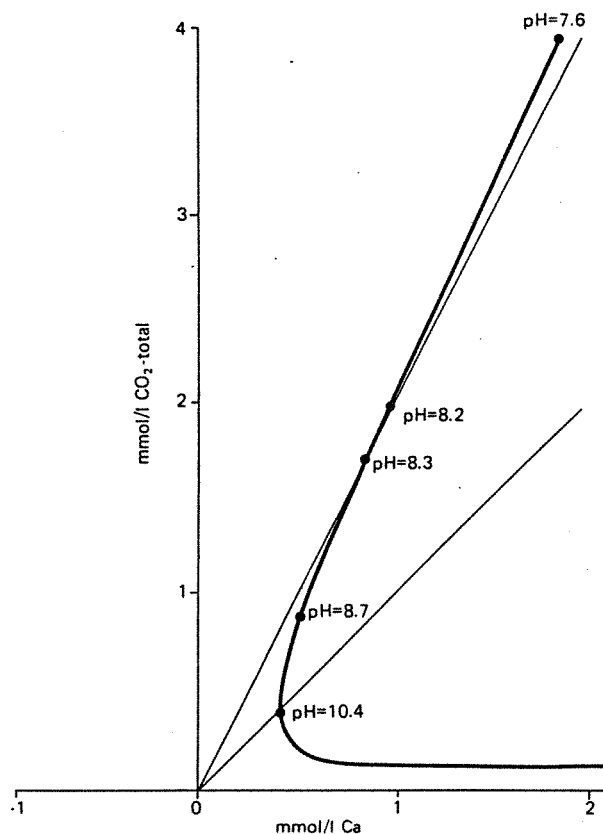


O-88182

# Betydning av surt/korrosivt vann for vannforsyningen i Agder-fylkene



# NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

<b>Hovedkontor</b> Postboks 33, Blindern 0313 Oslo 3 Telefon (02) 23 52 80 Telefax (02) 39 41 29	<b>Sørlandsavdelingen</b> Grooseveien 36 4890 Grimstad Telefon (041) 43 033 Telefax (041) 42 709	<b>Østlandsavdelingen</b> Rute 866 2312 Ottestad Telefon (065) 76 752	<b>Vestlandsavdelingen</b> Breiviken 5 5035 Bergen - Sandviken Telefon (05) 95 17 00 Telefax (05) 25 78 90
--	--	--	--

Prosjektnr.: 0-88182
Undernummer:
Løpenummer: 2237
Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel:  BETYDNING AV SURT/KORROSIVT VANN FOR VANNFORSYNINGEN I AGDER-FYLKENE	Dato: 13. januar 1989
Forfatter (e):  Hans Kristiansen	Prosjektnummer: 0-88182
	Faggruppe: Vannteknikk
	Geografisk område: Agder-fylkene
	Antall sider (inkl. bilag):

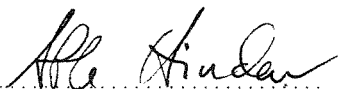
Oppdragsgiver: Prosjektet: Effektivisering av vannforsyn- ingen i Agder-fylkene.	Oppdragsg. ref. (evt. NTFN-nr.):
--	----------------------------------

Ekstrakt: Overflate- og grunnvannet i Agderfylkene er surt og har et meget lavt innhold av oppløste mineralstoffer og er derfor aggressivt. Stål- og støpejernsrør korroderer ujevnt. Sink korroderer raskere jo surere vannet er, mens kobber viste stor motstandsdyktighet overfor korrosjon i aggressivt vann. De viktigste stoffer for dannelse av korrosjonsbeskyttende belegg på materialoverflater er kalsium og hydrogenkarbonat. Særlig er det viktig for å hindre at fri kalk lekker ut fra materialer på basis av sement.
---

- 4 emneord, norske:
1. Ledningsnett
  2. Korrosjon
  3. Forsuring
  4. Tiltak

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

Prosjektleder:



Atle Hindar

For administrasjonen:



Tor Bokn

ISBN - 82-577-1533-6

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

0 - 8 8 1 8 2

BETYDNING AV SURT/KORROSIVT VANN  
FOR VANNFORSYNINGEN I AGDER-FYLKENE

Hans Kristiansen

**INNHOOLD**

	Side
FORORD .....	3
SAMMENDRAG .....	4
1. INNLEDNING .....	6
2. AGGRESSIVITET-KORROSIVITET .....	9
3. KORROSJON PÅ LEDNINGSNETT .....	12
3.1 Korrosjon på betong og asbestsement .....	12
3.1.1 Tiltak mot angrep på sementbaserte materialer .....	13
3.2 Korrosjon på stål og støpejern .....	15
3.3 Korrosjon på varmforsinket stål .....	16
3.4 Korrosjon på kobber .....	17
3.5 Korrosjon på messing .....	18
4. KONKLUSJONER .....	20
REFERANSER .....	24

**FORORD**

Ferskvannet på Sørlandet er surt og meget mineralfattig. Det gjelder både overflatevann og grunnvann. Under prosjektet "Effektivisering av vannforsyningen i Agderfylkene" skal det utredes hvilken økonomisk betydning surt/korrosivt vann har for vannforsyningen i Agder-fylkene. NIVA er bedt om å definere begrepet korrosjon og å karakterisere korrosjonsskader som kan oppstå i Agderfylkene, jfr. referat fra møte hos NIVA den 05.10.88. NIVA's prosjektforslag av oktober 1988 danner utgangspunkt for den foreliggende rapport, jfr. brev av 23.11.88 fra Miljøvernavdelingen hos Fylkesmannen i Vest-Agder.

Årsakssammenhengen mellom surt/korrosivt vann og skader som kan oppstå i vannforsyningen er beskrevet og hvilke skader det kan medføre er vurdert. Selvom vi her ikke skal behandle tiltak mot korrosjon, er det tatt med en del om de betingelser som skal være tilstede for å redusere eller hindre korrosjon. Helsemessige skader som kan oppstå er ikke vurdert idet man har funnet at de mengder tungmetaller som kan utløses allikevel er lave. Asbestfibre kan utløses både fra berggrunnen og asbestementledninger. Selv om fibre ikke har helsemessig betydning for de som drikker vannet, kan fibre i vannet overføres til en luftforurensning enten fra tøy som er vasket med fiberholdig vann eller når vannet brukes til luftbefuktning.

Oslo, april 1989

Hans Kristiansen

## SAMMENDRAG

Vann med lavt innhold av oppløste mineralstoffer er korrosivt overfor de fleste materialer som inngår i et vannledningsnett. Årsaken er at vannet har for lavt innhold av stoffer som kan danne korrosjonshindrende belegg på materialoverflaten. På grunn av likevekten med atmosfærens karbondioksidinnhold er vann med lavt mineralstoffinnhold alltid surt (pH  $\approx$  5.5). Vår tids miljøforsuring kan gjøre at vannet blir enda surere.

I kontakt med berggrunnen blir surt vann nøytralisert og tilført mineralstoffer. Størst betydning for nøytraliseringen har kalkbergarter. I Agder-fylkene består berggrunnen for det meste av uløselige gneisbergarter og både overflatevannet og grunnvannet er derfor surt og har meget lavt innhold av oppløste mineralstoffer.

De viktigste stoffene i vannet for dannelse av korrosjonsbeskyttende belegg på materialoverflater er kalsium og hydrogenkarbonat. Særlig er de viktige for materialer på basis av sement. Når disse stoffene mangler i vannet, skjer det en kontinuerlig utlutning av fri kalk som gjør at materialet brytes ned med tiden. Fri kalk er viktig for å stabilisere sementmineralene.

Stål og støpejern korroderer i mineralfattig vann og korrosjonen er ujevn. Vannet blir rustholdig og forårsaker bruksulepper for konsumenten. For å unngå disse ulemper er det viktig at vannet inneholder hydrogenkarbonat som kan danne belegg av jernkarbonat på metalloverflaten. Vannets alkalitet må da være minst 1.5 mmol/L og pH-verdien ikke over 8.5.

Sink er et uedelt metall som korroderer raskere jo surere vannet er. Sinkbelegg i rør og på utstyr av varmforsinket stål har derfor relativ kort levetid i surt og mineralfattig vann. Oppløst sink i vannet forårsaker bruksulepper og når sinkbelegget er borte begynner underlaget å ruste. For å unngå korrosjon på sink, må vannet ikke være surt og inneholde hydrogenkarbonat. Jo lavere innholdet av hydrogenkarbonat er desto høyere må pH-verdien være.

Kobber er et forholdsvis edelt metall med stor motstandsdyktighet overfor korrosjon selv i surt miljø. For kobber skilles mellom jevn og ujevn korrosjon. Den jevne korrosjonen vil selv i surt vann bety lite for et kobberrørs driftstid, men utløsningen av kobber vil medføre bruksulepper for konsumentene og utløsninger er større jo surere vannet er. Den ujevne korrosjon kan perforere en rørvegg på relativ kort tid. Det er særlig rør for varmt vann som er utsatt for groptær-

ing, men groptæring forekommer også i rør for kaldt vann og kan opptre i vann med høy pH-verdi og lavt hydrogenkarbonatinnhold.

Den messingkvaliteten som vanligvis brukes i forbindelse med drikkevann er utsatt for avsinking. Avsinkinget materiale blir sprøtt og brekker lett. I surt vann føres utløst sink bort med vannet. I alkalisk vann avsettes utløst sink på messingoverflaten og hindrer vanngjennomstrømningen.

Antatte korrosjonshastigheter i mineralfattig vann for forskjellige materialer:

Sementbaserte rørmaterialer:	0.1-0.2 mm/år
Støpejern og stål	: 0.05 mm/år
groptæring	: 0.3 mm/år
Sink	: 0.02-0.05 mm/år
Kobber	: 0.002 mm/år ved pH = 5
groptæring	: 0.2 mm/år

## 1. INNLEDNING

Kvaliteten på drikkevannet i Agder-fylkene er kjent. En undersøkelse av 78 vannverk som forsyner flere enn 100 personer, er samlet inn og analysert.

Av de 78 vannverkene har 56 overflatevann som kilde og 22 grunnvann. Det er vannverk i samtlige av fylkenes kommuner med unntak av Birkenes Kommune. Undersøkelsen er en del av en landsomfattende kartlegging av tungmetaller i drikkevann og fra rapporten (1) er trukket ut de parametre som har betydning for korrosjon på ledningsnett. Middelerverdier for de nevnte parametre og de tilsvarende maksimums- og minimumsverdier er ført opp i tabell.

Analysedata for drikkevannsføremønstre.

	Råvann	Rentvann					
		max.	middel	min.	max.	middel	min.
<b>OVERFLATEVANN</b>							
pH-verdi		6.3	5.0	4.5	8.3	6.1	4.5
Konduktivitet, 25 °C	ms/m	7.55	4.01	1.10	10.83	4.75	1.00
Alkalitet	mmol/L	8.08	0.02	0.01	0.47	0.08	0.01
Klorid	mg/L Cl	14.2	6.2	0.4	14.2	5.9	0.35
Sulfat	mg/L SO <sub>4</sub>	16.5	5.1	1.75	15.5	5.5	1.50
Kalsium	mg/L Ca	4.5	1.2	0.80	4.5	2.6	0.80
Magnesium	mg/L Mg	0.5	0.2	0.25	0.45	0.60	0.20
Natrim	mg/L Na	6.6	3.3	0.70	15.9	5.2	1.0
Kalium	mg/L K	1.15	0.4	0.1	2.5	0.5	0.1
<b>GRUNNVANN</b>							
pH-verdi		6.3	5.8	5.4	8.0	6.7	5.2
Konduktivitet, 25 °C	ms/m	23.5	9.67	2.31	137.8	18.1	2.38
Alkalitet	mmol/L	0.51	0.15	0.04	3.88	0.62	0.04
Klorid	mg/L Cl	52.0	16.4	3.5	360	29.2	1.26
Sulfat	mg/L SO <sub>4</sub>	16.8	9.13	5.0	52.5	10.5	4.0
Kalsium	mg/L Ca	23.0	8.7	0.9	112.0	18.8	1.5
Magnesium	mg/L Mg	2.25	1.1	0.6	31.5	2.7	0.33
Natrim	mg/L Na	13.15	7.0	3.4	96.5	15.3	1.80
Kalium	mg/L K	2.6	1.6	0.8	3.15	1.7	0.8

I tabellen gjelder kolonnen merket råvann vann tatt direkte fra vannkilden og kolonnen merket rentvann er tatt fra rentvannskranen på vannverket. Alle vannprøver fra kranen ble tatt etter minst 5 minutters tapping. Grunnvannsføremønstrene gjelder bare vann fra gravde brønner.



For overflatevannet er det meget liten forskjell i analysedata mellom råvann og rentvann. Råvannet er surt og har meget lavt mineralstoffinnhold. Dataene kan tyde på at noen av vannverkene bare alkaliserer drikkevannet, men forskjellene er så små at det er vanskelig å si om alkalisering virkelig blir foretatt.

For grunnvannsforekomstene skyldes den store forskjell i analysedata mellom råvann og rentvann at bare en tredel av råvannsprøvene til vannverkene ble analysert. For de vannforekomster hvor både råvanns- og rentvannsprøver er analysert tyder resultatene på en meget liten grad av alkalisering har funnet sted.

I Statlig program for forurensningsovervåking, som er overvåking av langtransporterte forurenset luft og nedbør og har pågått siden 1973, viser analysene at nedbørens sulfatinnhold har ligget på omkring 3 mg/L og pH-verdiene omkring 4.2 for stasjonen i Birkenes. Rapporten for 1987 konkluderer forøvrig med at forurensningssituasjonen i sørlandselvene synes å ha stabilisert seg.

Surt og mineralfattig vann forårsaker korrosjon, og korrosjonsskader kan oppstå både innvendig og utvendig på et vannledningsnett. For den utvendige korrosjonen er det viktig at fyllmassene rundt et rør er tett pakket slik at rørgrøften ikke virker som en drengroft. Det er av større betydning enn en jordforsuring. Under leggingen kan dessuten en rørledning påføres et korrosjonsbeskyttende belegg som skal hindre at vannet renner langs røroverflaten. Skader som kan skyldes forsuring av jordsmonnet er ikke behandlet i rapporten, bare innvendig korrosjon i ledningsnett og installasjoner.

I Sverige har SBK-komiteén i Forsikringsselskapenes Aktiebolag gjennomført en omfattende undersøkelse i 1982 av skader på bygninger og funnet at det totale årlige utbetalingen er 2300 mill. kroner. Av dette skyldes 53 % skader på vannledningsnettet og av disse skadene igjen er 31 % beregnet å skyldes korrosjon. Anslag over hvor stor del av disse korrosjonsskadene det er som kan skyldes den økende forsuring, vil være rene getninger. Antas at skadeutbetalingene i Norge er omtrent halvparten så store som i Sverige, vil skader som skyldes korrosjon på ledningsnettet i bygninger årlig beløpe seg til omkring 190 mill. kroner. Hvor mye av dette det er som skyldes forsuring, vil være like umulig å anslå.

Det er en tendens til å overdramatisere forsuringen. Det kan nevnes at NIVA har fulgt opp med analyser av prøver fra vannkilden til Interkommunalt Vann-, Avløps- og Renovasjonsverk, Forus (I.V.A.R.) siden vannverket var nytt i 1960 og frem til idag. Sulfatinnholdet i vannet

har ikke økt med tiden, men heller avtatt og nitratinnholdet har hele tiden vært meget lavt. Tæring på ledningsnettene var størst den første driftstiden. Den har senere stabilisert seg og vært konstant de siste 15-20 årene.

Helt sikkert er det at meget mineralfattig vann er korrosivt overfor de fleste bruksmaterialer. Vannets pH-verdi har egentlig liten betydning for korrosjonen idet mineralfattig vann har meget lav bufferevne. For land tilknyttet EF anbefales at drikkevann skal være i karbonatlikevekt, og denne anbefalingen etterkommes av de fleste land. Karbonatlikevekt betyr at kalsiumkonsentrasjonen i forhold til konsentrasjonen av karbonat/hydrogen-karbonat og vannets pH-verdi er slik at vannet hverken kan løse opp fast kalsiumkarbonat eller utfelle belegg av kalsiumkarbonat.

I Sverige behandler omkring 50 vannverk vannet til karbonatlikevekt. I Finland blir i alle fall vannet til Helsingfors by behandlet. I Norge hvor det virkelig er nødvendig med vannbehandling, er man kommet sørgelig kort på dette området.

## 2. AGGRESSIVITET-KORROSIVITET

Definisjon på aggressivitet er vannets evne til å løse opp kalsiumkarbonat. Med korrosivitet menes den nedbrytende prosess materialer generelt er utsatt for av det omgivende miljø. Ikke aggressivt vann er ikke korrosivt overfor materialer på basis av sement fordi det dannes belegg av kalsiumkarbonat på overflaten som hindrer at fri kalk løses ut av materialet. Ikke aggressivt vann danner belegg av karbonater på metalloverflater som nedsetter korrosjonen.

Ikke aggressivt vann kan være kalkutfellende eller i karbonatlikevekt. Av de undersøkelser som ble gjort i Agderfylkene fremgår at vannet i samtlige overflatevannkilder er aggressivt. Selv om vannet i noen av vannverkene blir alkalisert så er vannkvaliteten langt fra karbonatlikevekt. I en av grunnvannsforekomstene kan vannet være i karbonatlikevekt. Det er Brekkestø vannverk i Lillesand. Vannet i Korhamm vannverk, Lyngdal har meget høyt kalsiuminnhold, men det kan ikke være i karbonatlikevekt på grunn av høyt kloridinnhold.

Det er flere måter å beregne karbonatlikevekten på. Årsaken til det er at det er hele fire størrelser som kan variere i tillegg til vannets totale ioneinnhold. Den mest eksakte beregningsmåte er utarbeidet av franskmennene L. Legrand og G. Poirier. Det vil føre for langt å gå til bunns i teorien, men bare ta hvilke grunnlagsdata som er nødvendig og at denne del av vannkjemien er vel fundamentert.

Beregningene kan gjøres når de viktigste analyseparametre for vannet er kjent. Det skilles da mellom de fundamentale ioner som:  $H^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $HCO_3^-$  og  $OH^-$  og de karakteriserende ioner som utgjør alle de øvrige ioner i vannet.

Av de karakteriserende ioner gis alle med negativ ladning ( $Cl^-$ ,  $SO_4^{--}$ ) betegnelsen N og alle med positiv ladning ( $Mg^{++}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ) betegnelsen P. Halve differansen mellom negative og positive ioner gis betegnelsen  $\lambda$  (Lambda)

$$\lambda = \frac{N - P}{2}$$

For hver gitt kalsiumkonsentrasjon, beregnes de andre verdiene som pH-verdi og konsentrasjoner av karbonat, hydrogenkarbonat og fri karbondioksid. Likevektskonstanten for karbonsyrens dissosiasjon og kalsiumkarbonats løselighetsprodukt må være kjent for den aktuelle temperatur og korrigeret for vannets ionestyrke. Resultatene som oppnås, kan plottes inn i et diagram med det totale karbondioksid-innhold ( $CO_2$ -total), som funksjon av kalsiuminnholdet. Lambda-verdien angir belig-

genheten i forhold til origo av den kurven som fremkommer. Høy negativ verdi for  $\lambda$  betyr at vannet har høyt hydrogenkarbonatinnhold i forhold til innhold av kalsium (høy temporærhardhet). Høy positiv verdi for  $\lambda$  betyr at kalsium foreligger i form av klorid eller sulfat (høy permanent hardhet). For bløtt overflatevann, er  $\lambda$ -verdien meget nær lik null.

På figur 1 er vist en slik likevektskurve for mineralfattig overflatevann. På kurven er konsentrasjonene angitt i millimol pr. liter. For karbondioksyd er en millimol lik 44 mg CO<sub>2</sub>, og for kalsium er en millimol lik 40 mg Ca. Vann som har et kalsium- og karbondioksydinnhold slik at det faller på kurven, er i karbonatlikevekt, til venstre eller under kurven er aggressivt, til høyre eller over kurven er kalkutfellende. Noen likevekts-pH-verdier er inntegnet på kurven. Dersom vannet inneholder mer hydrogenkarbonat enn hva som tilsvarer ekvivalentinnholdet av kalsium, forskyves hele kurven til venstre i forhold til origo. Det trengs da et lavere kalsiuminnhold for å oppnå karbonatlikevekt. Figur 2 viser vann med 0.5 mmol/L overskudd av hydrogenkarbonat og figur 3 med 1.0 mmol/L overskudd. Kurvene skal vise hvilke konsentrasjoner av kalsium og karbondioksyd som skal til for å oppnå karbonatlikevekt både når kalsium og hydrogenkarbonat er til stede i ekvivalente mengder (figur 1), og ved overskudd av hydrogenkarbonat (figur 2 og 3). Noen pH-verdier ved likevekt er påført kurvene.

På likevektskurvene er kalsiuminnholdet fremstilt som funksjon av det totale CO<sub>2</sub>-innhold. I tabellen over analysedataene fra vannverkene er bare alkaliteten bestemt. Alkaliteten bestemmes ved titrering med en syre til et ekvivalentpunkt ved pH = 4.5, når vannet er i likevekt med atmosfærens CO<sub>2</sub>-innhold mens hydrogenkarbonat og fri CO<sub>2</sub> ikke fins i vann med lavere pH-verdi enn 5.5. Halvparten av vannanalysene viser lavere pH-verdi enn 5.5. De oppgitte verdier for alkalitet er derfor for høye til å være et mål for hydrogenkarbonatinnholdet og dermed også det totale CO<sub>2</sub>-innhold. Selv om man tar verdiene for alkalitet i tabellen over analysedata som mål for det totale CO<sub>2</sub>-innhold, er det få av vannprøvene det er mulig å få inn på likevektskurven ved bare å øke kalsiuminnholdet. På den annen side kan man ved å øke hydrogenkarbonatinnholdet oppnå karbonatlikevekt ved forholdsvis lavt kalsiuminnhold.

I SIFF's nye kvalitetsnormer er det for godt drikkevann anbefalt følgende verdier for kalsium, alkalitet og pH-verdi:

Kalsium mg/L Ca	15 - 25
Alkalitet mmol/L	0.6 - 1.0
pH-verdi	7.5 - 8.5

Kravene er satt for å unngå at vannkvaliteten forringes på grunn av korrosjon på ledningsnett. Settes de anbefalte verdier inn i kurven for karbonatlikevekt, finner man at ingen kombinasjon av verdiene faller inn på kurven, men dersom de anbefalte verdier blir etterfulgt vil det medføre en betydelig reduksjon av korrosjon på ledningsnett.

### 3. KORROSJON PÅ LEDNINGSNETT

#### 3.1 Korrosjon på betong og asbestsement

Aggressivt vann tærer på materialer fremstilt på basis av sement. Etter mange års målinger av tæring på hovedledningen for I.V.A.R.-vannverket, har man kommet frem til at ledningen, som er av forspent betong, brytes ned av vannet med en hastighet av mellom 0.1 og 0.2 mm pr. år. (2).

For å gjøre betongen i forspente betongrør så tett som mulig inneholder mørtelen 700 kg sement pr. m<sup>3</sup>, og tilslaget er spesielt rikt på fingraders sand. Til tross for dette er altså materialet utsatt for tæring av aggressivt vann.

Forspente betongrør lages bare i forholdsvis store dimensjoner og med tilsvarende tykke rørvegger. Armeringer er lagt nær den ytre rørflate og det vil derfor ta forholdsvis lang tid før armeringsstålet angripes av korrosjon og røret bli ødelagt. Om røret angripes utenfra kan røret bli ødelagt forholdsvis fort.

For duktile støpejernsrør er innvendig sementmørtelforing standard korrosjonsbeskyttelse. Foringens tykkelse er avhengig av rørdimensjonen og kan variere fra 2-3 mm for de minste dimensjoner og til 6-8 mm for de største. Sementinnholdet i mørtelen er omtrent som for forspent betong. Sementen kan være av forskjellig type. Forsøk har vist at slaggsement med et spesielt høyt aluminiuminnhold angripes minst av aggressivt vann. Tilslaget er vanligvis kvartssand, mens foringen i engelske rør er tilslaget tilsatt aske fra kullfyrte kraftverk. Hva denne asken inneholder av tungmetaller, som kan løses ut og tilføres vannet, er ikke kjent.

Det er ikke gjort noen systematiske undersøkelser for å finne tærings-hastigheten på sementmørtelforinger av surt og mineralfattig overflatevann, men målinger av tært sone i uttatte rørprøver og tilfeldige analyse av vannprøver fra forete rør tyder på at tæringshastigheten er omtrent som for forspente betongrør.

Betong til bassenger og andre konstruksjoner i forbindelse med drikkevann er fremstilt av mørtel med langt lavere sementinnhold enn 700 kg/m<sup>3</sup>. Et sementinnhold på 300-400 kg/m<sup>3</sup> er alminnelig. For denne type betong er det ikke gjort målinger av tæringshastigheten i aggressivt vann. Ved inspeksjoner av drikkevannsbassenger og demninger har man kunnet konstatere at betongen brytes ned med langt større hastighet enn 0.2 mm/år, anslagsvis 5 ganger så høy. I betongkonstruksjoner hvor

armeringen har liten betongoverdekning, kan armeringsstålet begynne å korrodere etter noen år og avgi rust til vannet.

Helt siden 60-tallet har vi kunnet konstatere at vannkvaliteten endres etter å ha passert asbestsementrør og at denne kvalitetsendringen skyldes tæring på rørmaterialet. I et forsøksanlegg på NIVA's laboratorium med vann fra ledningsnett i Oslo ble tæringshastigheten målt til omkring 0.3 mm/år. (3). Det er nylig gjennomført en landsomfattende tilstandsundersøkelse av asbestsementledninger. Ved denne undersøkelsen ble det funnet en noe lavere innvendig tæringshastighet, mellom 0.20 og 0.15 mm/år. (4).

Grunnvannet er de fleste steder også aggressivt og angriper asbestsementrør fra utsiden. Mange asbestsementrør som ble lagt på 60-tallet er allerede ødelagt på grunn av at materialet er angrepet fra begge sider. Den utvendige tæringen er ujevn og kan maksimalt være like stor som tæringen fra innersiden. Hvor hurtig et rør skal gjennomtæres er avhengig av veggtykkelsen, og denne er bestemt av rørdimensjonen og hvilket vanntrykk røret er bestemt for. Det er rør av små dimensjoner for lave vanntrykk som først gjennomtæres.

På asbestsementrør av belgisk fabrikat er enden som går inn i muffen, spisset og noe av spissenden er utenfor muffen. Denne spissenden har da en vesentlig mindre godstykkelse enn resten av røret og er det stedet som først gjennomtæres.

### 3.1.1 Tiltak mot angrep på sementbaserte materialer

Under herding av betong reagerer vannet med sementen og danner hydratiserte sementmaterialer sammen med fri kalk. Porevannet i betongen er dermed mettet med hydratkalk og har en pH-verdi på omkring 12.5. Hydratkalken er nødvendig for å stabilisere sementmineralene. Når hydratkalken lutes ut brytes betongen ned. Det er porevannets høye pH-verdi som gjør at armeringsstålet i betong og støpejernet under sementmørtelforinger ikke ruster.

Surt overflatevann løser hydratkalken fra porevannet i betongen. Det eneste som kan hindre en slik utløsning er at vannet inneholder hydrogenkarbonat som kan reagere med hydratkalken og danne kalsiumkarbonat på betongoverflaten. For at det skal skje må det totale CO<sub>2</sub>-innhold være over 0.08 mmol/l eller over 3.7 mg/l CO<sub>2</sub>. Drikkevannet for de fleste vannverk i Agderfylkene har lavere totalt CO<sub>2</sub>-innhold og vil derfor ha maksimal korrosjon på sementbaserte materialer. For korrosjonshastigheten er vannets surhetsgrad av mindre betydning. Når vann

står innestengt i et rør øker pH-verdien først raskt og etterhvert langsommere, mens vannets kalsiuminnhold øker jevnt med tiden.

Korrosjonen kan reduseres vesentlig ved vannbehandling. For asbestsementrør er det bare den innvendige tæringen som kan reduseres. Men selv ved bare å redusere eller stanse den innvendige tæringen kan brukstiden for et ledningsnett forlenges vesentlig. For forspente betongrør er tæringshastigheten fastsatt etter nesten 30 års eksponering i vann. Siden det er mye å tære på for denne rørtypen må behovet for vannbehandling vurderes i forhold til den tid man regner at rørledningen skal vare.

Fra omkring 1970 er duktile støpejernsrør blitt påført en sementmørtelforing som innvendig korrosjonsbeskyttelse. Foringen påføres ved sentrifugering. Det gjør at tilslaget i mørtelen blir gradert, med det groveste materialet nærmest jernet og en anrikning av sement i foring nærmest vannet. Selv med en aluminiumsholdig slaggsement i foringen, er den utsatt for tæring i aggressivt vann. Det er i flere tilfeller konstantert at vannets pH-verdi og kalsiuminnhold øker etter passasje gjennom rør med sementmørtelforing.

I EF-landene, hvor rørverkene ligger kreves at drikkevannet skal være i karbonatlikevekt. Når det bestilles rør for drikkevann fra andre land forutsetter verket at vedkommende land har samme krav til vannet og det stilles ikke nærmere spørsmål om vannkvalitet. Vi kjenner til at der rørverket har fått seg forelagt data for et surt og mineralfattig vann, har de ikke kunnet garantere foringens varighet lengre enn 20 år.

Med de erfaringer vi har med vannets innvirkning på sementbaserte materialer er 20 år varighet for sementmørtelforinger i rør av mindre dimensjoner et realistisk anslag. Foringens korrosjonsbeskyttende virkning beror på porevannets høye pH-verdi i kontakt med støpejernet. Når den fri kalk i porevannet løses ut, styrkes pH-verdien. Den korrosjonsbeskyttende virkning opphører og støpejernet begynner å ruste. Rester av belegget kan da begynne å skalle av. Dette har f.eks. skjedd i Ålesund. Når rester av foringen skaller av kan det få alvorlige konsekvenser for vannforsyningen ved at restene kan samle seg enkelte steder på ledningen og stenge for vannstrømmen.

Sementmørtelforinger i duktile støpejernsrør blir først nedbrutt i et ledningsnett. Der man har slike rør bør det igangsettes vannbehandling for å hindre at foringen skades. Levetiden vil forlenges vesentlig om det ikke oppnås karbonatlikevekt i vannet. Amerikanske undersøkelser av sementmørtelforinger i gamle (nærmere 100 år) støpejernsrør har vist at selv om kalsiuminnholdet i vannet er så lavt at fri kalk løses



ut av foringen, vil utløst jern fra metallet reagere med hydrogenkarbonater i vannet og danne jernkarbonat i foringen. Det gjør at foringen ikke løsner fra underlaget, men fortsatt er intakt som korrosjonsbeskyttende belegg, selv om kalsiumet i den er erstattet med jern. Dette viser at hydrogenkarbonationet er viktigere enn kalsiumionet som inhibitor mot korrosjon på stål og støpejern.

### 3.2 Korrosjon på stål og støpejern

For korrosjon på stål, og det gjelder også støpejern, finner man i litteraturen at den midlere korrosjonshastighet er konstant i pH-området fra 4.0 til 9.5, og 0.05 mm/år ved 22 °C og 5 mg/l O<sub>2</sub>. Etter hvert som stålet korroderer, dannes et rustbelegg på overflaten. Belegget hindrer oksygenet i å diffundere inn mot metallet, og korrosjonshastigheten avtar, men metalloverflaten angripes ujevnt. Hastigheten for den ujevne korrosjonen kan være mange ganger større enn den jevne, og vil kunne perforere en metallflate på relativ kort tid. Størrelsen av den ujevne korrosjonen fremkommer hverken ved elektrokjemiske målinger eller ved vekttapsmålinger av testkupper. Elektrokjemiske målinger og kort-tidsforsøk med testkupper gir bare uttrykk for start-korrosjonshastigheten av metallet. Den reelle forskjellen mellom jevn korrosjon og groptæring kan man bare finne etter lengre tids forsøk, og mikroskopiering av den korroderte overflate.

I litteraturen angis korrosjonshastigheten for stål og støpejern å være omtrent den samme. Av støpejern til vannledningsrør skiller man mellom grått og duktilt støpejern. I forhold til stål har begge typer støpejern høyt grafittinnhold.

I grått støpejern foreligger grafitten i lamellform. Det gjør at om metallet korroderer og jernet løses ut er grafitten igjen og beholder metallens form mens styrken er redusert. Etterhvert som korrosjonen trenger inn og grafittlaget øker i tykkelse, hindrer det oksygenet å trenge inn til uberørt metall og korrosjonen stanser etterhvert opp. Selv om korrosjon har trengt helt gjennom rørveggen på et lite område så er det tilstrekkelig styrke i grafitten til at det allikevel ikke oppstår lekkasje.

I duktilt støpejern foreligger grafitten i kuleform. Når metallet korroderer vil grafitten ikke ha noen korrosjonshindrende effekt, men løses ut sammen med korrosjonsproduktene. Så snart korrosjonen har trengt igjennom materialet vil det oppstå lekkasje. Rør av duktilt støpejern har dessuten mindre godstykkelse enn eldre rør av grått støpejern slik at en gjennomtæring skjer hurtigere.

Utviklingen på rørmarkedet går i retning av at produksjonen av grått støpejern forsvinner til fordel for duktilt støpejern. Det gjør at kravet til korrosjonsbeskyttelse av rørmaterialet er større enn for grått støpejern. Rør av duktilt støpejern er lettere i vekt og har en seighet som kan sammenliknes med stålets.

Vann i karbonatlikevekt er lite korrosivt overfor stål og støpejern. Årsaken er beleggdannelse på overflaten. Ved analyse har man funnet at kalsiuminnholdet i slike belegg er lavt. Det betyr at vannet ikke trenger å ha et kalsiuminnhold som tilsvarer karbonatlikevekten. Det viktigste er at hydrogenkarbonatinnholdet i vannet er så høyt at det dannes jernkarbonat på metalloverflaten. Vannets alkalitet må da være minst 1.5 mmol/L og pH-verdien ikke over 8.5. Dersom vannets pH-verdi er høyere oksideres jernet til treverdige form før det dannes jernkarbonat. Treverdige jern danner jernhydroksid og vannet blir brunfarget.

### 3.3 Korrosjon på varmforsinket stål

Varmforsinket stål er et alminnelig materiale i vannledningsrør, og ble tidligere mye brukt til stikkledninger og i noen grad også som kaldvannsledninger i hus. I driftsbygninger i landbruket består røropplegget fortsatt nesten utelukkende av varmforsinket stål. Sinkbeleggets tykkelse er mellom 0.1 og 0.08 mm.

Korrosjon på sinkbelegget er sterkt pH-avhengig. I vann med meget lav alkalitet avtar korrosjonshastigheten langsomt med stigende pH-verdi til et minimum ved pH = 12 for så å øke hurtig når pH-verdien overstiger 12.5.

I litteraturen finner man oppgitt mange tall for korrosjonshastigheten på sinkbelegget i mineralfattig vann. I bløtt elvevann er hastigheten angitt til 0.02 mm/år og i destillert vann fra 0.05 til 0.2 mm/år. Disse forskjeller i korrosjonshastighet skyldes at korrosjonen på sink, som et uedelt metall, er sterkt avhengig av vannets hydrogenkarbonatinnhold. I surt og mineralfattig vann vil det ikke ta lang tid før sinkbelegget er borte og stålet begynner å korrodere. I rør av mindre dimensjoner vil rusten snart fylle opp rørtverrsnittet.

Rør av varmforsinket stål anbefales ikke brukt for vann med meget lav alkalitet. Vannet må behandles slik at alkaliteten tilfredsstiller kravet til godt drikkevann. Vi har kunnet konstatere at sinkbelegget har vært intakt etter 30 års drift i nøytralt vann med alkalitet 0.7 mmol/L.

### 3.4 Korrosjon på kobber

I husinstallasjoner dominerer kobberrør både for varmt og kaldt vann. Kobber er et forholdsvis edelt metall med stor motstandsdyktighet overfor korrosjon i naturlig vann med lav alkalitet. I litteraturen kan man finne følgende verdier for korrosjonshastigheten i kaldt vann: 0.002 ved pH = 5, det dobbelte ved pH = 4 og fjerdeparten ved pH = 7.

Selv ved lav korrosjonshastighet er det betydelige mengder kobber som opptas av vannet. I tabellen nedenfor er angitt vannets kobberkonsentrasjon etter ett døgns henstand i forskjellige rørdimensjoner ved to forskjellige korrosjonshastigheter. Henstandstiden i rørene for å oppnå en kobberkonsentrasjon på 0.1 mg pr. liter er også angitt.

Innvendig diameter mm	Kobberkonsentrasjon i mg/L ved		Henstandstid i min. for å oppnå 0.1 mg/L Cu ved 0.001 mm/år
	0.001/mm/år	0.0025 mm/år	
8	12.36	30.90	11.4
10	10.20	25.51	14.0
12	8.24	20.59	17.4
20	4.49	12.36	29.2
40	2.47	6.18	58.8

I tabellen er forutsatt at alt utløst metall opptas av vannet. Noe vil gå med til å danne belegg på metalloverflaten. På lengre sikt er det en forholdsvis liten del av totalt utløst mengde, idet man ikke har observert at rørtverrsnittet har avtatt merkbart med driftstiden.

Kobberholdig vann forårsaker grønne flekker på sanitærutstyr, flekker på tøy, misfarging av kjøkkenutstyr og dekketøy. Lyst hår kan bli grønnfarget etter vask i kobberholdig vann. Det alvorligste problem med kobberholdig vann er at det forårsaker korrosjon på mindre edle metaller som bløtt stål, sink og aluminium. Korrosjonsformen er grop-tæring og lettest synlig er den på kokekar av aluminium. Korrosjons-skader på sentralfyringsanlegg har forekommet på grunn av at anlegget fylles opp gjennom kobberrør.

Foruten den jevne korrosjon på overflaten kan kobber også angripes av gropkorrosjon. Det vil si at metallet angripes punktvis og en rørvegg kan perforeres på relativt kort tid. Her i landet er det i Kristiansand konstatert gropkorrosjon på kobberrør for kaldt vann. I Sverige

har man imidlertid i visse områder problemer med gropkorrosjon på kaldvannsførende kobberrør (5). Denne korrosjonsform har opptrådt i forsyningsområder hvor vannverket har blandet grunnvann og overflatevann. Hos oss er det varmtvannsførende kobberrør som angripes av gropkorrosjon. Korrosjonsformen opptrer mest i temperaturområdet 50-60 °C og synes å ha mer med temperaturforholdene å gjøre enn vannkvaliteten.

Den jevne tæringen på kobber i surt vann er lav og har egentlig liten betydning for driftstiden av et kobberrør. Ved pH = 4.0 tæres omtrent 0.5 mm bort i løpet av 100 år. Økes pH-verdien til 7.0 reduseres tæringen til en tidel.

### 3.5 Korrosjon på messing

Messing er en legering av kobber og sink. Ved å variere blandingsforholdet mellom kobber og sink og ved tilsetning av små mengder andre metaller, fremstilles messingkvaliteter med forskjellige egenskaper. Bly tilsettes i mengder fra 1 til 2 % for at legeringen lettere skal kunne bearbeides og meget små mengder, ned til 0.5 % av f.eks. arsen for å unngå en spesiell korrosjonsform som kalles avsinking.

Det er to messingkvaliteter som er i vanlig bruk, en med høyt kobberinnhold, mellom 60 og 65 %, og en med lavt kobberinnhold, omkring 58 %. Den førstnevnte legeringen blir tilsatt arsen mot avsinking. Den sistnevnte lar seg ikke inhibere mot avsinking.

Her i landet er det messing med lavt kobberinnhold som brukes mest. Normalt viser den god holdbarhet i drikkevann. I vann med høyt klorid- og sulfatinnhold i forhold til hydrogenkarbonatinnholdet (alkaliteten) er den utsatt for avsinking. Det er en korrosjonsform hvor sinken løses ut av legeringen og etterlater en porøs kobbermasse hvor formen er bevart, mens holdbarheten er vesentlig redusert.

I surt vann transporteres den utløste sinken bort med vannet og korrosjonen fortsetter inntil messingdelen er blitt så sprø at den brytter. Det gjelder f.eks. spindeler i tappeventiler. Avsinking har hittil ikke vært ansett som noe problem i Norge. Årsaken til det kan være at korrosjonshastigheten i vårt drikkevann er meget langsom eller at godset i messingdeler er overdimensjonert slik at den allikevel har holdt selv med langt fremskredet avsinking. En ødelagt messingdel i et rørsystem kan dessuten ha blitt skiftet ut uten at det har forårsaket store omkostninger og skadeårsaken derfor ikke har blitt registrert.

I alkalisk vann reagerer den utløste sinken med stoffer i vannet og danner basisk sinkkarbonat på messingflaten. Etterhvert som tiden går

bygges det opp en porøs masse som til slutt tetter utstyret. Dette skjer lenge før avsinkingen har gått så langt at det er noen fare for selve metallet. Denne form for problemer, som er en følge av korrosjonen, har vist en økende tendens i den senere tid og skjer både i varmt og kaldt vann. Vi har fått henvendelser både fra enkeltpersoner og bedrifter om avleiringer i messingarmatur. Igjentetting av blandedventiler i vannvarmere og kikkraner i anboringsklammer er blitt et økende problem.

Analyser av avleiringene har vist at de i det vesentlige består av sinkkarbonat med bare spor av kobber og jern.

Problemene oppstår når vann med høyt kloridinnhold i forhold til alkalitet, blir alkalisert i vannverket. Dermed blir vannets pH-verdi for høy til at sinkkarbonat er løselig i vannet, men avsettes på metalloverflaten. Problemene kan også oppstå i vann som ledes gjennom lengre strekninger av sement-mørtelforede støpejernsrør, betongrør eller asbestsementrør. Vannet utløser fri kalk fra sementen og pH-verdien stiger.

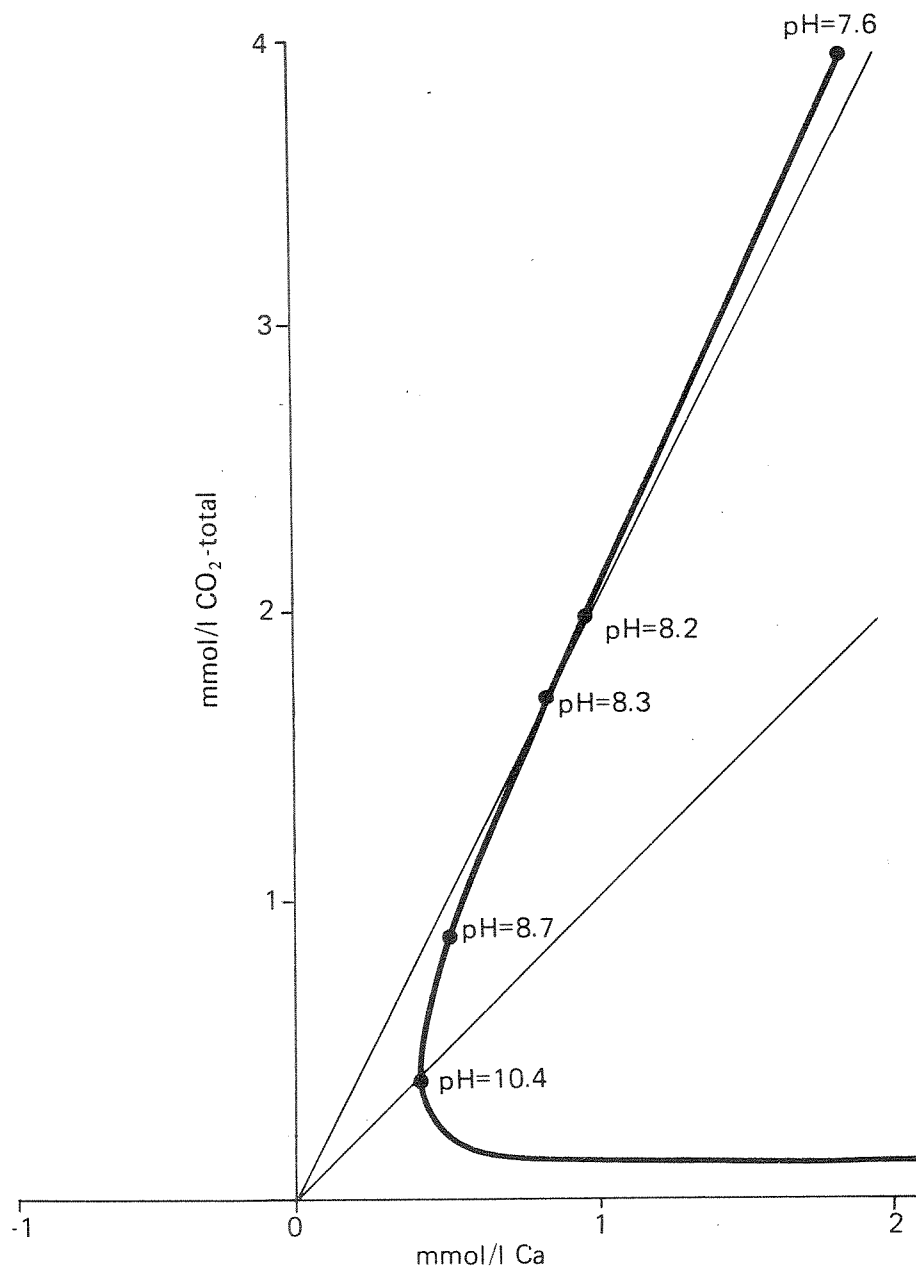
Problemene kan unngås med vannbehandling. I tillegg til at vannet alkaliseres må det også tilsettes karbondioksyd for å øke alkaliteten. Når kloridinnholdet i vannet er så høyt som 20 mg pr. liter må alkaliteten være minst 0.8 mmol/L. Ifølge "Kvalitetsnormer for drikkevann" utgitt av Statens Institutt for Folkehelse anbefales at alkaliteten i godt drikkevann skal være mellom 0.6 og 1.0 mmol/L. Dersom denne anbefalingen etterfølges skulle utløsning av sink fra messing ikke forårsake problemer siden det er sjelden at kloridinnholdet i drikkevann er høyere enn 20 mg pr. liter.

#### 4. KONKLUSJONER

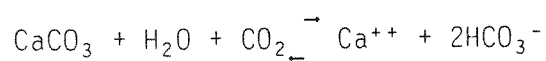
Drikkevannet i Agderfylkene er korrosivt overfor de fleste rørmaterialer. Korrosiviteten kan reduseres ved vannbehandling og store verdier kan spares i vedlikehold og fornyelse av ledningsnett, dersom behandlingstiltak blir gjennomført. Det betyr samtidig at det økonomiske idag er store samfunnskroniske kostnader forbundet med korrosjon i denne landsdelen.

De ulike materialer krever ulik grad av behandling og for hvert enkelt vannverk bør behandlingstiltakene vurderes i forhold til materialene i ledningsnett. Vannledningsrør av plast krever f.eks. ingen vannbehandling. For det eksisterende ledningsnett, som er en blanding av de fleste materialtyper kan levetiden økes betraktelig og store verdier spares ved vannbehandling.

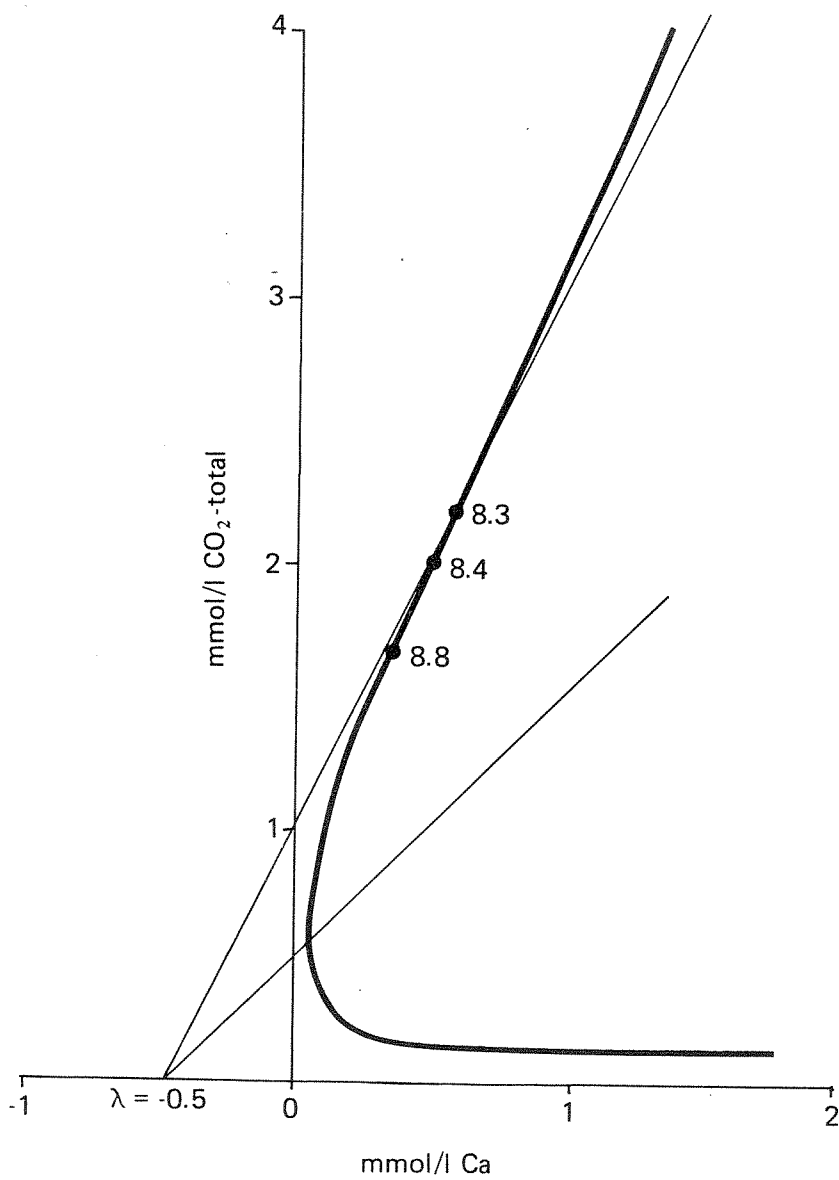
Selv om vannbehandlingen bare går ut på å øke vannets alkalitet og kalsiuminnhold, er det flere alternative måter å gjøre det på. Hvilken metode som er mest økonomisk, vil avhenge av vannverkets størrelse. I tillegg til at vannbehandlingen vil redusere korrosjon på ledningsnett, vil den gi bedre og mer stabil vannkvalitet.



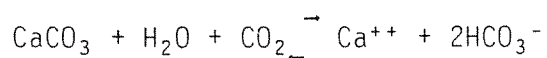
Figur 1. Likevektskurve for kalsiumkarbonat:



i mineralfattig vann med  $\lambda = 0$ . Den horisontale linje tilsvarende  $\text{CO}_2\text{-total} = 0.08 \text{ mmol/L}$ .

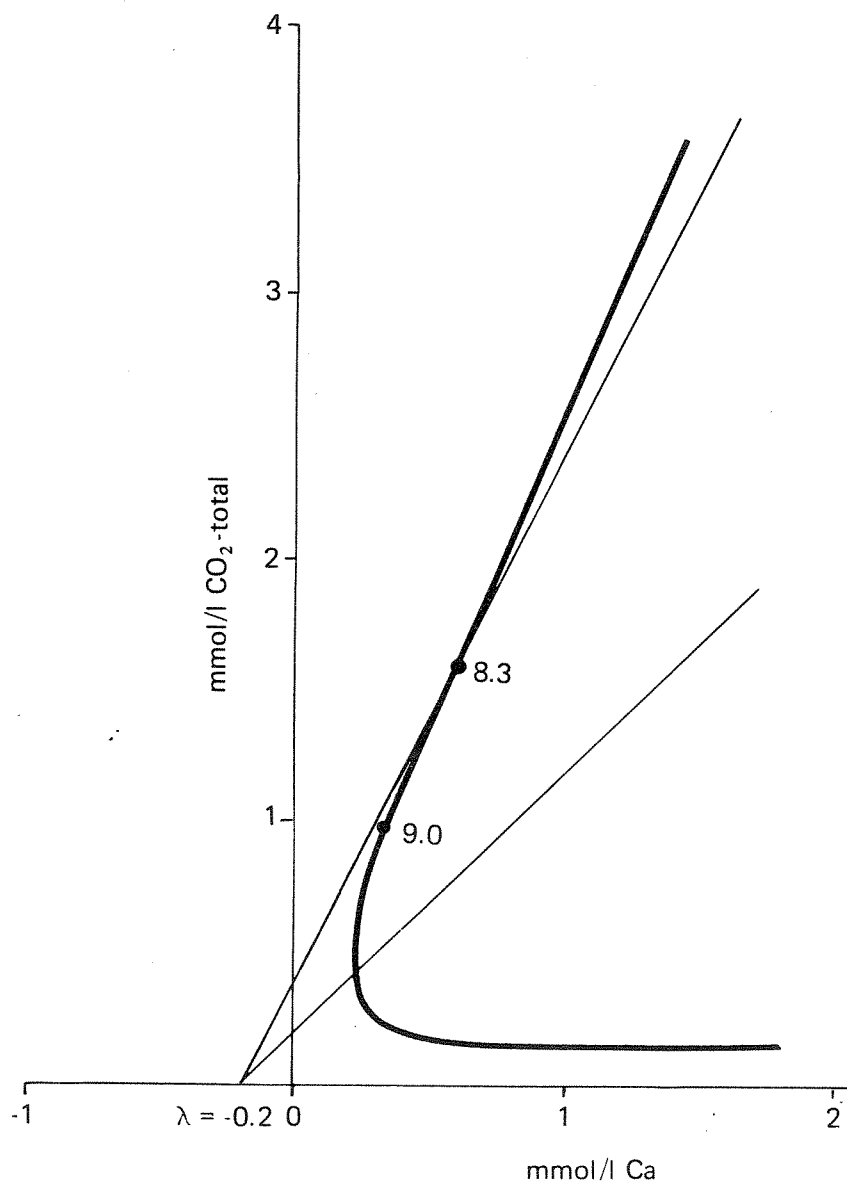


Figur 2. Likevektskurve for kalsiumkarbonat:

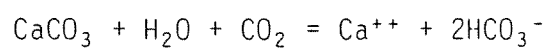


i mineralfattig vann med  $\lambda = + 0.5$ . Den horisontale linje tilsvarer  $\text{CO}_2\text{-total} = 0.08 \text{ mmol/L}$ .





Figur 3. Likevektskurve for kalsiumkarbonat:



i mineralfattig vann med  $\lambda = \pm 0.2$ .

**REFERANSER**

- (1) SIFF-Vann-Raport nr. 69: Spormetaller i norske drikkevannskilder: Aust-Agder og Vest-Agder.
- (2) Krisitansen, Hans: The Extraction of Calcium by Soft Water from Prestressed Concrete Pipes, Vatten 1. 74, 70.
- (2) Kristiansen, Hans: Corrosion on Asbestos Cement Pipes, Vatten 1. 77, 53.
- (4) Aaby, Lars: Levetid for asbestsementrør, Drikkevannsrapport 31/88.
- (5) Linder, Mats: Gropfrätning av typ III i kallvattenledningar av koppar - orsakar och motåtgärder. KI Rapport 1987:2. Korrosionsinstitutet, Stockholm.