. Den elementslyngen som ikke er tilkopleet strøm, vil da ikke få noe beskyttende belegg på overflaten og angripes av korrosjon.

Undersøkelse av skadede kobberelementer har vist at det nettopp er den elementslyngen som ikke er i bruk, som ødelegges. Skader på elementslyngen tilkopleet strøm forekom også. Elementrøret var da angrepet i nærheten av festet og innenfor den oppvarmede sone. Figur 2 viser snitt av et elementrør som er gjennomtæret av korrosjon utenfor oppvarmet sone. Lenger ut hadde røret ingen synlige angrep. I hårdt vann var det tilfeller med kalkutfelling på elementet. Kalkbelegget virket varmeisolerende og elementrøret var ødelagt på grunn av overoppheting.

Elementer med rør av rustfritt stål

Undersøkelse av elementer av rustfritt stål har vist at korrosjonen i de fleste tilfeller forekom på steder med grunnvannsforsyning. På samtlige av de undersøkte elementer var det den minste rørslyngen som var mest korrodert. Det var den slyngen som hadde vært mest i bruk. Nærmest elementhodet hvor elementet har hatt lavest temperatur, var metalloverflaten minst angrepet. Altså motsatt av korrosjon på kobberelementer.

Elementer fra steder med kalkholdig vann hadde rester av kalkbelegg på overflaten. Belegget var imidlertid meget tynt og så ikke ut til å være den direkte årsak til korrosjonen. På elementer hvor rørslyngene lå tett sammen, var det avsatt belegg i rommet mellom dem. Under belegget var metallet på begge rørslynger gjennomtæret. Årsaken til angrepet kan være en overoppheting av metalloverflaten på grunn av beleggavsetningen.

Innhold av klorider kan være årsak til korrosjon på rustfritt stål. Dersom elementoverflaten blir så varm at vannet begynner å koke, kan kloridene oppkonsentreres og dermed føre til lokale angrep. Kloridinnholdet i vann hvor korrosjonsskader hadde forekommet, var i et tilfelle 186 mg Cl/l, forøvrig lå kloridinnholdet under 50 mg Cl/l. I vann fra borebrønner forekom det at nye elementer gjentatte ganger ble ødelagt av korrosjon etter bare 15 dagers bruk.

Grunnvann har vanligvis lavt oksygeninnhold, og jo dypere borebrønnen er, desto mindre oksygen må man vente å finne i vannet. I de tilfeller oksygenet ble bestemt var innholdet lavere enn 1 mg O₂/l.

Korrosjon i overflatevann forekom i et nytt byggefelt hvor vannet ble tilført gjennom et langt ledningsnett. I ledningsnettets kan korrosjon på ledningen og det biokjemiske oksygenforbruk ha vært så stort at vannet er blitt oksygenfattig.

Oksygenfritt vann forårsaker ikke korrosjon, men det er kjent at varmtvannsbeholdere angripes meget hurtig når det er lite fritt oksygen i vannet (3). Oksygenets betydning for korrosjon er omstridt (4). Erfaringer vunnet gjennom prosjektet har imidlertid vist at vannets oksygeninnhold har stor betydning for korrosjonen.

For å unngå korrosjon har J. Müller (5) funnet at oksygeninnholdet må være over 2 mg O₂/l, men denne grenseverdi må antakelig også ses i sammenheng med vannets kloridinnhold. Jo høyere kloridinnholdet er desto høyere må oksygeninnholdet være for at korrosjon skal unngås.

FORSØKSELEMENTER

Det er laget ialt 298 forsøks-elementer. Av disse er 71 laget av fortinnet kobber, resten er av rustfritt stål. Antall og materialsammensetning fremgår av tabell 1. For hver materialtype er elementene gitt 3 forskjellige flatebelastninger i watt pr. cm² røroverflate: 8,25, 5,5 og 2,75. Elementene er sendt til rørleggere for montering i vannvarmere i distrikter med forskjellig vannkvalitet: surt humusholdig overflatevann, kalket overflatevann, fullrenset vann og grunnvann. Med hvert forsøks-element fulgte et rapport-skjema som skulle fylles ut og returneres. Skjema for 192 elementer er kommet i retur. Tabell 2 viser hvor disse er plassert og vannkvaliteten på stedet. Elementene av Incoloy og 2RK65 er bare plassert i Vennesla.

Av de registrerte forsøks-elementer er 30 skiftet ut på grunn av korrosjon og returnert for nærmere undersøkelse.

Elementer med kobberrør

Ialt 11 av de returnerte forsøks-elementer hadde rør av kobber. Elementene har vært brukt både for grunnvann og overflatevann. På samtlige elementer var den elementslyngen ødelagt som ifølge rapportskjemaet ikke har vært i bruk. Det bekrefter hva man tidligere har funnet at korrosjon avtar når temperaturen er så høy at det dannes belegg av kobberoksyd på metalloverflaten. Figur 3 viser et element som har vært i bruk med bryter i stilling "2" (lang slynge). Den korte elementslyngen har ikke vært i bruk og er korrodert.

Elementer med rør av "rustfrie" stållegeringer

Ialt 19 ødelagte elementer av "rustfrie" stållegeringer er kommet i retur. Alle elementene har vært brukt i grunnvann. Det er særlig to distrikter med grunnvannsforsyning hvor forsøks-elementer er plassert. Siggerud, Ski og Vennesla. I Siggerud er 11 av 36 elementer ødelagt av korrosjon, og i Vennesla 5 av 21.

Et element er meldt ødelagt etter å ha vært brukt i humusholdig overflatevann, men dette er ikke blitt returnert for undersøkelse. For 15 elementer var det slyngen med flatebelastning $8,25 \text{ W/cm}^2$ som var ødelagt. For 4 elementer hadde slyngen med flatebelastning $2,75 \text{ W/cm}^2$ korrodert. Tiden elementene har vært i bruk har variert fra under en måned til halvannet år. Figur 4 viser stålelement som har vært i bruk med bryter i stilling "1". Den korte slyngen med høy flatebelastning er korrodert.

En metallurgisk undersøkelse av de korroderte elementer har vist at årsaken til skadene har vært spenningskorrosjon ved depassivering og groptæring under belegg

Spenningskorrosjonen ytrer seg ved sprekkdannelse i materialet og forekommer nesten bare ved høy temperatur. Den alminnelige oppfatning er at spenningskorrosjon bare opptrer i forbindelse med høyt kloridinnhold i vannet. Denne oppfatning stemmer ikke med de observasjoner vi har gjort. For drik-

kevann er kloridinnholdet høyt når det overstiger 200 mg pr. liter. Av tabell 1 fremgår at drikkevannet på forsøksstedene har forholdsvis lavt kloridinnhold.

Hersleb og Schwent (7) fant at rør av rustfritt stål med 2 % molybden ikke korroderte i varmeveksler ved en temperatur på 95 °C og et kloridinnhold på inntil 500 mg pr. liter.

Når temperaturen på en metalloverflate blir så høy at vannet koker, kan man få høyere kloridkonsentrasjon i overgangen mellom vanndamp og vann i overgangen mellom vanndamp og vann, og som følge av det korrosjonsangrep. For et element i en trykkvannvarmer har målinger (8) vist at det ikke inntreffer koking på overflaten ved noen flatebelastning. Noen oppkonsentrering av kloridene på røroverflaten har derfor ikke funnet sted. Derimot inneholder ubehandlet grunnvann lite oksygen. Det ser derfor ut til at mangel på oksygen i vannet har større betydning for korrosjon en høyt kloridinnhold.

Det siste året er tilfellene av korrosjonsskader blitt vesentlig redusert. I Vennesla blandes grunnvannet med overflatevann. Dermed innblandes oksygen i vannet. Siden dette ble gjort har det ikke forekommet korrosjonsskader. I Siggerud er vannforsyningen basert på flere borebrønner. Tidligere ble det pumpet vann fra en eller flere brønner etter behov. Nå pumpes vannet fra alle brønnene til et basseng, og derfra ledes vannet til forbrukerne. Vannet fra en av borebrønnene har relativt høyt oksygeninnhold. Mens vannet på ledningsnettets tidligere hadde et oksygeninnhold på under 1 mg/l, har det nå omkring 2 mg O₂/l. I tillegg blir vannet klorert. Det bidrar også til å øke oksygeninnholdet.

Når et element er tilkopledd strøm, vil den varme røroverflaten drive bort oppløst oksygen. Det er da en mulighet for at ståloverflaten kan depassiveres. Med elementet på lav styrke vil det ta lang tid å varme opp vannet. I tilfelle varmtvannsforbruket er stort eller varmtvannskraner står og drypper, kan elementet det meste av tiden være tilkopledd. For å unngå en depassivering av ståloverflaten må oppvarmingstiden for vannet gjøres så kort som mulig. Ståloverflaten vil da kunne gjenvinne sin passive tilstand i den tiden elementet er frakopledd. Noen av de som har fått montert forsøks-elementer, har hatt disse stående hele tiden på full styrke. Hittil har det ikke vært skader på disse elementer.

Beleggdannelse på elementet

Naturlig vann inneholder kalsium i form av karbonat og hydrogenkarbonat. Kalsiumkarbonat er meget tungt oppløselig i vann. Når innholdet av kalsium i vannet overstiger en bestemt konsentrasjon avhengig av pH-verdien, utfelles kalsiumkarbonat og danner belegg. Kalsiumkarbonat er mindre løselig i varmt vann enn i kaldt. Det betyr at mulighet for utfelling av kalkbelegg er større i varmt vann enn i kaldt. En varm flate som overflaten av et element er særlig utsatt for beleggdannelse.

Når kalsiumkonsentrasjonen i vannet akkurat er på grensen til å felle ut, sier vi at vannet er i karbonatlikevekt. På figur 5 er metningskonsentrasjonen av kalsium angitt som funksjon av temperaturen ved forskjellige pH-verdier. Figuren er å forstå slik: I vann med 30 mg Ca/l og pH 7,5 vil man få kalkutfelling når temperaturen overstiger ca. 57 °C. Dersom man med samme kalsiuminnhold i vannet skal unngå kalkutfelling ved 90 °C, må pH-verdien ikke være over 7. Det må bemerkes at kurvene er teoretisk beregnet og gjelder for rene løsninger. Innhold av klorid og sulfat i vannet vil forskyve kurvene oppover mot høyere kalsiuminnhold.

Temperaturen på overflaten av stålelement er målt, og målingene behandlet i en egen rapport (8). Målingene viser at temperaturen på elementoverflaten øker med flatebelastningen. Figur 6 viser temperaturforskjellen mellom vann og elementoverflate som funksjon av flatebelastningen.

Ved å sammenlikne kurvene på figur 5 og 6 vil man finne at man lett kan få kalkutfelling på elementet når dette er tilkoplek strøm. Utfelling av kalsiumkarbonat fra vann foregår meget langsomt. Til gjengjeld går utfelt belegg langsomt i oppløsning igjen. Beleggdannelse på elementet kan unngås ved å gjøre den tiden det er tilkoplek strøm så kort som mulig i forhold til den tiden det er frakoplek. Dette oppnås ved å la elementet stå på så høy effekt som mulig.

Når oppvarmingstiden for varmtvann er kort, vil det utfelles meget lite belegg, som vil kunne gå i oppløsning igjen i den tiden elementet er frakoplek.

KONKLUSJON

Elementer med rør av kobber

I varmt vann er kobber utsatt for groptæring. Undersøkelsen har vist at det er de kaldeste deler av et element som er utsatt for korrosjon. Det betyr at kobber er mest utsatt for korrosjon i et bestemt temperaturintervall hvor korrosjonsproduktene danner basiske kobberkarbonater på metall-overflaten. Når temperaturen overstiger ca. 60°C, spaltes basisk kobberkarbonat og det dannes et svart belegg av kobberoksyd. Kobberoksyd gir god beskyttelse mot korrosjon.

For å unngå korrosjon bør elementet mest mulig stå på full styrke. Dermed får man et beskyttende belegg av kobberoksyd på hele elementet. Bare dersom varmtvannsforbruket er meget lite, kan man sette bryter på lavere trinn.

Elementer med rør av syrebestandig stål

I bløtt oksygenholdig overflatevann angripes ikke elementene av rustfritt stål. Korrosjon har bare forekommet i oksygenfattig grunnvann. Grunnvann inneholder klorider, men det er ikke påvist noen sammenheng mellom vannets kloridinnhold og korrosjon. Undersøkelsen har vist at lavt oksygeninnhold i vannet har større betydning for korrosjonen enn høyt kloridinnhold.

I en trykkvannvarmer opptrer ingen kokning på elementoverflaten. Korrosjon på grunn av lokal oppkonsentrering av kloridene vil derfor ikke forekomme.

For å unngå korrosjon må vannet inneholde oksygen. Oksygeninnholdet i vannet ved elementoverflaten kan variere. Når elementet er tilkoplek strøm, drives oksygenet bort fra elementoverflaten og vil da omgi seg med oksygenfattig vann. Når elementet er frakoplek, er det omgitt av oksygenrikt vann. For å sikre oksygentilgang til elementoverflaten er det viktig at oppvarmingstiden gjøres så kort som mulig. Elementet bør derfor stå mest mulig på full styrke.

I kalsiumholdig vann kan det dannes belegg på elementet. Beleggdannelse kan unngås ved å gjøre oppvarmingstiden for vannet så kort som mulig. Elementet bør da stå på full styrke.

LITTERATURLISTE

1. Kristiansen, Hans: Korrosjon på elementer i vannvarmere. En undersøkelse av skadetilfeller. NIVA-rapport O-76024 av 2. mars 1977.
2. Kristiansen, Hans: Corrosion of Copper by Water of Various Temperatures and Carbon Dioxide Contents, Werkstoffe und Korrosion 28, 11, 743 (1977).
3. Herbsleb, G. og medarbeidere: Anwendung hochlegierter Stähle als Werkstoffe für Warmwasserbereiter und Wasserverteilungsanlagen. G.W.F. - Wasser/Abwasser, 119, H.1, 31 (1978).
4. Herbsleb, G. und Schwenk, W.: Ist nichtrostender Stahl nur in Sauerstoffhaltigen Wässern korrosionsbeständig? G.W.F. Wasser/Abwasser 119 Heft. 2, 79 (1978).
5. Müller, J.: Werkstoffinsatz in Warmwasser - Versorgungsanlagen Neue Hütte 15, 12, 712 (1970).
6. Mæhle, Gunnar B.: Skadeundersøkelse av varmeelementer. Teknisk Rapport nr. 15 1804/78 fra Det norske Veritas av 15. desember 1978, 9. mars 1979 og 3 stk. av 10. mai 1979.
7. Herbsleb, G. und Schwenk, W.: Korrosionsverhalten von Edelstahlrohren und Rohrverbindungen bei der Warmwasserverteilung in der Hausinstallation. Werkstoffe und Korrosion, 26, 2, 93 (1975).
8. Kristiansen, Hans: Måling av overflatetemperatur på varmeelement av syrebestandig stål. NIVA-rapport O-76024 av 8. november 1979.

Tidskriftartikler hvor prosjektet er omtalt:

1. Korrosjon på elementer i vannvarmere. NIVA-årbok 1976.
2. Korrosjon på elementer i vannvarmere, Norsk VVS nr. 9, 632 (1977).
3. Skader på vannvarmere. Et vanlig problem, Rørfag Nr. 10, 439 (1978).
4. Korrosjon på VVS-rør avhenger av vannets beskaffenhet, Teknisk Ukeblad 10, (1978).
5. Korrosjon på elementer i vannvarmere, Ingeniørnytt 15. årg. nr. 96, 2 (1979).

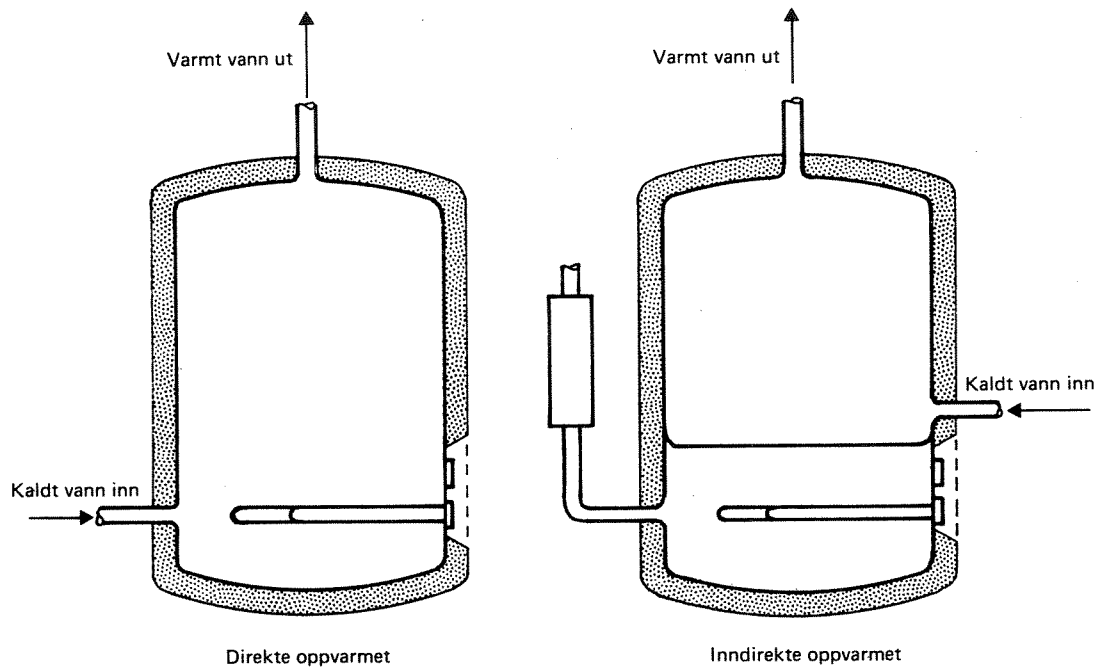
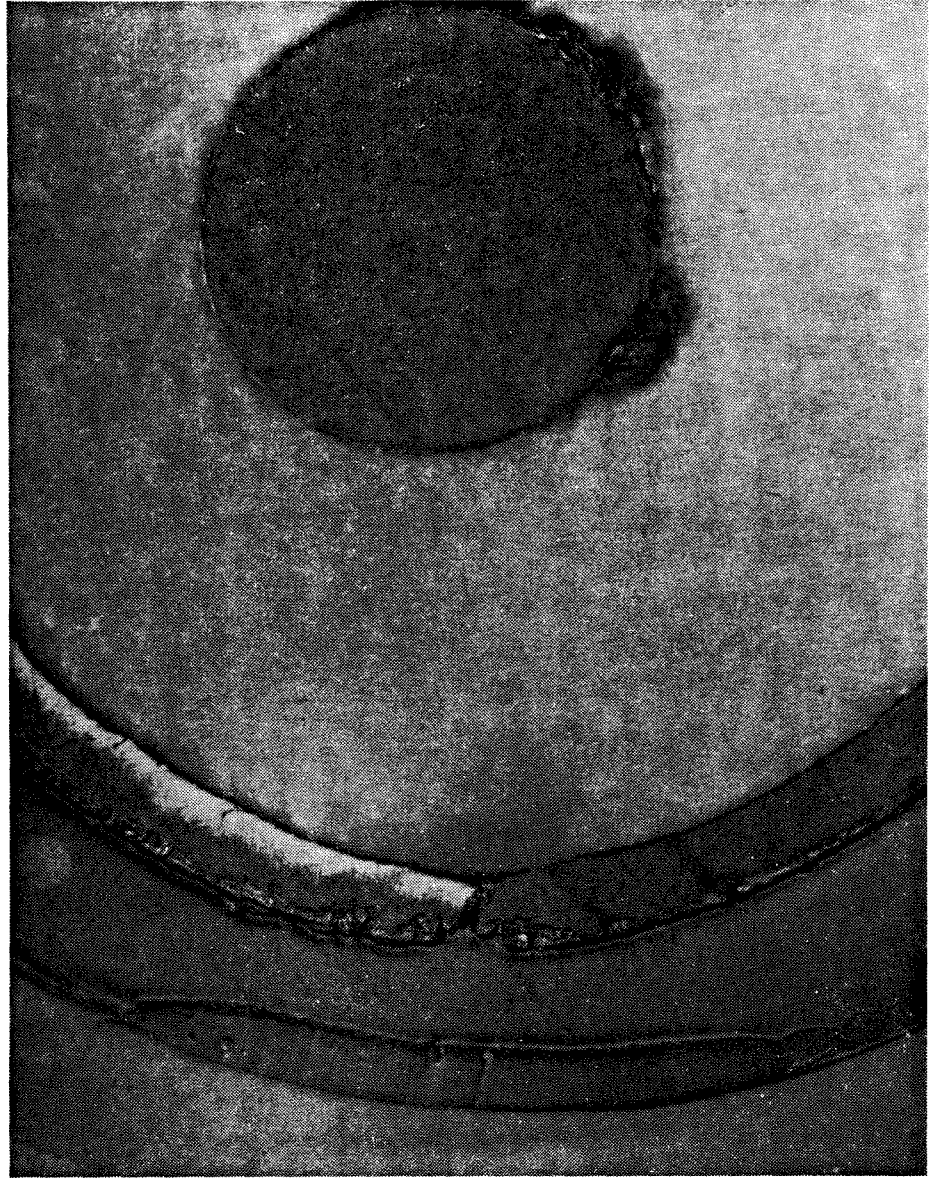


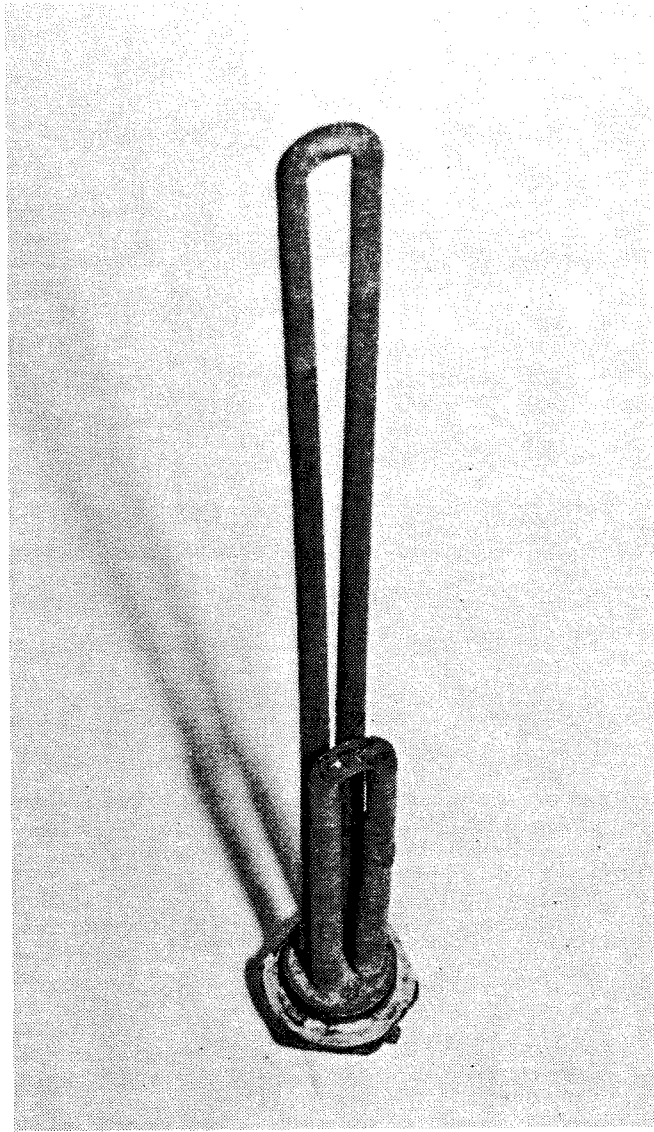
Fig. 1. Vannvarmere.

Vannet blir direkte oppvarmet i beholderen til venstre og indirekte oppvarmet i beholderen til høyre.

Figur 2.

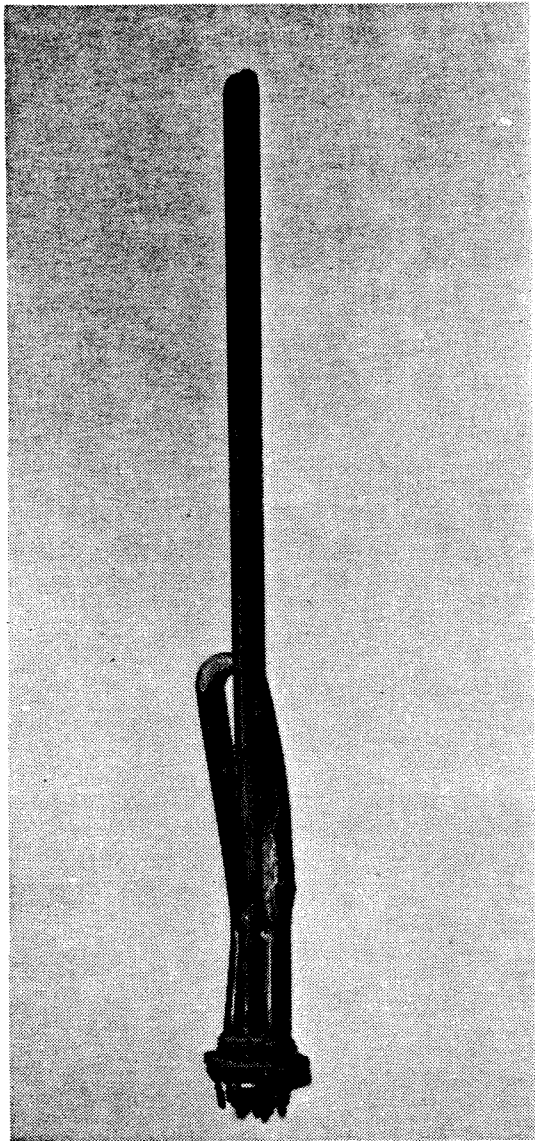
Snitt gjennom korrodert kobberelement. Elementrøret er gjennomtært innenfor oppvarmet sone. Fuktighet har trengt inn i isolasjonsmassen og forårsaket korrosjonsangrep på bolten som motstandstråden er festet til.





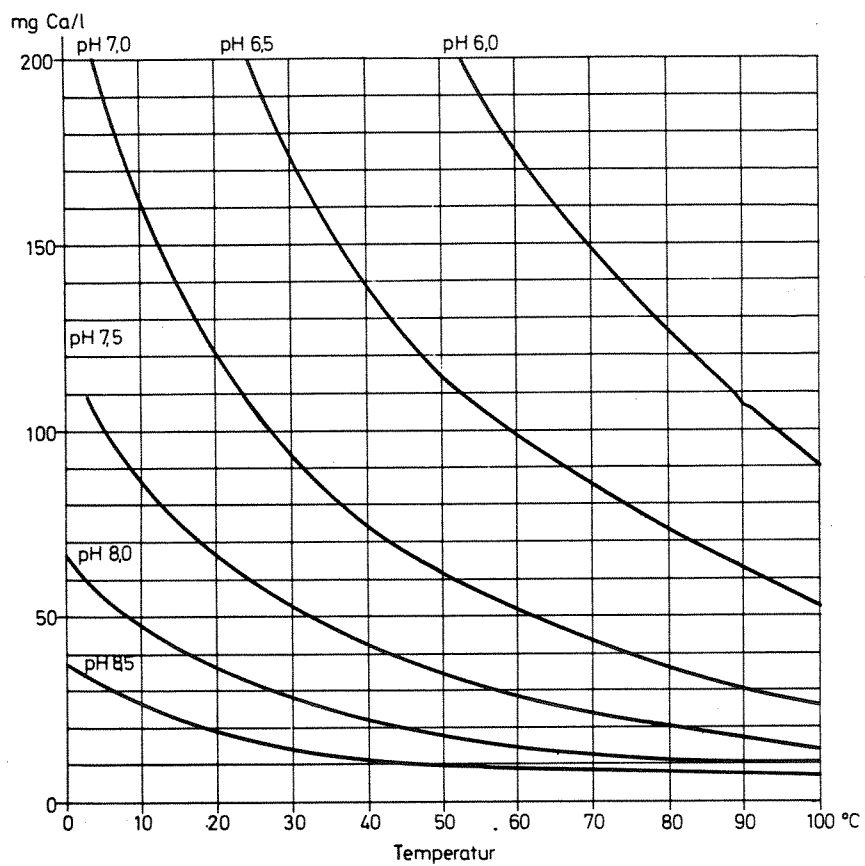
Figur 3.

Element med kobberrør som har vært i bruk med bryter i stilling "2". Den korte slyngen, som tilsvare bryterstilling "1", er korrodert.



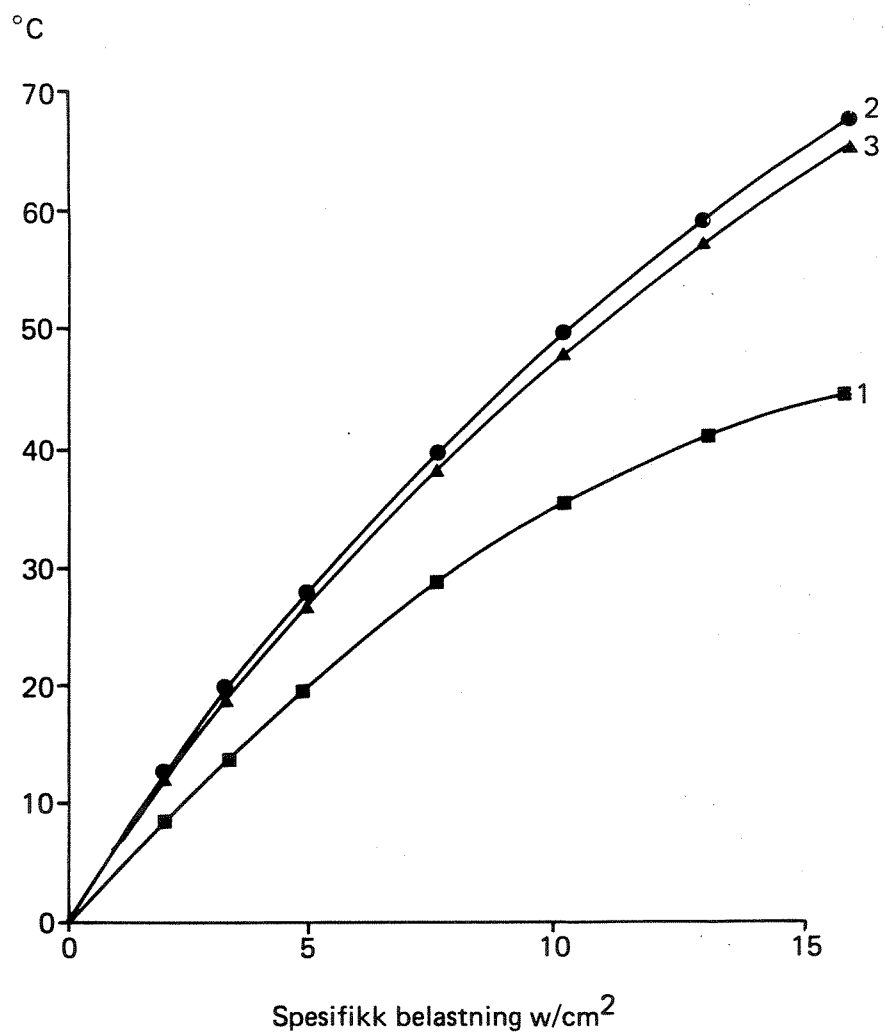
Figur 4.

Korrodert element med rør av syrebestandig stål. Elementet har vært i bruk med bryter i stilling "1" som tilsvarer den korte slyngen med høy flatebelastning. Forstørret utsnitt til høyre.



Figur 5.

Metningskonsentrasjonen for kalsium i vann som funksjon av temperaturen ved forskjellige pH-verdier.



Figur 6.

Temperaturforskjell mellom vann og elementoverflate som funksjon av den spesifikke flatebelastning ved et trykk på 4 atm.

Kurve 1 er temperaturen målt ytterst på elementet, 2 er målt en tredel fra enden og 3 en tredel fra festet.