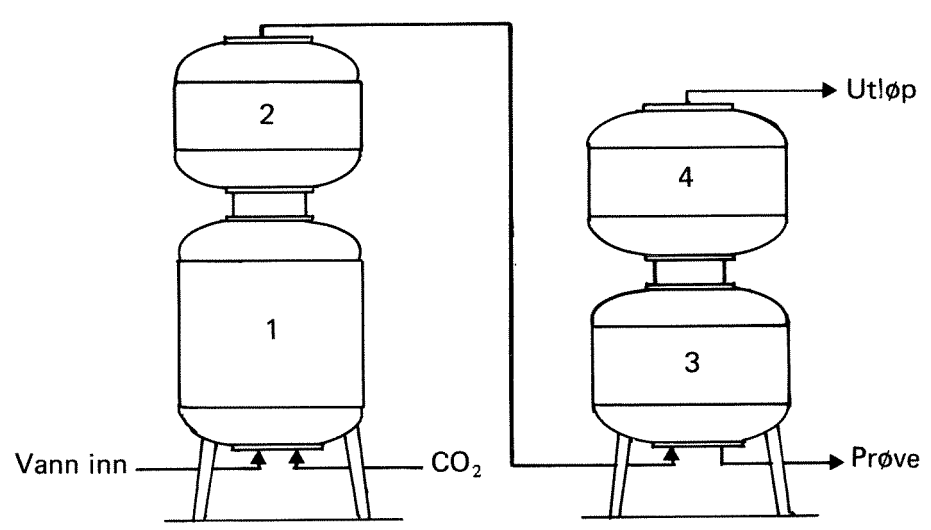




### Røyken kommune. Bruk av Sætervann som drikkevannskilde.

Vannbehandling, ledningsnettets tilstand  
og konsekvenser ved vannbehandling.



# NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

## Hovedkontor

Postboks 33, Blindern  
0313 Oslo 3  
Telefon (02) 23 52 80  
Telefax (02) 39 41 29

## Sørlandsavdelingen

Grooseveien 36  
4890 Grimstad  
Telefon (041) 43 033  
Telefax (041) 42 709

## Østlandsavdelingen

Rute 866  
2312 Ottestad  
Telefon (065) 76 752

## Vestlandsavdelingen

Breiviken 5  
5035 Bergen - Sandviken  
Telefon (05) 95 17 00  
Telefax (05) 25 78 90

Prosjektnr.:	0-88190
Undernummer:	
Løpenummer:	2236
Begrenset distribusjon:	

Rapportens tittel:	Dato:
Røyken kommune. Bruk av Sætervann som drikkevannskilde. Vannbehandling, ledningsnettets tilstand og konsekvenser ved vannbehandling.	April 1989
Forfatter (e):	Prosjektnummer:
Lars Aaby Hans Kristiansen Hans Holtan Egil Gjessing	0-88190
	Faggruppe:
	Vannbehandling
	Geografisk område:
	Antall sider (inkl. bilag):
	44

Oppdragsgiver:	Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.):
Røyken kommune	

Ekstrakt:
Sætervann som drikkevannskilde er vurdert og følgende anbefalinger er gitt:
* Revisjon av klausuleringsbetingelsene
* Etablering av nytt vanninntak
* Bygging av anlegg for desinfisering basert på klortilsetning
* Utprøving av behandlingsanlegg basert på basisk filtermasse
* Gjennomføre tiltak for bedre å kunne ivareta eksisterende ledningsnett

4 emneord, norske:

1. Vannforsyning
2. Behandling
3. Korrosjon
4. Vannkvalitetsendringer

4 emneord, engelske:

1. Water supply
2. Water treatment
3. Corrosion
4. Quality changes

Prosjektleder:

Lars Aaby

For administrasjonen:

Bjørn Olav Rosseland

Hans Kristiansen

ISBN - 82-577-1532-8

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

OSLO

0 - 8 8 1 9 0

RØYKEN KOMMUNE. BRUK AV SÆTERVANN SOM DRIKKEVANNSKILDE

Vannbehandling, ledningsnettets tilstand og konsekvenser  
ved vannbehandling

Oslo, april 1989

Prosjektleder Lars Aaby

**FORORD**

Riktig prioritering av FoU-aktivitet på drikkevanns-sektoren forutsetter nær kontakt med vannverkseierne. Med utgangspunkt i denne erkjennelsen, samtidig for bedre å kunne utnytte den tverrfaglige kompetanse knyttet til drikkevanns-sektoren på NIVA, ble det i januar 1989 etablert en intern Drikkevannsgruppe. Gruppen har som mål å bistå vannverkseiere i viktige spørsmål knyttet til drikkevansforsyningen under spesielt første del av en omfattende planprosess.

Foreliggende rapport er Drikkevannsgruppas første oppdrag. Arbeidet er finansiert av Røyken kommune med tilskudd av interne instituttmidler, i forbindelse med etablering av Drikkevannsgruppa.

24. april 1989

Lars Aaby

## INNHOOLD

	Side
FORORD .....	2
KONKLUSJON/ANBEFALING .....	4
1. INNLEDNING .....	6
2. KILDEKAPASITET OG VANNBEHOV .....	7
3. VANNKVALITET .....	9
4. KLAUSULERINGSBETINGELSER FOR SÆTERVANN MED NESLAGSFELT ..	11
5. VANNINNTAK - SÆTERVANN .....	13
6. VANNBEHANDLING - SÆTERVANN .....	15
7. LEDNINGSNETTET .....	18
7.1 Innledning .....	18
7.2 Tilstand .....	18
7.3 Tiltak .....	19
VEDLEGG .....	21
1. Innvendig korrosjon på vannledningsnett og på hus- installasjoner .....	22
2. Korrosjon på drikkevannsnettet .....	34
3. Asbestsement-rørene i Norge forfaller. Hva gjør vi? ..	38
4. Levetid for sementmørtelforinger i duktile støpejerns- rør .....	43

## KONKLUSJON/ANBEFALING

NIVA har vurdert framtidig bruk av Sætervann som drikkevannskilde, ledningsnettets tilstand og konsekvenser ved vannbehandling. Konsekvenser ved en eventuell utbygging av storflyplass på Hurum er ikke inkludert i vurderingen.

- Eksisterende vannkilder for Røyken kommune (Sætervann, Bårdsrudtjern og Glitrevann) har en vannkvalitet som ikke tilfredsstiller SIFFs kvalitetsnormer for god vannkvalitet m.h.p. korrosjon.
- Vannets korrosivitet nedsetter levetiden på vannledningsnett og husinstallasjoner. Korrosjonsproblemene vil i økende grad påføre kommunen ulemper og kostnader dersom ikke tiltak blir gjennomført.
- Basert på foreliggende analysedata tilfredsstiller Sætervann SIFFs øvrige fysiske- og kjemiske vannkvalitetsnormer. Sætervann har et lavere humusinnhold enn Bårdsrudtjern og Glitrevann.
- Røyken kommune har problemer med slamdannelse i ledningsnett. Dette påfører kommunen betydelige driftskostnader og problemer for abonnentene. Vannbehandling er nødvendig for å redusere disse problemene.
- Klausuleringsbetingelsene for Sætervann ble fastsatt for over 40 år siden. NIVA anbefaler at det tilføyes restriksjoner på oppbevaring av flytende brensel og bruk av plantevernmidler og gjødsel i forbindelse med skogsdrift i nedbørfeltet. Videre at klausuleringsbetingelsene revideres under arbeidet med en framtidig kommunal plan for vannforsyning.
- Ved et inntak på større dyp enn det eksisterende i Sætervann, vil man bl.a. oppnå en jevnere vanntemperatur og risikoen for tilfeldige forurensninger vil reduseres. Etablering av et inntak på større dyp bør nærmere vurderes etter at vannets innhold av oksygen under stagnasjonsperioden (august og/eller mars) er undersøkt.
- For å sikre en hygienisk betryggende vannkvalitet bør vannet desinfiseres. Av hensyn til slamproblemet bør en løsning basert på tilsats av klor velges.
- For å stoppe/redusere forfallet i ledningsnett p.g.a. korrosjon, anbefales det at det bygges et karbonatiseringsanlegg. Av

økonomiske hensyn anses det lite aktuelt å bygge et separat kjemisk renseanlegg for å redusere problemene med slamdannelse i ledningssystemet.

- Et behandlingsanlegg basert på basisk filtermasse (knust marmor) vil i tillegg til å redusere/stoppe korrosjonsproblemene, ha potensiale til å redusere slamdannelse i ledningsnett. Det foreligger imidlertid få erfaringer med bruk av basisk filtermasse. En utprøving av metoden vil være av interesse for Røyken kommune og av nasjonal interesse.
- NIVA anbefaler at prosessen med bruk av basisk filtermasse blir utprøvet med Sætervann som vannkilde. NIVA kan eventuelt utarbeide program og søke om eksterne midler for gjennomføring.
- Det er foreslått tiltak i forbindelse med nyanlegg på ledningsnett og tiltak for bedre å kunne ivareta eksisterende ledningsnett.

## 1. INNLEDNING

Røyken kommune har problemer med slamdannelse i hovedledningsnett. For å holde vannkvaliteten på et akseptabelt nivå, spuler kommunen hovedledningsnett 2 ganger pr. år.

Typisk for Røyken kommunes 3 vannkilder er en vannkvalitet som forårsaker korrosjon på ledningsnett. Gjennom økt bruddhyppighet og lekkasjer vil innvendig korrosjon medføre et dårligere vannforsynings-tilbud dersom ikke tiltak iverksettes. Utvendig tæring vil forsterke denne forfallsprosessen.

I 1988 ble over 50 prosent av kommunens vannforbruk levert fra Sætervann.

Røyken kommune har i brev av 25. januar 1989 bedt NIVA om å vurdere alternative behandlingsmetoder og anbefale behandlingsprosess for Sætervann samt vurdere ledningsnettets tilstand og konsekvenser ved behandling.

Eventuelle konsekvenser ved utbygging av en storflyplass på Hurum skal ikke inkluderes i denne utredningen.



## 2. KILDEKAPASITET OG VANNBEHOV

Røyken kommune forsynes med drikkevann fra 3 vannkilder. Målt forbruk i 1988 var:

Bårdsrudtjern	0.7 mill. m <sup>3</sup>
Sætervann	1.1 mill. m <sup>3</sup>
Glitre	0.3 mill. m <sup>3</sup>
	<hr/>
Sum 1988	2.1 mill. m <sup>3</sup>
	<hr/>

For Bårdsrudvann og Sætervann, som begge ligger innenfor kommunens grenser, tilsvarte forbruket i 1988 nær kildenes kapasitet i et normalt nedbørsår. Glitrevann er et større vann nord for Drammen som via et interkommunalt vannverk forsyner bl.a. Drammen, Lier, Nedre Eiker og deler av Røyken. Gjeldende avtale med vannverket gir Røyken kommune anledning til et maksimalt uttak på 1.8 mill. m<sup>3</sup>/år.

Gjeldende rammeplan for vannforsyning (datert oktober 1982) forutsetter et totalt vannforbruket (inklusive næringsvirksomhet) på ca. 400 l/p.d. Basert på en årlig vekst på 200 boliger/ år fram til 1996 og deretter 250 boliger/år og 3.5 personer pr. bolig, vil vannbehovet i 1996 være i størrelsesorden 2.9 mill. m<sup>3</sup>/år og i år 2000 i størrelsesorden 3.4 mill m<sup>3</sup>/år. Overføringssystemet vil kunne begrense full utnyttelse av vannkildenes kapasitet.

Basert på nevnte forutsetninger vil gjeldende avtale med Glitre vannverket samt utnyttelse av Sætervann på årsbasis gi tilstrekkelig kapasitet i 1996 men ikke i år 2000.

Vannbehovet til planlagt hovedflyplass på Hurum er stipulert til 30 l/s tilsvarende 1 mill. m<sup>3</sup>/år.

På lengere sikt er det mulighet for en tilknytning til Asker vannverk med Tyrifjorden som kilde.

Oversiktskartet (figur 1) viser eksisterende vannforsyning for Røyken kommune.



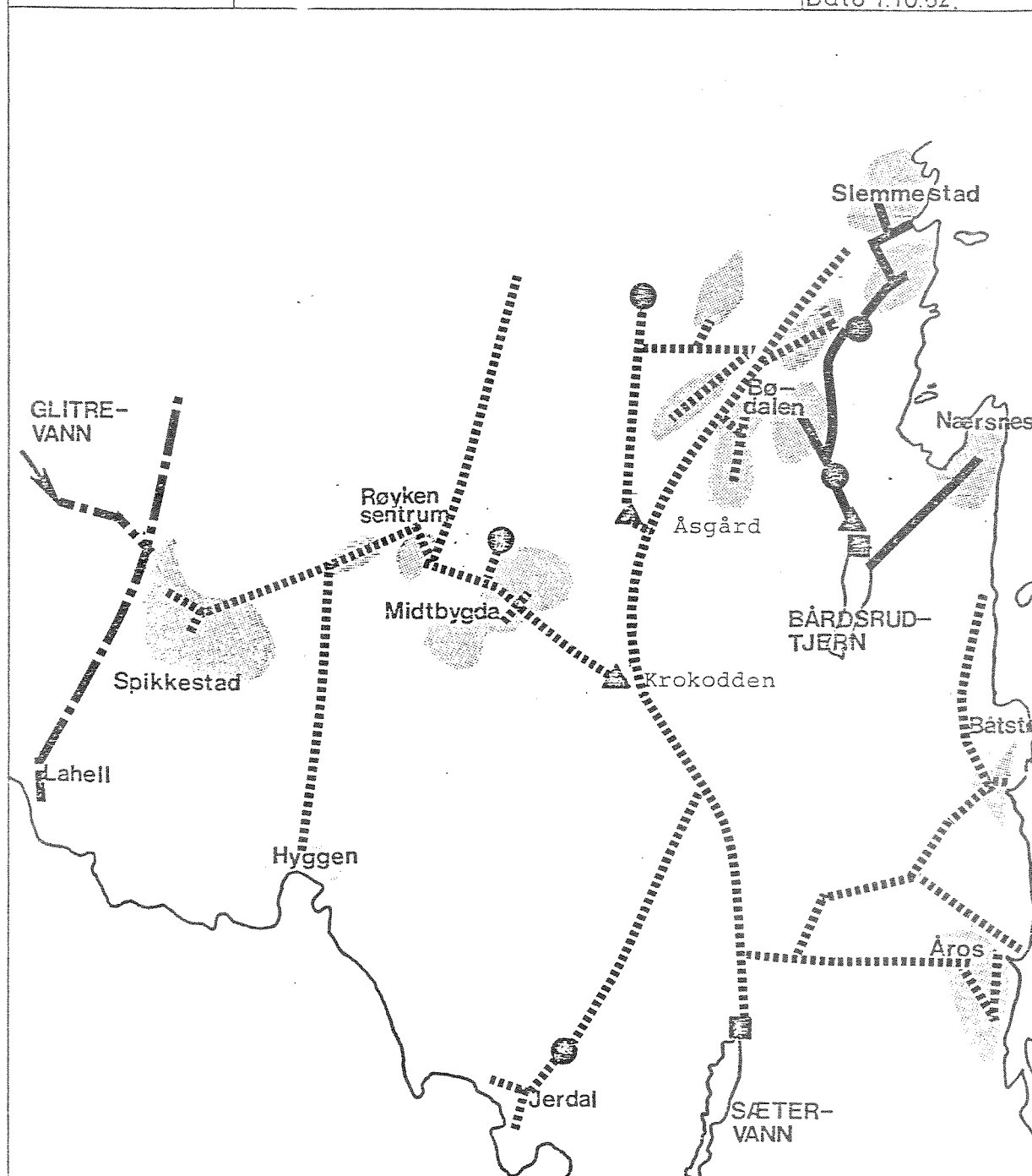
Røyken Kommune  
RAMMEPLAN FOR VANNFORSYNING  
EKSISTERENDE SITUASJON

Fig. nr. 4

Sak nr. 161.1954

M 1:65.000

Dato 1.10.82.



### TEGNFORKLARING

..... SÆTERVANN

--- GLITREVANN

— BÅRDSRUDTJERN

▲ PUMPE

■ VANNBEHANDLINGSANLEGG

● HØYDEBASSENG/REDUKSJONSBASSENG

EKSISTERENDE

— " —

— " —

Figur 1. Rammeplan for vannforsyning. Eksisterende situasjon.

### 3. VANNKVALITET

I tabell 1 er de viktigste fysiske og kjemiske analysedata angitt for de aktuelle vannkildene. SIFFs normer for god drikkevannskvalitet er også tatt med i tabellen. Analysedataene for Sætervann og Bårdsrudtjern representerer enkeltprøver fra selve vannkilden. Analysedataene fra Glitrevann og Tyrifjorden representerer gjennomsnittstall for mange prøver fra vannkildene.

Ingen av vannkildene tilfredstiller SIFFs krav til god vannkvalitet m.h.p. de parameterne som er relevante i korrosjonssammenheng (pH, alkalitet og kalsium). Drikkevannet i Røyken er korrosivt overfor de fleste rørmaterialer. Det gjelder både for nåværende og eventuelt framtidige vannverkstilknytning.

Humusinnholdet (fargetall og permanganattall) i Sætervann er det laveste av de 4 vannkildene gitt i tabellen. Humusinnholdet for Bårdsrudtjern ligger på grensen av SIFFs norm for god vannkvalitet.

Det foretas ingen vannbehandling utover siling ved Sætervann og siling og klorering ved Bårdsrudtjern. Som følge av korrosjon og eventuell begroing i ledningsnett, vil vannkvaliteten i noen grad endres ved transport fram til den enkelte abonnenten i Røyken kommune.

Tabell 1. Analysedata for drikkevannskildene i Røyken kommune inklusive Tyrifjorden.

	Sætervann 8.11.88. 11.2.86.		Bårdsrudtjern 1978		Glitrevann		Tyrifjordvann		SIFFs normer (god vannkv.)	
pH-verdi	6.4	6.00	5.90	7.0	6.2	6.8	7.5-8.5			
Konduktivitet, 25 °C mS/m	4.5	7.08	3.47	9.5	2.24	3.2	-			
Fargetall mg/L Pt	7.0	1)4.0	1)2	15	12	10	<15			
Turbiditet F.T.U.	0.5	0.25	0.35	0.5	1.1	0.4	< 0.5			
Permanganattall mg/L O	-	2.2	2.2	4.3			< 4			
Alkalitet mmol/L	0.02	0.02	0.04		0.07	0.18	0.6-1.0			
Klorid mg/L Cl	-	2.00	2.10		1.0	1.2	<100			
Sulfat mg/L SO <sub>4</sub>	10.0	6.60	7.4	16.0	8.4	4.5	<100			
Kalsium mg/L Ca	3.5	2.60	3.3	10.0	2.2	4.3	15-25			
Magnesium mg/L Mg	0.45	0.36	0.41	1.0	0.36	0.9	<10			
Natrium mg/L Na					1.28	0.9	-			
Kalium mg/L K					3.08	0.4	-			
Jern mg/L Fe	0.07	0.07	0.08	0.05	0.03		< 0.1			
Mangan mg/L Mn	0.01	0.06	0.14	0.06	0.04		< 0.05			

1) Filtrert prøve

#### 4. KLAUSULERINGSBETINGELSER FOR SÆTERVANN MED NEDSLAGSFELT

Gjeldende klausuleringsbetingelser for Sætervann med nedbørfelt ble fastsatt ved ekspropriasjon i 1948 og lyder som følger:

1. "Bading i vann, tjern og bekker innenfor nedslagsfeltet er forbudt.
2. Fiske innenfor en avstand av ca. 100 m fra de respektive inntakssiler er forbudt.
3. Rett til båt i vannene begrenses til en - 1 - for hver av de nu matrikulerte eiendommer med strandlinje.
4. Tømmerveger på isen skal føres på land minst 100 m fra inntakssilene.
5. Hus for permanent beboelse må ikke oppføres i nedslagsfeltet.
6. Oppdyrking i nedslagsfeltet må ikke finne sted.
7. Kulturbeiter må ikke anlegges i nedslagsfeltet nærmere høyvannslinjen enn 200 m.
8. Fjøs må ikke oppføres i nedslagsfeltet.
9. Friluftshytter med stall må ikke oppføres nærmere høyvannslinjen enn 100 m. Spillvann må ledes i grunnen eller til synkekum etter helserådets bestemmelse, og er under dettes kontroll. Priveter gjelder samme avstand fra bekk eller grøft. De skal utføres etter helserådets bestemmelser og er under kontroll av dette (Bøtter og betryggende nedgravning av gjødselen).
10. Sportshytter må ikke oppføres i nedslagsfeltet".

Oljespill o.l. ved uhell i nedbørfeltet vil kunne innebære uopprettelig skade for drikkevannsforsyningen. Klausuleringsbetingelsene inkluderer ikke direkte begrensninger knyttet til motorbåttrafikk og bruk av flytende brensel i nedbørfeltet. Begrensninger knyttet til bruk av plantevernmidler og gjødsel i forbindelse med skogsdrift er heller ikke tatt med.

I henhold til lov om motorferdsel i utmark og vassdrag av 10. juni 1977, er bruk av motorbåter og eventuell traktortrafikk om vinteren på innsjøer mindre enn 2 km<sup>2</sup> forbudt. Gjennom håndheving av denne loven vil oljespill direkte til Sætervann kunne forhindres.

NIVA anbefaler at det settes restriksjoner på oppbevaring av flytende brensel (ink. motordrivstoff) og bruk av plantevernmidler i nedbørfeltet. Videre at det gjennomføres en helhetlig revisjon av gjeldende klausuleringsbetingelser under arbeidet med en fremtidig kommunal hovedplan for vannforsyning. I denne sammenheng henvises til "Veileder i kommunal vannforsyning". Miljøverndepartementet, Ressursavdelingen T-711 (desember 1988).

## 5. VANNINNTAK - SÆTERVANN

Dype innsjøer på våre breddegrader er lagdelte i sommerperiodene med varmt vann i overflaten og kaldere vann i dypet.

Om vinteren er innsjøene vanligvis dekket av is. På denne tid er det etablert en stabil situasjon - vinterstagnasjonen - med en vanntemperatur på ca. 0 °C like under isen og en gradvis temperaturøkning til ca. 4 °C i de dypere lag. Vannet er tyngst dvs. har størst tetthet ved 4 °C.

Etter at isen er brutt opp om våren, vil vindpåvirkningene resultere i at hele innsjøens vannmasser omblendes (vårsirkulasjon). Innsjøen er da en kort periode homogen både med hensyn til temperatur og kjemisk kvalitet.

Med innstrålingen utover vår/forsommer stiger ofte overflatevannets temperatur meget raskt. Hovedsakelig p.g.a. vindpåvirkning blir denne varmeenergi ført ned mot noe dypere lag. I juli-august er situasjonen gjerne den at det ligger en pute med nokså jevnt varmt overflatevann ned til 5-10 meters dyp. Det er en meget brå overgang (sprangsjikt) fra dette varme lag (epilimnion) til det kaldere vannet under (hypolimnion), som med et jevnt svakt temperaturfall strekker seg til innsjøens største dyp (sommerstagnasjon). Ut over høsten avkjøles overflatevannet og følgelig vil det skje forandringer i vannets tetthet. Den termiske lagdeling brytes etter hvert ned. Hele vannmassen omblendes og senhøstes er vannets temperatur og kjemiske forhold ensartet (høstfullsirkulasjonen).

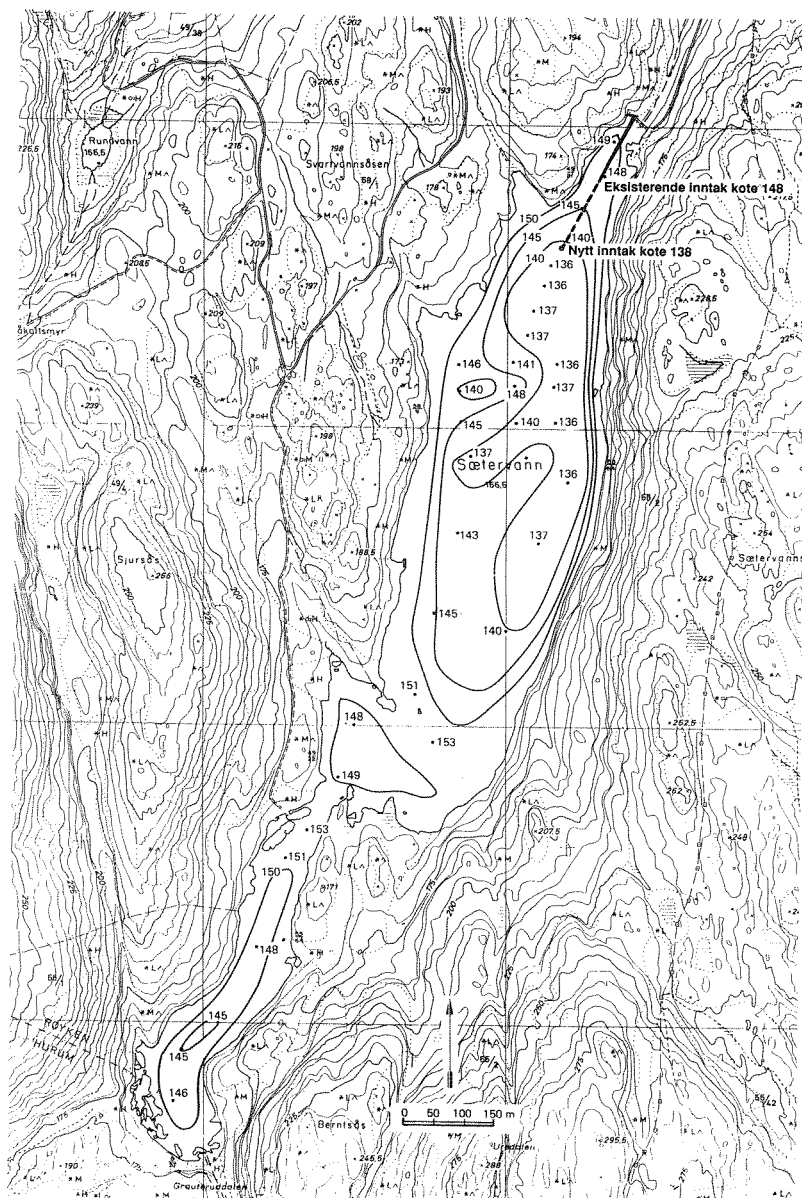
Ved bruk av dype innsjøer som råvannskilder for vannverk, vil det av flere grunner være fordelaktig å plassere vanninntaket i dypet, dvs. godt under sprangsjiktet. Dette under forutsetning av at vannet er godt mettet med oksygen (helst >70 % metning).

Fordelene ved dypvannsinntak er:

- Jevn temperatur og stabil vannkvalitet gjennom året.
- Redusert mulighet for tilførsel av tilfeldige forurensninger (flystoffer, oljesøl, bakterier osv.) i inntaksområdet.
- Redusert effekt av algevekst.

Dyplagens vannvolum bør minst tilsvare 1/2 års - helst 1 års vannforbruk.

I følge kommunen er vanninntaket i Sætervann plassert på ca. 8 meters dyp dvs. i sprangsjiktsområdet. Dette betyr at man pr. i dag ikke drar nytte av fordelene ved et dypinntak. På bakgrunn av opplødingsresultatene vil det være fullt mulig å forlenge eller legge ny inntaksledning, slik at man kan trekke på vann i fra ca. 16 meters dyp (se figur 2). Under forutsetning av at vannets innhold av oksygen er tilstrekkelig i dette dypet, vil det være fordelaktig med et slikt inntaksdyp. Før eventuelt inntaksdypet endres, bør vannets innhold av oksygen under de omtalte stagnasjonsperioder (august og/ eller mars) undersøkes.



Figur 2. Nytt inntak for Sætervann.



## 6. VANNBEHANDLING - SÆTERVANN

Den eneste formen for vannbehandling som foretas i dag er siling.

Eksisterende vannkvalitet innebærer to typer problemer:

- Slamdannelse i ledningssystemet
- Forfall i ledningsnett og i husinstallasjoner p.g.a. korrosjon.

For å holde vannkvaliteten på et akseptabelt nivå for konsumentene er det nødvendig å spyle hovedledningsnett 2 ganger pr. år. Dette innebærer store driftsutgifter for kommunen. Dessuten medfører spyling bruksmessige problemer de dagene spylingen foregår. Det er ikke registrert noen forskjell i slamdannelse på nettet for influensområdene til de ulike vannverk.

NIVA har undersøkt slamprøve som ble tatt ut fra ledningsnett i Båtstø i forbindelse med spyling høsten 1988. Slamprøven viste følgende relative innhold:

Organisk stoff målt som glødetap	47 %
Jern målt som $Fe_2O_3$	11.9 %
Mangan målt som $MnO_2$	21.2 %
Rest	19.9 %
	100.0 %

Innholdet av organisk stoff og mangan har sin opprinnelse fra vannet. Som det fremgår av tabell 1, viser en av analysene et relativt høyt manganinnhold i vannet. Jerninnholdet har sin opprinnelse både fra vannets komplekse forbindelse med humus og utløsning fra ledningsnett. Slammet kan betegnes som typisk humuslam.

Korrosjonsproblemet kan innebære ulemper for abonnentene av ulik karakter:

- Farget vann for eks. brunt vann ved korrosjon på støpejernsledninger og "grønt vann" ved kobberkorrosjon.
- Kort levetid for husinstallasjoner, for eks. varmtvannsbeholdere.
- Bekymringer p.g.a. asbestfiber i vannet (tæring på asbestsementrør).

- Redusert vanntrykk som følge av korrosjon på støpejernsledninger og stikkledninger av varmforsinket stål.
- Vannet "blir borte" oftere p.g.a. økt bruddhyppighet på ledningsnett.

Korrosjonsskadene innebærer store utgifter og ulemper for både abonnentene og kommunen. De totale korrosjonsskadene i forbindelse med vannforsyningen i Norge er stipulert til mer enn 1 milliard kr. pr. år.

For å tilfredstille SIFFs kvalitetsnormer for drikkevann m.h.p. korrosjon vil det være nødvendig med en karboantisering av råvannet. En karbonatisering vil foruten å redusere korrosjonsulempene, også øke vannets bufferevne og dermed bidra til å holde vannkvaliteten konstant. Slamdannelsen på ledningsnett vil også kunne reduseres noe.

Ut fra foreliggende analysedata for Sætervann tilfredstiller de øvrige fysisk/kjemiske vannkvalitetsparameterene SIFFs kvalitetsnormer. Bygging av et tradisjonelt kjemisk fellingsanlegg i tillegg til et karbonatiseringsanlegg for å redusere problemene med slamdannelse i ledningsanlegget, er av økonomiske grunner lite aktuelt.

Karbonatisering av drikkevann er en alminnelig prosess i andre land hvor man har tilsvarende vannkvalitet som i Norge. Mange land, f.eks. innen EF, krever at drikkevannet skal være i karbonatlikevekt. Norske kvalitetsnormer krever ikke karbonatlikevekt.

Den alminnelige måte å karbonatisere vannet på er å tilsette hydratkalk og karbondioksyd i et bestemt forhold. Tilsetning av hydratkalk er teknisk problematisk og krever komplisert og plasskrevende utstyr som vil være kostbart og lite hensiktsmessig for mindre vannverk. Hydratkalken fremstilles ved å brenne kalkstein og deretter leske den. Kalksteinen som normalt brukes er forurenset (leirholdig) og under brenning og leskeprosessen blir hydratkalken rensset. I Norge finnes store forekomster med meget ren marmor, som er en omkrystallisert kalkstein, og er vel egnet til å knuse til passe kornstørrelse og brukes som basisk filtermasse (finknust marmor).

Ved filtrering gjennom finknust marmor vil noe av massen gå i løsning og dermed forårsake en karbonatisering av vannet i tillegg til at massen virker som filter. I kontakt med den basiske massen skjer en koagulering av humusstoffene i vannet. Ved at humusstoffene vil kunne holdes tilbake av filtermediet vil dette innebærer et redusert humusinnhold i vannet. Prosessen har også et potensiale for fjerning av

metaller som jern, aluminium og mangan. Filteret trenger minimalt ettersyn og pass og det er aldri fare for overdosering av kjemikalier.

Det vil i praksis ikke være mulig å oppnå karbonatlikevekt ved filtrering gjennom finknust marmor uten i tillegg å tilsette karbondioksid før filtrering. Forbruket av karbondioksid vil bare være halvparten av hva som skal til for å oppnå samme vannkvalitet med tilsetning av hydratkalk og karbondioksid.

Fra energiøkonomisk synspunkt er bruk av alkaliske filtere fordelaktig. Hvorfor gå omveien ved først å brenne marmor for å spalte karbonat og fjerne karbondioksid, så tilsette vann til den brente kalken (lesking), transportere den til anlegget og dosere den til vannet sammen med karbondioksid? Ved å bruke finknust marmor løses kalsiumkarbonat ut direkte og massens karbondioksid utnyttes.

Etter vår vurdering er bruk av finknust marmor for karbonatisering av Sætervann av stor interesse. Ved at vannets humus-, jern- og manganinnhold reduseres, vil også mulighetene for slamdannelse i ledningsnettet bli mindre. Et forsøksanlegg for utprøving av metoden er også av nasjonal interesse. NORVAR v/Svein E. Moen har vært kontaktet for å undersøke muligheten av en ekstern finansiering av et forskningsprosjekt basert på bruk av finknust marmor. Dette vil avklares i løpet av våren.

I brev av 15. mars 1989 til Røyken kommune har NIVA skissert et forsøksprogram. Det understrekes at det foreslåtte program er en minimusløsning for å komme igang i forbindelse med vårsirkulasjonen (jfr. kap. 5).

NIVA foreslår at gjennomføring av et forsøksprogram med finknust marmor utsettes inntil en eventuell ekstern finansiering er avklart.

For å sikre en hygienisk betryggende vannkvalitet vil det være nødvendig med en desinfisering av drikkevannet. Med utgangspunkt i slamproblemene på ledningsnettet vil vi anbefale klorering. Slamdannelse på nettet skyldes kjemiske- og biologiske prosesser. Ved en hensiktsmessig klortilsetning vil den biologiske aktiviteten reduseres og på denne måten bidra til å avhjelpe slamproblemet.

## 7. LEDNINGSNETTET

### 7.1 Innledning

Som grunnlag for å vurdere tilstanden for ledningsnettets i Røyken kommune har NIVA hatt følgende "dokumentasjon" tilgjengelig:

- Vannkvalitetsdata for eksisterende vannkilder
- Oversiktskart for vannledninger (mål 1:10 000, datert 6.6.1983) med angivelse av dimensjon, ledningsmaterieell og i noen grad alder.
- Samtaler med Svenn Thorkildsen, ingeniørvesenet vedrørende driftserfaringer.

Til orientering om korrosjonsproblemet, er denne rapporten supplert med følgende vedlegg:

Vedlegg 1. Notat om innvendig korrosjon på vannledningsnettets og husinstallasjoner (Hans Kristiansen).

Vedlegg 2. Korrosjon på drikkevannsnettet (Lars Aaby og Hans Kristiansen). Artikkelen fokuserer på tæring på sementbaserte rør.

Vedlegg 3. Asbestsement-rørene i Norge forfaller. Hva gjør vi? (Lars Aaby).

Vedlegg 4. Levetid for sementforinger i duktile støpejernsrør. (Hans Kristiansen).

### 7.2 Tilstand

Mesteparten av hovedledningsnettets i Røyken kommune ble lagt i perioden 1950-1960. Dominerende ledningsmaterieell er grått støpejern. For flere relativt lange overføringsledninger er det benyttet asbestsement-rør med små dimensjoner (DN 100/150, klasse 25). Asbestsementnettets er ikke korrosjonsbeskyttet. I de siste 10-15 årene har det vært benyttet duktile støpejernsrør (K9) med sementmørtelforinger. Det er ikke kjent hva slags sementmørtelforinger som er benyttet. Plast har i liten grad vært benyttet på hovedledningsnettets.

Hovedledningsnettets for vannforsyning i Røyken kommune er 132 000 m langt.

Kommunen opplyser at det ikke har vært benyttet tilkjørte grøftemasser ved legging av hovedledninger i kommunen i perioden 1950-1960. Etter denne tid er det i stor grad brukt tilkjørte omfyllingsmasser.

Ved legging av ledninger av grått støpejern ble det benyttet skoleringer. På disse ledningene har det, særlig om våren, når telen går ut av bakken, vært registrert endel brudd av typen tverrbrudd. Bruddet oppstår trolig som følge av ujevn belastning på rørlengden som er lagret opp på skoleringer (bjelkebrudd). Det har også ved noen bruddtilfeller vært registrert langsgående sprekker i røret. Bruddet skyldes da enten for stort utvendig trykk på røret (jordlast + trafikklast) eller for høyt vanntrykk i røret. Ved nærmere undersøkelse av selve bruddet, vil bruddårsaken kunne kartlegges i mer detalj. Om bruddet opprinnelig skyldes korrosjonsskader er det vanskelig å si noe sikkert om. Innvendig i støpejernsledningene er det registrert knolldannelse av rust, som forventet.

Det har vært registrert få brudd på de 28 600 m med asbestsement-rør som er lagt i Røyken kommune. Ved ett brudd, som skjedde i 1988, løsnet et flak fra ledningen (flakbrudd). Bruddet skyldes for høyt vanntrykk. Dersom vanntrykket i ledningen i bruddøyeblikket var normalt, kan årsaken ha vært redusert styrke p.g.a. tæring. Resultatene fra prosjektet "Levetid for asbestsementrør" innebærer at det kan forventes en økning av brudd-hyppigheten på asbestsement-nettet i Røyken kommune (jfr. vedlegg 3). Hvor raskt bruddhyppigheten vil øke vil være avhengig av hvor omfattende det utvendige tæringsangrepet er.

I Slemmestad området er det forekomst av alumskifer. Det er registrert lekkasjer som hull i de duktile støpejernsrørene. Disse korrosjonsskadene skyldes svovel-reduserende bakterier forårsaket av alumskiferen.

P.g.a. vannets aggressive karakter vil innvendig sementmørtel-foring i rørene brytes ned. Når eventuelle problemer (belegget løsner) med disse rørene vil oppstå, er vanskelig å forutsi. Sementmørtelforingens type og kvalitet vil være avgjørende.

### 7.3 Tiltak

For utvendig korrosjonsbeskyttelse av ledninger og type sementmørtel-foring, anbefales inntil videre å benytte det Oslo kommune spesifiserer.

Ved brudd på asbestsement-rørene anbefales kommunen, som en foreløpig løsning, å ta ut rørprøver (3 stk. á 300 mm og 3 stk. á 500 mm) for senere tilstandsvurdering. Det arbeides med planer om å opprette et testsenter for asbestsement-rør tilknyttet Norsk rørsenter A/S i Drammen. Rørprøvene vil når rørsenteret er operativt, kunne tilstandsvurderes og prognose for tilstandsutvikling utarbeides. I forbindelse med etablering av testsenteret vil det utarbeides en håndbok til hjelp for kommunene.

Generelt anbefales Røyken kommunen å starte med en systematisk registrering av ledningsnett, rørbrudd og andre driftsforstyrrelser på ledningsnett. Kartlegging av konsekvenser ved rørbrudd og bruddsannsynlighet, gjør det mulig å foreta en risiko-analyse av ledningsnett. I denne sammenheng henvises til NTNFs brukerrapport 5b/87; "Planlegging av drift, vedlikehold og fornyelse av ledningsnett for vann og avløp".

## VEDLEGG

	Side
1. INNVENDIG KORROJSON PÅ VANNLEDNINGSNETTET OG PÅ HUS- INSTALLASJONER (H. Kristiansen)	22
2. KORROSJON PÅ DRIKKEVANNSNETTET (L. Aaby og H. Kristiansen)	34
3. ASBESTSEMENT-RØRENE I NORGE FORFALLER. HVA GJØR VI? (L. Aaby, Vann nr. 4, 1988)	38
4. ARTIKKEL I VANN. LEVETID FOR SEMENTMØRELFORINGER I DUKTILE STØPEJERNSRØR (H. Kristiansen, Vann nr. 1, 1989)	43

**INNVENDIG KORROSJON PÅ VANNLEDNINGSNETTET OG PÅ HUSINSTALLASJONER**

av Hans Kristiansen

**1. 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.

**2. Beregning av karbonatlikevekt for aktuelle vannkvaliteter i Røyken kommune**

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 beliggenheten 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.

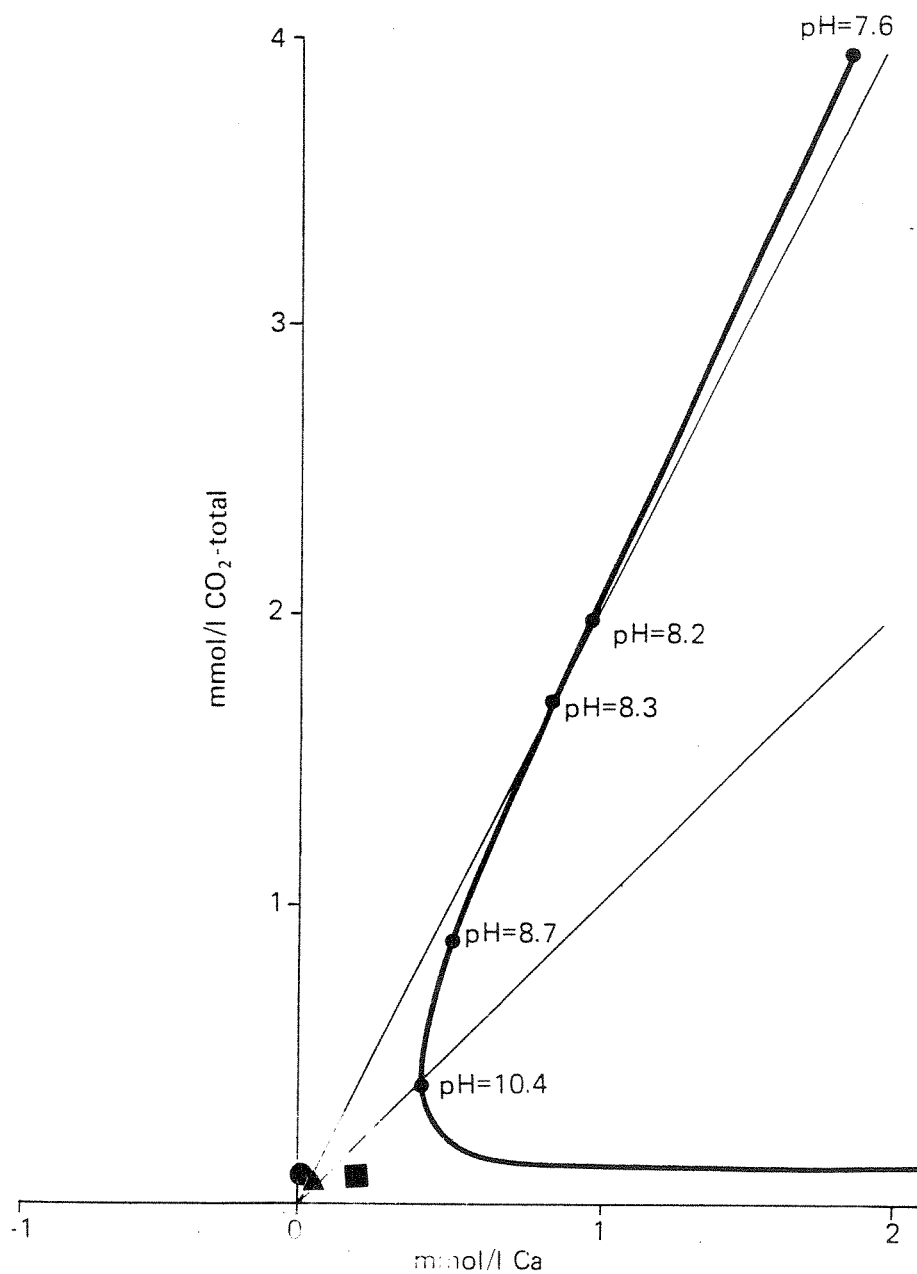
Analyseresultatene for de tre hovedkildene til Røyken kommunes drikkevannsforsyning gir følgende data for  $\lambda$ -verdien: Sætervann  $\lambda = 0.06$ , Glitrevann  $\lambda = 0.02$  og Tyrifjorden  $\lambda = 0.01$ .

Figur 1 viser en slik likevektskurve for mineralfattig overflatevann. På kurven er konsentrasjonene angitt i millimol pr. liter. For karbondioksid er en millimol lik 44 mg  $\text{CO}_2$ , og for kalsium er en millimol lik 40 mg Ca. Vann som har et kalsium- og karbondioksidinnhold 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.

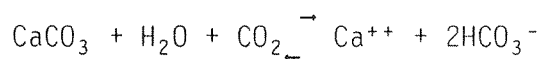
Alle vannkildene som benyttes av Røyken kommune, har lavt innhold av oppløste mineralstoffer. De karakteriserende ioner i vannet har derfor liten innflytelse på kurveforløpet. De beregnede  $\lambda$ -verdier forskyver likevektskurven til høyre slik at linjen som danner  $45^\circ$  med x-aksen, og svarer til at det totale  $\text{CO}_2$ -innhold foreligger i form av karbonat ( $\text{CO}_3^{--}$ ), og linjen som danner  $60^\circ$  med x-aksen, og svarer til at det totale  $\text{CO}_2$ -innhold foreligger i form av hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) krysser hverandre til høyre for origo.  $\lambda = 0.06 : 2.4 \text{ mm}$ ,  $\lambda = 0.02 : 0.8 \text{ mm}$  og  $\lambda = 0.01 : 0.4 \text{ mm}$  til høyre. Det dreier seg altså om små forskyvninger.

På grunnlag av de foreliggende analyseresultatene er vannet fra de tre kildene angitt på figuren. Alle punktene er til venstre for likevektskurven og betyr at vannet er aggressivt.

Likevektskonsentrasjon for kalsium og totalt  $\text{CO}_2$ -innhold for de tre vannkildene er beregnet. Ved beregningen har man gått ut fra et angitt kalsiuminnhold og funnet hvilket totalt  $\text{CO}_2$ -innhold vannet da må ha og hvilken pH-verdi vannet får.



Figur 1. Likevektskurve for kalsiumkarbonat:



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

De omtalte vannkilder er avmerket på figur 1 med følgende symboler:

- Sætervann
- ▲ Glitrevann
- Tyrifjordvann

Beregningen av karbonatlikevekt for de tre vannkildene ga som resultat:

	Søtervann		Glitrevann		Tyrifjordvann	
	20	30	20	30	20	30
Kalsiuminnhold mg/L Ca	20	30	20	30	20	30
Alkalitet mmol/L	0.88	1.38	0.98	1.48	0.96	1.46
CO <sub>2</sub> -total mg/L	39.8	61.4	44.2	66.5	43.3	65.6
pH-verdi	8.78	8.42	8.73	8.39	8.74	8.40

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. Som det fremgår av de beregnede verdier, er det nøye sammenheng mellom dem ved karbonatlikevekt.

### 3. Korrosjon på vannledningsnett

#### 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 tæringshastigheten på sementmørtelforinger av surt og mineralfattig overflatevann, men målinger av tært sone i uttatte rørprøver og tilfeldige analyse av vannprøver fra rør med foringer, 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 ledningsnettet 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 0.10 og 0.20 mm/år. (4).

Grunnvannet er de fleste steder også aggressivt og angriper asbestsementrør fra utsiden. Mange asbestsementrør som ble lagt på 60-tallet 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 godstykkelser enn resten av røret og er det stedet som først gjennomtæres.

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, der rørene produseres, kreves det 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 frie kalken i porevannet løses ut, reduseres 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 ledningnett. Der man har slike rør bør det igangsettes vannbehandling for å hindre at foringen skades. Levetiden vil forlenges vesentlig om det 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 støpejern, finner man i litteraturen at den midlere korrosjonshastighet er konstant i pH-området fra 4.0 til 9.5, med 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 metalllets 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 treverdig form før det dannes jernkarbonat. Treverdig 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 overstiget 12.5.

I litteraturen finner man oppgitt mange tall for korrosjonshastigheten på sinkbelegget i mineralfattig vann. I bløtt ellevann 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 tilfredsstillende 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 mm/år 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 (5) har man imidlertid i visse områder store problemer med gropkorrosjon på kaldvannsførende kobberrør. 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. Meget små mengder av arsen (ned til 0.5 %), tilsettes 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 messingrør 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 en 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 blander-ventiler 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.

Problemerkene oppstår når vann med høyt kloridinnhold i forhold til alkaliteten, blir alkalisert i vannverket. Dermed blir vannets pH-verdi for høy til at sinkkarbonat er løselig i vannet, men avsettes på metalloverflaten. Problemerkene 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.

Problemerkene 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.

## Referanser

- (1) SIFF-Vann-Rapport 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, Mads: Gropfrätning av typ III i kallvattenledningar av koppar - orsaker ock matåtgärder. KI-Rapport 1987:2. Korrosionsintitutet, Stockholm.

# Korrosjon på drikkevannsnettet

av Lars Aaby og Hans Kristiansen

Særtrykk fra :

# NIVA årsberetning 1987

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

# Korrosjon på drikkevannsnettet

av Lars Aaby og Hans Kristiansen

## «Boom» ved norske vannverk

I nasjonal VA-faglig sammenheng bærer siste delen av 1980-åra preg av at vi ønsker å ta bedre vare på det vi har fremfor å bygge nytt. Av forskningsprosjekter finansiert av Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd (NTNF) er «forfallsprosjektet», «alkaliseringsprosjektet» og «levetid for asbestsement-rør» typiske eksempler.

Innen forvaltningen og VA-miljøet generelt foregår det en bevisstgjøring om at drikkevannet p.g.a. sin sure og mineralfattige karakter, spiser opp deler av ledningsnettets vårt. Resultatene fra NIVA's pilotforsøk med asbestsementrør i slutten av 60-årene har endelig begynt å bære frukter!

Helsemyndighetenes kvalitetsnormer for drikkevann skal medvirke til å sikre at drikkevannet ikke inneholder skadelige komponenter. Normalt inneholder ikke norsk overflatevann stoffer med uheldige helsemessige konsekvenser. Ved transport gjennom ledningsnett kan vannet derimot endre sammensetning. I korrosjonssammenheng ble det inntil nylig bare satt krav til vannets pH-verdi for å hindre utløsning av tungmetaller. Dagens krav til «god vannkvalitet» (SIFF, 1987) er satt bl.a. for å unngå at vannkvaliteten forringes ved korrosjon på ledningsnett:

Kalsium	15 – 25 mg/l
Alkalitet	0,6 – 1,0 mmol/l
pH-verdi	7,5 – 8,5

Regningen for å tilfredsstille disse kravene vil for vannverk med over 1000 personer tilknyttet, tilsammen beløpe seg til ca. 100 mill.kr. pr. år i årene framover. På den annen side er de totale korrosjonsskadene i forbindelse med vannfor-

syningen i Norge, stipulert til mer enn 1 milliard kr. pr. år (Bergan, Erik m.fl., 1987). Det er helt klart at her er det et stort potensiale for innsparinger.

## Er karbonatisering nødvendig?

Landene tilknyttet det europeiske fellesmarkedet har felles kvalitetskrav og anbefalinger for drikkevann. En av anbefalingene er at vannet skal være i karbonatlikevekt. Med karbonatlikevekt menes at vannet hverken løser opp eller feller ut kalsiumkarbonat.

Regnvannet i kontakt med kalkbergarter eller kalkstein i naturen vil løse opp kalsiumkarbonat. Vannets kalsiuminnhold øker og pH-verdien stiger, slik at mer karbondioksyd tas opp fra atmosfæren, og mer kalsiumkarbonat går i oppløsning. Denne prosessen fortsetter inntil ikke mer kalsiumkarbonat eller kalkstein kan gå i løsning ved den konsentrasjon av karbondioksyd atmosfæren har i kontakt med vannet. Vannet er da i hva man kaller karbonatlikevekt. Kalsiumkonsentrasjon og pH-verdi for vann i karbonatlikevekt er avhengig av temperatur og hvilke andre stoffer vannet har løst opp i kontakt med jordsmonnet.

Anbefalinger om karbonatlikevekt er satt for å hindre korrosjon på ledningsnett, og for at vannet ved korrosjon på stikkledninger, rørinstallasjoner med armatur i bygninger, ikke skal forårsake helseskadelige konsentrasjoner av tungmetaller.

I SIFF's nye differensierte kvalitetsnormer for drikkevann er det tatt med anbefalinger om kalsiuminnholdet, alkalitet og nye anbefalinger om pH-verdi. Det er ikke gitt anbefalinger om karbonatlikevekt.

Ved uheldige kombinasjoner av de anbefalte verdier i forhold til andre oppløste stoffer foreligger det muligheter for at vannet fortsatt kan virke aggressivt på sementbasert materiale.

## Dosering av kalk er problemet

For å tilfredsstille de tidligere nasjonale kvalitetsnormenes krav til pH-verdi (SIFF 1976), er det bygget alkaliseringsanlegg basert på tilsats av lut, og anlegg basert på tilsats av kalk. Støvlager, sammenklumping og brobygging i silo, gjenetting, ufullstendig oppløsning og økt turbiditet i vannet, er typiske driftsproblemer ved kalkanleggene.

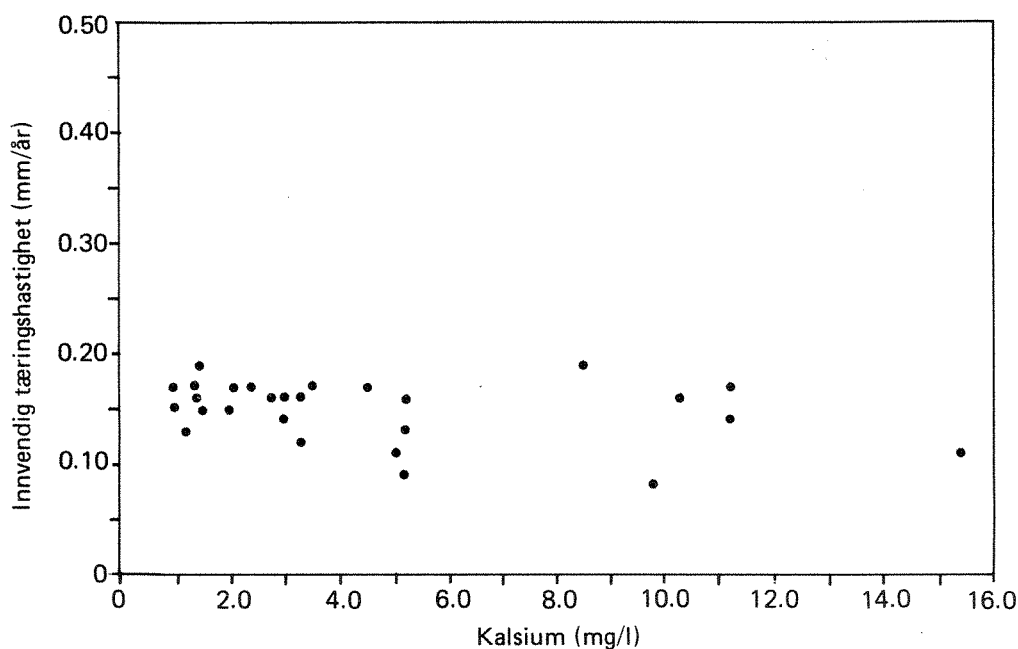
På grunn av problemene knyttet til dosering og oppløsning av kalk har mange norske vannverk, opprinnelig bygget som kalkdoseringsanlegg, gått over til lut.

Karbonatiseringsprosessen er tatt i bruk ved tre norske vannverk. Betegnelsen karbonatiseringsanlegg benyttes gjerne selv om det ikke oppnås karbonatlikevekt. Sammenlignet med gjeldende praksis ved eksisterende alkaliseringsanlegg, tilsettes større mengder kalk og i tillegg karbondioksyd. Til forskjell fra dosering med kalk er det ingen problemer med å tilsette karbondioksyd.

## Aktiviteter på NIVA

På NIVA har det vært arbeidet med korrosjonstekniske spørsmål i flere tiår. Allerede i 1967 ble det igangsatt forsøk for å kartlegge tæringsangrep på asbestsementrør. Etter 7 års påvirkning av vann fra ledningsnett i Oslo, ble det vist at rørgodset ble tært opp med en hastighet av 0,3 mm/år.

NIVA's innsats på området korrosjon på vannledningsnett er bety-



Målt innvendig tæringshastighet for asbestsement-rør påvirket av forskjellig vannkvalitet.

delig. På VA-sektoren ble i 1987 ca. 50 % av tiden disponert til aktiviteter innen fagfeltet. Utover en løpende kontakt med kommuner og næringslivet av typisk rådgivende karakter, har det vært arbeidet med forskningsprosjekter innen vannbehandling og i forbindelse med ledningsnett.

Driftsproblemene ved eksisterende kalkdoseringsanlegg viser klart at kunnskapsnivået på området ikke er tilfredsstillende. Vi må bare erkjenne at vi er for dårlig rustet ved inngangen til en «boom»

når det gjelder bygging av karbonatiseringsanlegg ved norske vannverk.

Med utgangspunkt i et solid grunnlag på områdene prosesseteknikk, korrosjon og sur nedbør/kalking, gjennomfører NIVA et program som skal gjøre oss bedre istand til å ta vare på vannverkene våre. I 1986 og 1987 har bl.a. følgende prosjekter knyttet til karbonatiseringsanlegg vært gjennomført:

– Driftserfaringer ved eksisterende kalkdoseringsanlegg.

- Pilotforsøk med karbonatisering, filtrering og direktefelling.
- Forsøk med kalk-bereder i kalkdoseringsanlegg.
- Anbefalinger om praktiske prosessutforminger for hydratkalk dosering i karbonatiseringsanlegg.
- Forsøk med bruk av knust marmor som alkalisk filtermasse i karbonatiseringsanlegg.

Nevnte aktiviteter er finansiert med interne forskningsmidler fra NIVA

og bidrag fra industri og samarbeidende kommuner. De viktigste resultatene til nå er:

- Dosering av kalk er problematisk og fungerer lite tilfredsstillende ved mange vannverk.
- Ved uheldig prosessutføring vil turbiditetskravene lett kunne overskrides. Partikulært stoff i kalken kan inneholde aluminiumsforbindelser eller andre uønskete stoffer som tilføres drikkevannet.
- Bruk av alkaliske filtre, som kombinerer kalsiumkilden og separasjonenheten, vil ut fra driftstekniske hensyn være spesielt godt egnet for mindre vannverk.

### Levetid for asbestsement-rør (AC-rør)

I Norge brukes årlig anslagsvis 100 mi<sup>11</sup>.kr. til reparasjon av brudd som oppstår på vannledningsnettet. Til tross for dette utføres ikke systematisk registrering av brudd, og analyser av bruddårsak i de fleste av landets kommuner. Noe av forklaringen ligger i at vi mangler nødvendige planverktøy til formålet. «Forfallsprosjektet» og «AC-prosjektet», er i så måte skritt i riktig retning.

Prosjektet «Levetid for AC-rør» er et samarbeidsprosjekt mellom NIVA og 11 kommuner. Rørprøver fra 36 ulike lokaliteter er undersøkt på forskjellige måter. Samtlige rørprøver har vært utsatt for aggressivt vann over en periode fra 14 til 28 år. For AC-rør uten beskyttelse mot tæring har man funnet:

- Rørstyrken er i gjennomsnitt redusert med 20 % over en 20 års periode.
- Gjennomsnittlig innvendig tæringshastighet ble målt til 0,15 mm/år.

- De fleste undersøkte rørprøvene hadde betydelige tæringsangrep på utsiden.

Pågående AC-prosjekt avsluttes i 1988. Før tiden arbeider NIVA med planer om å etablere et fast tilbud til kommuner for tilstandsvurdering av rørprøver.

### Videre Forskning og Utvikling (FoU) på korrosjonssektoren

Vi har allerede kommet et stykke på vei når det gjelder å bygge «riktige» karbonatiseringsanlegg, men mye gjenstår. Fra energiøkonomisk synspunkt er bruk av alkaliske filtre besnærende. Hvorfor gå omveien ved først å brenne marmor for å spalte karbonat og fjerne karbondioksyd, så tilsette vann til den brente kalken (leske), transportere den til anlegget og dosere den til vannet sammen med karbondioksyd? Ved å bruke finknust marmor løses kalsiumkarbonat ut direkte og massens karbondioksyd utnyttes.

Det er et behov for videre utprøving av prosessen med alkaliske filtre for etablering av dimensjoneringskriterier for filtre til bruk for ulike vannkvaliteter. Kartlegging av risiko for at drikkevannet tilføres uønskete stoffer ved ulike prosessløsninger og kalsiumkilder bør også prioriteres.

Vannledningsrør som importeres til Norge, er produsert i EF-land; Tyskland, England, Frankrike eller Italia, og er påført en innvendig korrosjonsbeskyttelse som er tilpasset de krav og anbefalinger som gjelder for drikkevann i EF-land. Det meste av de rør som produseres er av duktilt støpejern og fra begynnelsen av 70-tallet med en sementmørtel-fôring som innvendig beskyttelse. Det er viktig å være oppmerksom på at beskyttelsen er tilpasset EF-landenes vannkvalitet. Vi vet lite om kva-

liteten av disse fôringene etter noen års påvirkning med «norsk vann».

Vanlig norsk overflatevann, som er bløtt og surt, angriper sementmørtelfôringer i rør. Foreløpige, spredte undersøkelser viser at tæringshastigheten er av samme størrelsesorden som for AC-rør. Dette betyr at rør med sementfôring må undersøkes nærmere for å fastslå vannets virkning på denne type rørmateriale.

Levetiden på fôringene vil være med å bestemme når det må investeres i karbonatiseringsanlegg på det enkelte vannverk. Ved at det ikke er gitt anbefalinger om karbonatlikevekt bør korrosjonsforløpet på ledningsnett nøye overvåkes ved flere av de vannverkene som er tidligst ute med å bygge karbonatiseringsanlegg.

#### Litteratur:

Bergan, Erik, Myhrstad, Jan Aug. og Wiik, Johs.: Vannledningsnett – samfunnsmessige kostnader ved innvendig korrosjon og aktuelle mottiltak. VANN, Vol. 22 (1987) Nr 4 pp 416-420

Statens institutt for folkehelse (SIFF): G2. Kvalitetsnormer for drikkevann. SIFF (1987)

Statens institutt for folkehelse (SIFF): Kvalitetskrav til vann. SIFF (1976)

## Asbestsement-rørene i Norge forfaller. Hva gjør vi?

Av Lars Aaby

Lars Aaby er siviling. og ansatt som forsker ved Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA).

Resultatene fra NTNFS «Forfallsprosjekt», «Alkaliseringsprosjekt» og «Levetid for asbestsement-rør» gjør oss bedre i stand til å ta vare på ledningsnettene våre. Gjennom «asbestsement-prosjektet» er det utviklet en modell for beregning av forfallshastigheten til ledningsnettene. Modellen forutsetter tilstandsvurdering av rørprøver. Videre anbefales en systematisk registrering og analyse av driftsforstyrrelser på ledningsnettene som en kontinuerlig prosess.

Det 3-årige NTNFS prosjektet Levetid for asbestsement-rør (AC-rør) avsluttes i løpet av året. Basert på tilstandsvurdering av rørprøver fra 36 lokaliteter fra ulike deler av landet, konkluderes det med:

- \* Fra innsiden brytes rørmaterialet ned med en hastighet på 0.1—0.2 mm/år. Rørmaterialet brytes også ned fra utsiden. Målt som maksimalverdi, tilsvarte utvendig tæring gjennomsnittlig innvendig tæring.
- \* På grunn av utvendig og innvendig tæring, har rørene i gjennomsnitt mistet 20 prosent av sin styrke i løpet av en gjennomsnittlig funksjonstid på 20 år.

\* Bruddhyppigheten (brudd pr. km ledning og år) for AC-nettet er 50 prosent høyere enn for det øvrige ledningsnettene. De små ledningsdimensjonene (D=100/150 mm) er mest utsatt.

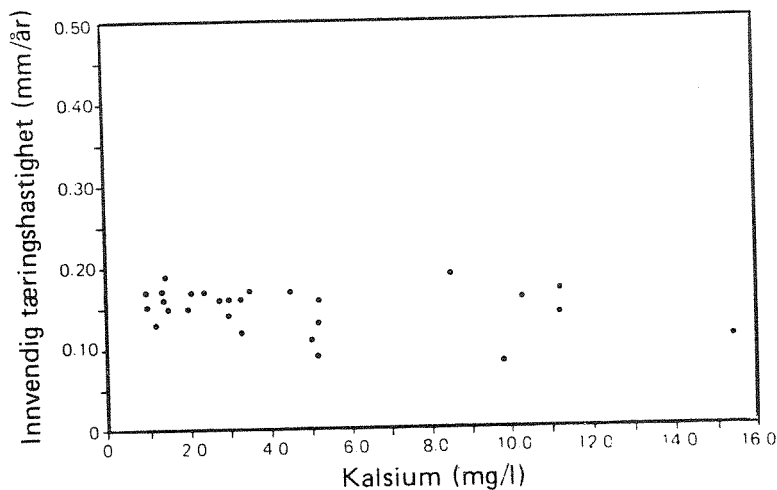
\* På AC-nettet vil det i årene som kommer skje en tiltakende økning i bruddhyppigheten. Dagens service-nivå vil for enkelte forsyningsområder reduseres raskt dersom det ikke iverksettes tiltak.

Forfallet er spesielt alvorlig ved at de negative konsekvensene vil ramme store deler av AC-nettet samtidig; 70 prosent av AC-nettet ble lagt i 10-års perioden 1960—1970 og ca. 65 prosent er rør med en diameter mindre enn 200 mm.

I Norge er det ca. 4 000 km AC-rør. Dette tilsvarer ca. 15 prosent av vårt vannledningsnett. Forfallet skyldes at overflatevannet som vi benytter er bløtt og surt og tærer innvendig på AC-rørene. Aggressive grunnforhold er årsaken til det utvendige forfallet.

Figur 1 viser innvendig tærings-hastighet for AC-rør påvirket av forskjellig vannkvalitet. Det under-





Figur 1. Målt innvendig tæringshastighet for asbestsementrør påvirket av forskjellig vannkvalitet.

strekes at analysene er basert på «stikkprøver» (middel av to prøver fra hver lokalitet). Rørprøvene representerer tilsammen 8 råvannskilder. Ved to av vannverkene tilsettes kalk for alkalisering til et kalsiumnivå på 5 mg/l for det ene og 11 mg/l for det andre. Doseringsstabiliteten er ikke kjent. Som det fremgår av figuren kan det ikke påvises at tæringshastigheten avtar med økende kalsiuminnhold. På tilsvarende måte kunne det heller ikke påvises at vannets alkalitet påvirket tæringshastigheten.

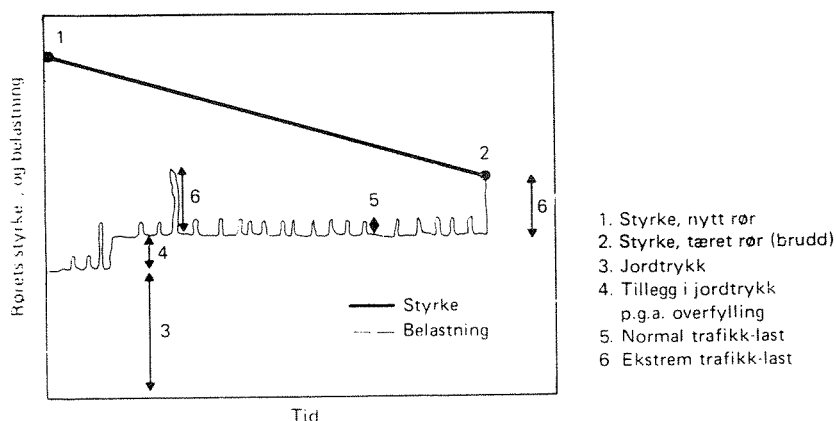
Innen ett og samme vannverk tyder resultatene på at innvendig tæringshastighet er relativt konstant. Bare for to rørprøver, som ble tatt fra endeledninger med nær stillestående vann, kunne det påvises en redusert tæring, som følge av utløsningen fra ledningsnettet.

I forbindelse med registrering av

innvendig tæringshastighet kunne det ikke påvises:

- \* at tæringshastigheten avtar med tiden
- \* at tæringshastigheten er avhengig av herdeprosessen (autoklav/vannherding) benyttet ved produksjon av rørene.
- \* at tæringshastigheten er avhengig av vannhastigheten eller vanntrykket i ledningsnettet
- \* at vannkvalitetsendringen, som følge av vannets kontakt med asbestsementen, er av vesentlig betydning i tæringssammenheng for det enkelte vannverket.

Et ledningsanleggs driftsstabilitet vil bl.a. styres av forholdet mellom belastningen på røret og dets evne til å bære denne belastningen. Vi vet at ledningsbrudd oppstår under ekstreme betingelser; unormal høy belastning på svak del av røret.

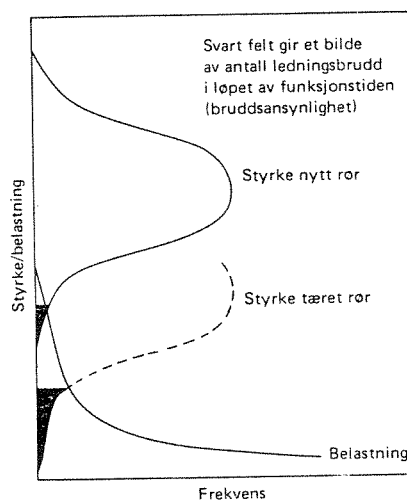


Figur 2. Rørets styrke og belastningsforhold som funksjon av tiden.

Dette er illustrert i figur 2 for et rørtverrsnitt utsatt for tæringsangrep.

For et ledningsanlegg vil ekstremt store belastninger opptre sjelden (lav frekvens) og små belastninger ofte (høy frekvens). Rørets styrke kan vi anta vil variere fra tverrsnitt til tverrsnitt etter et normalfordelings-mønster. Sammenhengen mellom styrke/frekvens og belastning/frekvens er vist i figur 3.

I skjæringspunktet mellom de to kurvene (belastning/frekvens og styrke/frekvens) vil det være en labil situasjon m.h.t. brudd. Arealet (skravert) under styrke-kurven gir et mål på antall brudd (brudd-sannsynlighet) som kan forventes i løpet av ledningsanleggets levetid. Ved tæring vil dette arealet øke og dermed øker antall brudd og brudd-sannsynligheten blir større. Ut fra formen til de to kurvene vil det være rimelig å anta at bruddsannsynlig-



Figur 3.

Sammenhengen mellom styrke/frekvens og belastning/frekvens.

heten vil øke eksponensielt ved konstant innvendig tæringshastighet. Dette gjenstår å vise matematisk.

Ved å kartlegge driftsbetingelsene til et ledningsanlegg (overdekning, vanntrykk, o.l.) og samtidig gjennomføre styrketesting av oppgravde rørprøver, kan sikkerhet mot brudd under normale betingelser beregnes. Sikkerhetsfaktoren mot brudd ( $F$ ) reduseres ved økende tæringsangrep. Basert på konstant innvendig tæringshastighet kan utviklingsforløpet til  $F$  beregnes. Innvendig tærings- og tæringshastighet bestemmes ved å undersøke oppgravde rørprøver.

Med utgangspunkt i det som er nevnt om sammenhengen mellom bruddsannsynligheten og innvendig tæringshastighet, defineres ledningsanleggets relative bruddsannsynlighet ( $R$ ) som:

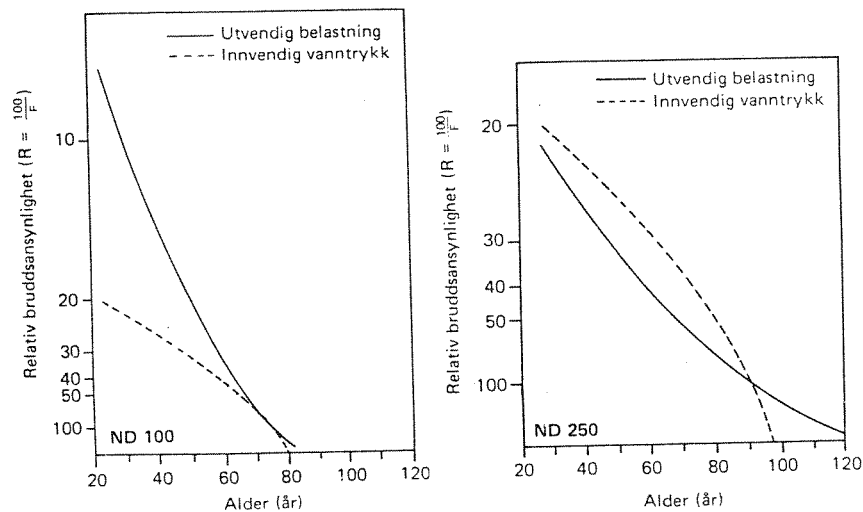
$$R = aF^b$$

der  $a$  og  $b$  er konstanter.

Prognose for  $R$  er beregnet og vist i figur 4 for to rørprøver undersøkt i forbindelse med AC-prosjektet. I de to eksemplene er  $a = 100$  og  $b = -1$ . Kurvens startpunkt representerer ledningsanleggets relative bruddsannsynlighet ved oppgraving i 1986.

Beregningene baseres på belastningsdata for ledningen som den ligger i bakken, resultater fra styrketesting av rørprøver og registrert tæringshastighet. Styrketesting omfatter påføring av innvendig vanntrykk til brudd, og knusing av rørprøver ved påføring av utvendig belastning til brudd.

Ved at rørbrudd oppstår som følge av ekstreme belastninger som i mønster er forskjellig fra ledningsdel til ledningsdel, kan  $F$ - og  $R$ -verdier for ulike ledningsanlegg



Figur 4. Prognose for relativ bruddsannsynlighet. Eksempel for ND250 og ND100.

ikke direkte sammenlignes. Derfor benyttes betegnelsen *relativ* brudd-sannsynlighet.

I tiltakssammenheng kan det være av interesse å kvantifisere endringen i et ledningsanleggs relative bruddsannsynlighet over tid. Rask endring kan innebære at det haster med iverksettelse av tiltak. Ledningsanleggets forfallshastighet (V) defineres som:

$$V = \frac{\Delta R}{\Delta A}$$

Der  $\Delta R$  = endring av R over  $\Delta A$  år  
 $\Delta A$  = tidsintervall, eksempelvis 5 år.

Prognosens følsomhet ved f.eks. reduksjon av tæringshastigheten gjennom vannbehandling, eller ved reduksjon av belastningen ved at driftstrykket på ledningsnettets senkes, vil relativt enkelt kunne kartlegges.

Modellen gir gjennom tilstandsvurdering av rørprøver, en mulighet for å vurdere utviklingsforløpet og tiltak på ledningsnettets. Modellen gir derimot ikke noe klart svar på hvordan ledningsnettets funksjonsdyktighet vil utvikle seg. En prognose for ledningsnettets funksjonsdyktighet vil først kunne etableres etter noen års systematisk rørbruddsregistrering og -analyse.

Rørbruddregistrering bør være en kontinuerlig prosess. Hvor ofte rørprøver skal tilstandsvurderes og prognose for relativ bruddsannsynlighet og forfallshastighet utarbeides, vil bl.a. styres av hvor viktig ledningsanlegget er i vannforsyningssammenheng. Som minste tidsintervall anbefales 5 år.

Kartlegging av konsekvenser ved rørbrudd og brudd-sannsynlighet for ledningsdeler innen det enkelte vannverk, gjør det mulig å foreta en risiko-analyse av ledningsnettets. Det henvises til NTNFS brukerrapport 5b/87; «Planlegging av drift, vedlikehold og fornyelse av ledningsnettets for vann og avløp».

Etter hvert som kommunene tar i bruk et «overvåkingsprogram» som foreslått, vil statistisk bearbeiding av data gjøre det mulig å forbedre modellen for beregning av AC-nettets funksjonsdyktighet. I denne sammenheng anbefales det opprettet et tilbud for tilstandsvurdering av AC-rør på nasjonalt nivå, og etablering av en nasjonal database for AC-rør.

Samtidig med en opptrapping av aktivitetene på ledningsnettets ved det enkelte vannverket, er tiden inne for å vurdere vannbehandlingstiltak for å redusere innvendig tæring. Sentral i denne sammenheng er håndboken «Innvendig korrosjon av vannledninger», utgitt av NTNFS Program for drikkevannsforskning.

*Prosjektet «Levetid for AC-rør» sluttrapporteres i 1988 ved bl.a. utgivelse av en veileder til bruk i kommunene. Nå vil det være opp til vannverkseierne å ta det nye «verktøyet» i bruk! NIVA for sin del står klar til å gjennomføre prosjektet «Levetid for sementforinger i duktile støpejernsrør». Innledende undersøkelser gir grunn til uro! Dette prosjektet vil gi et forbedret grunnlag ved valg av tidspunkt for bygging av karbonatiseringsanlegg ved det enkelte vannverk.*

## Levetid for sementmørtelforinger i duktile støpejernsrør

Av Hans Kristiansen

Hans Kristiansen er cand.real. og forsker ved Norsk Institutt for Vannforskning.

Mineralfattig og surt overflatevann tærer på materialer laget på basis av sement. Årsaken er at hydratkalken som dannes under herdingen og som er nødvendig for å stabilisere sement-mineralene, lutes ut. Hastigheten for utlutningen er avhengig av kvaliteten på materialet.

Hastigheten for utlutning av hydratkalk fra asbestsementrør og rør av forspent betong er kjent og resultatene tidligere publisert i VANN.

Duktile støpejernsrør er innvendig belagt med en sementmørtelforing som beskyttelse mot korrosjon. Forings tykkelse er fra 3 til 5 mm for de mindre dimensjoner av rør og fra 6 til 8 mm for større. Hydratkalken i foringen er selv-sagt også gjenstand for utlutning. Det er blitt konstatert at vannet har fått høyere kalsiuminnhold og pH-verdi etter å ha passert sementmørtelforede støpejernsrør.

Så lenge porevannet i mørtelforingen er mettet med hydratkalk, er pH-verdien i vannet i kontaktflaten mellom foringen og jernet så høy, at jernet er passivt og korroderer ikke. Etterhvert som hydratkalken lutes ut og pH-verdien i foringen mot jernet synker vil jernet begynne å ruste. Rustdannelsen

vil sprengne resten av foringen løs fra underlaget, og påvirke vannkvaliteten. Dersom større mengder foringsrester løsner fra rørvæggen kan det forstyrre vannføringen i røret. Vi kjenner tilfeller hvor foringsrester har løsnet. Sementmørtelforinger ble først standard fra slutten av 60-tallet. Driftstiden for de fleste rør av denne type er derfor for kort til at belegg kan ha løsnet i større skala.

NIVA har utført en enkel undersøkelse av en prøve av duktilt støpejernsrør for «Nidarkretsen», Arendal.

Rørprøven (DN 450, lengde 200 mm) ble tatt fra et ledningsanlegg som har vært påvirket av overflatevann i 17 år.

Prøven ble påmontert en plastbunn slik at den dannet et kar med eksponert flate på 0,28 m<sup>2</sup> og rommet 28 liter. «Rørkaret» ble fylt med vann fra ledningsnett på NIVA, Oslo. Vannet ble holdt avkjølt ved omkring 9°C og satt i svak omrøring. Prøver av vannet ble tatt for analyse av kalsiuminnholdet ved start og etter 1, 4, 8, 11 og 20 døgn. I prøven etter 20 dager ble også pH-verdien og alkaliteten bestemt.

Analysen ga som resultat:

<i>Prøve tatt</i>	<i>pH</i>	<i>Alkalitet mmol/L</i>	<i>Kalsium mg/L Ca</i>	<i>Totalt utløst kalsium i mg</i>
Ved start	6.8	0.08	3.34	
etter 1. døgn			8.7	150
4. døgn			14.8	321
8. døgn			20.4	478
11. døgn			18.8	433
20. døgn	7.67	0.73	21.0	494

Av analyseresultatene fremgår at kalsiuminnholdet i vannet øker for hver prøvetaking. Økningen er størst etter ett døgn og avtar videre med tiden.

Undersøkelsen viser at sementmørtelforingen avgir hydratkalk til vannet. Ved at vannet opptar hydratkalk øker pH-verdien og vannet tar opp karbondioksid fra atmosfæren. Det forårsaker en karbonutfelling på overflaten som gjør at utløsningen av hydratkalk avtar. I et rør vil vannet ikke ta opp karbondioksid fra atmosfæren og hydratkalkutløsningen vil være konstant.

Denne enkle undersøkelse gir en klar indikasjon på at sementmørtelforinger angripes av den vannkvalitet vi har i de fleste steder her i landet. Utløsningen mellom 1. og 8. døgn kan sammenliknes med kalkutløsningen fra rør av forspent betong og asbestsement.

I sementmørtelforinger blir det brukt forskjellige typer sement. En spesiell aluminiumsholdig sement har vist stor motstand mot angrep av aggressivt vann, men er på ingen måte uangrikelig. I engelske rør er mørtelen tilsatt aske fra kullfyrte kraftverk. Det er ikke kjent i hvilken grad foringen avgir aluminiumsforbindelser og tungmetaller til drikkevannet.

Den nordiske Delphi-undersøkelsen for vann- og avløpsledninger sier at dokumentasjon er et nøkkelord og at behovet for en bedre dokumentasjon av ledningsnettets tilstand vil forsterkes i de kommende år. Gjennomføring av prosjektet «Levetid for sementmørtelforinger i duktile støpejernsrør» er et nasjonalt ansvar, men ingen vil bevilge penger!

# rapporter utgitt av NIVA

- 1/88 Etablering av hotell ved Gjersjøen**  
O-87220 Jens Arne Ohren. Februar 1988
- 2/88 Tisetting av kalsiumkarbonat til vann**  
E-88402 Jens Arne Ohren Februar 1988
- 3/88 Endringer av aluminiumsinnhold gjennom vannbehandlingsprosessen**  
E-88401 Jens Arne Ohren. Februar 1988
- 4/88 Undersøkelse av forurensningssituasjonen i Litlvatn, Agdenes kommune**  
O-87045 Hans Holtan. Februar 1988
- 5/88 Undersøkelser og vurderinger av forurensningseffekter ved eventuell utbygging av Napetjern kraftverk**  
O-87155 Hans Holtan. Mars 1988
- 6/88 Utprøving av Unik Hjulfilter for rensing av vann i settefiskanlegg**  
O-88027 Helge Liltved. Juni 1988
- 9/88 Revurdering av krav til utslipp fra galvanoidustri**  
O-87070 Eigil Rune Iversen. August 1988
- 1/89 Nitrogenfelling fra kommunalt avløp ved bruk av plantebaserte systemer. Delprosjekt**  
O-88171 Helge Liltved. Januar 1989
- 2/89 Utslipp til Hunnselva fra Raufoss A/S**  
O-88099 Eigil Rune Iversen. April 1989
- 3/89 Røyken kommune. Bruk av Sætervann som drikkevannskilde. Vannbehandling, ledningsnettets tilstand og konsekvenser ved vannbeh.**  
O-85208, E-85534 Lars Aaby. Mai 1989.
- 4/89 Levetid for asbestsementrør. Tilstandsvurdering og beregning av restlevetid**  
Prosjektrapport nr. 2  
O-85208, E-85534 Lars Aaby. Under trykking
- 5/89 Levetid for asbestsementrør. En veileder**  
Prosjektrapport nr. 3  
O-85208, E-85534 Lars Aaby. Under trykking