

2012

NIVA's
siste exemplar
UTLÅN



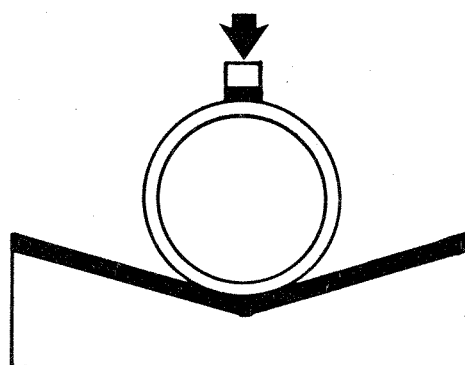
RAPPORT 10|87

O-85208

E-85534

Levetid for asbestsement-rør

Framdriftsrapport og generelle grunnlagsdata
Prosjektrapport nr 1



NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Hovedkontor
Postboks 333
0314 Oslo 3
Telefon (02) 23 52 80

Sørlandsavdelingen
Grooseveien 36
4890 Grimstad
Telefon (041) 43 033

Østlandsavdelingen
Rute 866
2312 Ottestad
Telefon (065) 76 752

Vestlandsavdelingen
Breiviken 2
5035 Bergen - Sandviken
Telefon (05) 25 97 00

Prosjektnr.:
0-85208/E-85534

Undernummer:

Løpenummer:

2012

Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel:	Dato:
LEVETID FOR ASBESTSEMENT-RØR Framdriftsrapport og generelle grunnlagsdata Prosjektrapport nr. 1 VA 10/87	4-8-87
Forfatter (e):	Prosjektnummer:
Lars Aaby	0-85208/E-85534
	Faggruppe:
	Miljøteknisk
	Geografisk område:
	Antall sider (inkl. bilag):
	153

Oppdragsgiver:	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):
NTNF, Miljøverndepartementet, NIVA	Svein Erik Moen Øyvind Nybakken

Ekstrakt:
<p>Del 1. Fremdriftsrapport. Rørprøver fra 38 lokaliteter er testet på ulike måter. Samtlige er fra vannverk med aggressivt vann. Foreløpige resultater viser en gjennomsnittlig innvendig tæringshastighet på ca. 0,15 mm/år. Samtlige rørprøver er utsatt for mer eller mindre uregelmessig utvendig tæring som i størrelsesorden (maksimalverdi) tilsvarer innvendig tæring. Del 2. Generelle grunnlagsdata. Bakgrunnsinformasjon innen problemområdet er presentert. Videre er samarbeidsprosjektet med deltakende kommuner rapportert.</p>

4 emneord, norske:

1. Vannforsyning
 2. Asbestcement
 3. Levetid
 4. Tilstand
- VA 10/87

4 emneord, engelske:

1. Water supply
2. Asbestos-cement
3. Durability
4. Condition

Prosjektleder:


Lars Aaby

For administrasjonen:


Oddvar Lindholm

ISBN 82-577-1262-0


Lasse Vråle

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
OSLO

O-85208

LEVETID FOR ASBESTSEMENT-RØR

Fremdriftsrapport og generelle grunnlagsdata

Prosjektrapport nr. 1

Oslo, juni 1987

Forfatter: Lars Aaby

FORORD

Prosjektet "Levetid for Asbestsement-rør" (AC-rør) tar sikte på å etablere kunnskap som skal gjøre oss bedre istand til å forvalte asbestsement nettet som idag benyttes i vannforsyningssammenheng. Prosjektet er et rent teknisk prosjekt. De helsemessige forhold med asbestfiber i drikkevann er utenfor prosjektets ramme.

Prosjektet finansieres av NTNf, Miljøverndepartementet, deltakende kommuner og interne forskningsmidler fra NIVA. Prosjektleder er Lars Aaby, NIVA. Hans Kristiansen, NIVA, har fungert som rådgiver i vannkjemiske spørsmål.

I forbindelse med prosjektet er det opprettet en rådgivende 3-mannsgruppe bestående av:

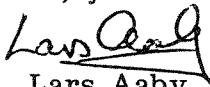
Jan A. Myhrstad	E. Strømme A/S
Christen Ræstad	Eget firma
Knut Ellingsen	SIFF

Det er avholdt 2 møter med gruppen.

Firmaet TA-Esco A/S har blitt engasjert av NIVA for styrketesting av rørprøver. Arbeidet er utført på en meget tilfredsstillende måte. En spesiell takk til Ivar Aslesen som har vært ansvarlig ved bedriften.

VA-rapport 10/87 består av to deler; Del 1, som er en kort fremdriftsrapport og Del 2, som er en presentasjon av generelle grunnlagsdata innen problemområdet "Levetid for AC-rør". Hvert tema som er behandlet i Del 2 er presentert som selvstendige prosjektnotater (PN). Litteraturhenvisninger, tabeller og figurer er som en hovedregel samlet på slutten av det enkelte prosjektnotat.

Oslo, juni 1987


Lars Aaby

INNHALDSFORTEGNELSE	Side
FORORD	2
DEL 1. FREMDRIFTSRAPPORT	4
1. Bakgrunn for prosjektet	5
2. Prosjektets mål	5
3. Plan for prosjektarbeidet	5
4. Fremdrift	6
5. Dagens kunnskap om AC-tæring	7
6. Oversikt over nedgravde AC-rør	8
7. Innsamling og undersøkelser av rørprøver	10
8. Videre fremdrift	12
9. Litteratur	14
DEL 2. GENERELLE GRUNNLAGSDATA	15
Prosjektnotat:	
3. Vannets hardhet, aggressivitet, kjemisk likevekt og indekser for likevekt	16
4. Beregning av jordtrykk	30
5. Asbest, asbestsementrør	43
8. Krav til materialfasthet og testresultater i forbindelse med produksjonskontroll av nye rør	59
9. Registrering av AC-rør ved norske vannverk. SIFF undersøkelse i 1982	70
10. Tæring på AC-rør. Gjennomgåelse av undersøkelser utført i USA	76
11. Tæring på sementbaserte rør. Nasjonale undersøkelser	103
14. Tetthetsprøving og styrketesting (knusing og sprengning) av AC-rør ved TA-Esco A/S	116
15. Samarbeidsprosjekt mellom NIVA og noen utvalgte kommuner	119
TABELLER OG FIGURER	
<u>Del 1. Fremdriftsrapport</u>	
Tabell 1. AC-nettets aldersfordeling i Norge	10
Tabell 2. Oversikt over deltakende kommuner med noen nøkkeltall for hvert vannverk	11
<u>Del 2. Generelle grunnlagsdata</u>	
Tabeller og figurer er som en hovedregel samlet på slutten av hvert enkelt prosjektnotat	

LEVETID FOR ASBESTSEMENT-RØR

Del 1. Fremdriftsrapport

1. Bakgrunn for prosjektet

I finansieringssøknad til NTNf i 1985 anføres følgende:

"Vi regner med at 5 000 - 6 000 km asbestsementledninger er i bruk som vannledninger i Norge i dag. Dette utgjør ca. 20 % av total lengde vannledninger.

Overflatevannet i Norge er vanligvis bløtt og surt og tærer på asbestsementledninger. Tæringshastigheter i størrelse 0,2 - 0,4 mm/år på innsiden av asbestsementrør er registrert. En stor del av rørene er trolig tildels også alvorlig angrepet fra utsiden.

Tæringen på asbestsementledninger kan få alvorlige økonomiske konsekvenser i nasjonal sammenheng. Det kan vise seg nødvendig med årlig investeringer på 200 - 300 mill. kroner for utskiftning av gamle asbestsementledninger i årene som kommer.

Vi har idag ikke tilstrekkelig kunnskap om de forskjellige faktorene som styrer vannets tæring på asbestsementledningene. Det samme gjelder også for hvordan tæringsforløpet virker inn på rørets styrke. Gjennom å undersøke styrken på rørprøver ved testing i laboratorium samtidig som tæring på forskjellige andre måter vil bli målt, vil vi få et bedre grunnlag for å bestemme graden av tæring."

2. Prosjektets mål

Prosjektets mål er å utvikle metodikk for beregning av restlevetid for nedgravde asbestsementledninger og utgi en veileder som kombinert med enkle undersøkelser skal kunne gi den enkelte vannverkseier et bedre grunnlag for å beregne restlevetiden av ledningsnett. Videre skal veilederen omfatte en tiltaksdel der aktuelle rehabiliterings- og vannbehandlingsmetoder blir presentert.

3. Plan for prosjektarbeidet

Retningsgivende for prosjektarbeidet har vært problemnotat av 13.02.85. I notatet blir det foreslått en prosjektperiode på 3 år og at første del av prosjektarbeidet skal dekke:

- 1) Sammenfatte dagens kunnskap om AC-tæring.
- 2) Fremskaffe regional oversikt over nedgravde AC-rør med hovedvekt på alder, strenglengde, rørkvalitet, vannkvalitet, grøfteforhold.
- 3) Foreslå lokaliteter hvor det er ønskelig å få oppgravd og laboratorieprøvet rørstykker.
- 4) Laboratorietesting av rørprøver.
- 5) Hypotese-testing av laboratoriedata.

I forbindelse med prosjektplanlegging og løpende finansiering av prosjektet er det utarbeidet to notater:

- Forslag til arbeidsprogram for 1986, datert 16.09.85 (Prosjektnotat nr. 6).
- Programforslag for 1987, datert 10.06.86 (Prosjektnotat nr. 13).

4. Fremdrift

Prosjektets fremdrift for perioden mars 1985 - mars 1986 er rapportert: "Statusrapport og planer for 1986", mars 1986.

Prosjektet har blitt noe forsinket i forhold til opprinnelige planer. Dette skyldes bl.a. at prosjektets finansielle rammer gjorde det nødvendig med en viss egenfinansiering for kommunene som deltar i prosjektet. Tid for intern kommunal saksbehandling i tillegg til at oppgraving av rørprøver er mest hensiktsmessig i perioder uten tele i bakken, resulterte i at rørprøver ble gravet opp først sommeren 1986. Videre ble det nødvendig i forbindelse med gjennomføring av styrketesten, ved TA-Esco A/S i Kongsberg, å spesialprodusere utstyr. Utstyr i standard utførelse, som man regnet med å kunne bruke, viste seg ikke å ha nødvendig styrke. Lang leveringstid for dette utstyret gjorde at styrketesting av rørprøver startet opp først like før jul 1986. I tillegg bør det nevnes at prosjektleder har vært forhindret fra å arbeide aktivt med prosjektet i ca. ½-år tilsammen pga. omsorgspermisjon og NORAD-oppdrag.

Problemområdet "Levetid for AC-rør" er omfattende. For å etablere faglig basis for prosjektet har det vært behov for å samle/systematisere kunnskap på flere fagområder. Bl.a. i denne sammenheng er det utarbeidet "prosjektnotater" (PN):

- PN 1: Testing av AC-rørs styrke
- PN 2: Innsamling av data fra vannverk
- *PN 3: Vannets hardhet og aggressivitet
- *PN 4: Beregning av jordtrykk
- *PN 5: Asbest og asbestsementrør
- PN 6: Forslag til arbeidsprogram for 1986
- PN 7: Registreringsskjema (til bruk ved innhenting av grunnlagsdata fra de enkelte vannverk).
- *PN 8: Krav til materialfasthet og testresultater i forbindelse med produksjon av nye rør
- *PN 9: Registrering av AC-rør ved norske vannverk. SIFF-undersøkelser i 1982.
- *PN 10: Tæring på AC-rør. Gjennomgåelse av undersøkelser utført i USA.
- *PN 11: Tæring på AC-rør. Nasjonale prosjekter
- PN 12: Kontakt med produsenter og leverandører av AC-rør
- PN 13: Programforslag for 1987
- *PN 14: Tetthetsprøving og styrketesting av AC-rør ved TA-Esco A/S
- *PN 15: Samarbeidsprosjekt mellom NIVA og noen utvalgte kommuner.
- PN 16: Økonomistatus pr. 01.06.87.

Prosjektnotatene som er merket med en stjerne er inkludert i Del 2 av denne rapporten.

Framdrift og oppsummering av de enkelte prosjektområdene nevnt i problemnotat av 13.02.85, er behandlet i det følgende.

5. Dagens kunnskap om AC-tæring

PN 3, PN 10 og PN 11 omhandler AC-tæring.

Det har blitt foretatt en litteraturgjennomgang av undersøkelser utført i USA og Norge. Undersøkelsene tar for seg innvendig tæring.

Typisk for tidligere undersøkelser om AC-tæring, er at tæringsforløpet bare er registrert over kortere tidsrom. Norsk overflatevanns spesielt aggressive karakter gjør videre at undersøkelser utført utenfor Norges grenser gir lite kvantitativ informasjon om tæringsforløpet her hjemme.

Sentralt i prosjektet er styrketesting av rørprøver som har ligget i bakken. Det er ikke funnet fram til litteratur av interesse over undersøkelser der AC-rør utsatt for aggressivt vann over en lengre periode, er styrketestet.

6. Oversikt over nedgravde AC-rør

Prosjektnotat av 13.02.85 peker på behovet for en "regional oversikt over nedgravde AC-rør med hovedvekt på alder, strenglengde, rørkvalitet, vannkvalitet, grøfteforhold".

Arbeidet med å framskaffe en regional oversikt i detalj som beskrevet ligger utenfor rammen av prosjektet.

Mengden av AC-rør til vannforsyningsanlegg i Norge er undersøkt i et samarbeidsprosjekt mellom Miljøverndepartementet (R.M. Aamot, 1986) og Lars Aaby. Datagrunnlaget er hentet fra:

- Skjema fra 344 vannverk fra en SIFF-undersøkelse om AC-rør i 1982.
- SIFFs vannverksregister.
- Diverse telefoner til kommunene.
- Prosjektnotat nr. 7 (registreringsskjema utfyllt av deltakende kommuner i samarbeidsprosjektet).
- Prosjektnotat nr. 9.
- En samling analyseresultater fra tæringstester på AC-rør, utført av forsker Hans Kristiansen, NIVA.
- Kommunalforlagets katalog.

Undersøkelsen konkluderer bl.a. med:

"I denne undersøkelsen har ca. 60 % av vannverkene i Norge svart på spørsmål om AC-rør. Ca. 83 % av befolkningen er tilknyttet disse vannverkene.

AC-ledninger finnes i hele landet. Det er størst prosentandel vannverk med AC-rør i Møre og Romsdal, Nordland, Sør-Trøndelag og Rogaland, minst i Hedmark, Aust-Agder, Vest-Agder, Sogn og Fjordane og Finnmark.

Den totale lengden AC-rør i Norge er minst 3693 km, men antagelig mindre enn 4000 km.

42,5 % av de kommunene som har AC-rør har mindre enn 5 km AC-rør. 7,5 % har mer enn 40 km AC-rør.

Svarprosenten angående problemer med AC-rørene var 75 %. 78 % av disse svarte at de ikke hadde problemer med dem, mens 22 % hadde problemer.

De viktigste årsakene til problemene er dårlig arbeid, setninger, frost og tæring".

Den totale lengden AC-rør til vannforsyningsanlegg i Norge er ca. 4000 km og representerer ca. 15 % av totalen. Ledningsdimensjonene D = 100, 150 og 200 mm representerer ca. 80 % av totalen (PN 9). Basert på en leverandøroversikt for rør produsert i Danmark pr. 01.01.1971 er trykk-klasse fordelingen anslagsvis følgende (PN 12):

PN 12,5	25 %
PN 10	65 %
PN 7,5	10 %

Datagrunnlaget for hvor stor del av AC-nettet som har belegg for beskyttelse mot tæring er begrenset. Alle AC-rør med $D \leq 300$ mm importert fra England er beskyttet både utvendig og innvendig ("bitumen dipping") mot tæring. Basert på importstatistikken (PN 12) utgjør de engelske rørene ca. 8 % av totalen. Dansk Eternit fabrikk opplyser at anslagsvis 5 % av rørene levert til Norge er med innvendig/utvendig (inertol/bitumen) beskyttelse. Forutsatt at samme prosentvise andel av tyske og belgiske

rør er levert med beskyttelsesbelegg, er trolig i underkant av 15 % av rørene levert med beskyttelsesbelegg fra fabrikk. For flere vannverks vedkommende er beskyttelsesbelegg påført lokalt (eks. Eidsvoll, Sola). Det foreligger ikke statistikk over omfanget nasjonalt.

Med utgangspunkt i totalimporten (PN 12) av AC-trykkrør for perioden 1955 - 1977, som inkluderer rør til drikkevannsforsyning, pumpeledninger for kloakk, vanningsanlegg og søyler (forskaling i bygg), er AC-nettet alderssammensetning vurdert og vist i tabell 1.

Tabell 1. AC-nettets aldersfordeling i Norge.

Leggeår	Gj.sn. alder	% av totalen for perioden
Før 1955		*)- (17)
1955 - 1959	30	8,3 (26)
1960 - 1965	25	27,5 (18)
1965 - 1969	20	37,8 (30)
1970 - 1974	15	20,9 (9)
1975 - 1977	10	5,5

*) Fremgår ikke av statistikken.

Tallene i parantes er hentet fra SIFF undersøkelsen i 1982 (PN 9) og representerer den prosentvise andel av vannverkene som svarte at de hadde spesielle problemer med AC-nettet. Som det fremgår representerer disse den eldre delen av AC-nettet.

Anslagsvis 80 % av AC-nettet i Norge er vannherdet (jfr. PN 5, kap. 6). Det er bare danske rør produsert etter 1963 som er autoklavherdet.

7. Innsamling og undersøkelse av rørprøver

Det er redegjort for samarbeidsprosjektet mellom NIVA og noen utvalgte kommuner i PN 15. Oversikt over de 11 deltakende kommuner med noen nøkkeldata fra de enkelte vannverk er vist i tabell 2.

Kommunene som deltar i prosjektet er i utgangspunktet plukket ut fra en liste med "problemkommuner". AC-nettet i kommunene som deltar representerer ca. 10 % av det totale AC-nettet i Norge. Rørprøvene som undersøkes har tilsvarende dimensjons- og aldersfordeling som landsgjennomsnittet.

Tilsammen er det gravd opp rørprøver fra 38 forskjellige lokaliteter tilsvarende ca. 200 enkeltprøver.

Samtlige råvannskilder som er med i undersøkelsen kan betegnes etter vanlige vannkvalitetskriterier som sterkt aggressive. Det foreligger også rørprøver fra lokaliteter langt ute på nettet (nær "dead ends") der vannkvaliteten, basert på vannprøver tatt i 1986, ikke er aggressiv.

Pr. 15.05.87 er ca. 90 % av alle rørprøvene styrketestet. Videre er det utført dimensjonskontroll, hardhetsmåling (utvendig/innvendig), bedømming av tæringsdyp (visuelt/fenofalin) og porositestmåling av rørprøvene.

Tabell 2. Oversikt over deltakende kommuner med noen nøkkeltall for hvert vannverk.

KOMMUNE	Defolk. tilkn. vannv.	AC-rør			Ant. lokaliteter	L.I. ¹⁾	Vannkilde og vannbehandling ²⁾
		Tot. (km)	Andel %	Korr.besk. (km)			
1 Strand	7 000	20	33	-	2	-4,4	Asvann 1960-1985. Ny kilde fra 1985. Ingen vannbehandling. L.I. målt i 1982 (Asvann).
2 Eidsberg	5 700	51	49	13(innv)	3	-1,0	En vannkilde. Fullrensing + alkalisering hele tiden. (Aluminiumsulfat + kalk). CO ₂ forsøk 09.87 - 06.84.
3 Andøy	5 000	47	72	0	1	-3,9	En vannkilde. Ingen vannbehandling. LI. målt i 1983.
4 Sandefjord	35 000	22	8	11(innv, utv)	7	-2,8	Lokal vannkilde fra 1960. Farrisvann fra 1968. Alkalisering med kalk. LI. målt i 1983.
5 Eidsvoll	6 000	40	50	noe	4	-3,0	En vannkilde. Ingen vannbehandling.
6 Klepp	9 300	50	36	0	5		Langevann fram til 1984. Hagavann ny kilde
7 Time	9 000	25	18	noe	2		Asvann fram til 1981. Langevann 1981-84. Hagavann ny vannkilde.
8 Hå	9 000	20	18	0	2		Vannavann fram til 1976. Langevann 1976-84. Hagavann ny kilde.
9 Sola	14 300	52	45	40(innv)	4	-3,8	Langevann fra 1960.
10 Stavanger	90 000	12	2	0	4	-1,5	Langevann fra 1960.
11 Randaberg	7 000	26	51	0	2	-2,5/+1,9	Langevann fra 1960.
12 Time	600	12	80	0	2	-1,3	En vannkilde (Undheim v.v.). Ingen vannbehandling.
SUM	197 900	377	42		38		

1) L.I. = Langllers indeks. Basert på vannprøver tatt i 1986 dersom ikke annet er nevnt under "Vannkilde og vannbehandling".
 2) Siling og desinfisering er ført opp som "ingen vannbehandling".

Strukturundersøkelse av tynnslip (polarisasjonsmikroskopi/fluorescensmikroskopi) har blitt utført på fire rørprøver fra Sandefjord. De fire rørprøvene er samtlige autoklavherdet. Resultatene viser at metoden ikke er egnet for denne type rør. Tidligere undersøkelser (K. Eriksen, 1984) viser at metoden er godt egnet for vannherdede rør.

Testresultatene er foreløpig ikke systematisk analysert, men viser:

- Samtlige rørprøver har utvendig tæringsangrep. Tæringsangrepet er uregelmessig i karakter.
- Utvendig tæringsangrep (målt som maksimalverdi) tilsvarer innvendig tæring i størrelsesorden (sum tæringsdyp av alle rørprøver delt på antall rørprøver).
- Gjennomsnittlig innvendig tæringshastighet for rørprøvene er ca. 0,15 mm/år.
- Det er påvist en klar sammenheng mellom tæringsdyp/hardhet, porøsitet/knustest og porøsitet/sprengtrykk.

8. Videre fremdrift

Styrketesting av rørprøver må tilpasses den øvrige produksjonen ved TA-Esco A/S. Bedriften regner med å være ferdig med testingen i løpet av mai måned.

Det er behov for en direkte metode for måling av tæringsangrep ettersom verken metodene med dreining av 0,5 μ m dype snitt for kalsiumbestemmelse eller strukturanalyse av tynnslip er aktuelle. I denne sammenheng har en fått et foreløpig tilbud fra Water Research Center (WRC), England, basert på elektron mikroskopiering av rørveggverrsnittet. Innholdet av Ca, Al, Mg, Si og Fe for hver 50 μ m kan bestemmes for en pris på under kr. 1 500 pr. rørprøve.

WRC gjennomfører nær tilsvarende AC-prosjekt som i Norge. Prosjektet pågår i 3 år og avsluttes i 1987. Budsjetttrammehær på 2 mill. kr.

Resultatene fra styrketestene, hardhetsmålingene, porøsitysmålingene, måling av tæringsdyp med fenofalin (karbonatiseringsdyp) sammenholdt med øvrige data (vannkvalitet, ledningsalder, osv.) vil danne basis for eventuelt hvilke rørprøver som bør sendes til WRC for undersøkelse og hvilke rørprøver der innvendig belegg bør undersøkes nærmere.

I forbindelse med prosjektets tiltaksdel la prosjektleder følgende forslag frem for rådgivende gruppe på møtet 01.06.87:

"Tiltaksdelen av prosjektet vil naturlig kunne deles opp i to hoveddeler; endring av vannkvaliteten/vannbehandling og rehabilitering/-tiltak på selve ledningsnett. Arbeidet vil bestå av en tilrettelegging av det man idag vet for presentasjon i veilederen.

Når det gjelder vannbehandlingsdelen arbeider NIVA for tiden med flere prosjekter som har direkte tilknytning til problemområdet. I tillegg vil erfaringer fra alkaliseringsprosjektet (NTNF-finansiert) og eventuelt det pågående tiltaksorienterte AC-prosjektet i Namsos kommune (NTNF-finansiert) danne basis for vannbehandlingsdelen.

Endring av vannkvaliteten vil kunne redusere/stoppe den innvendige tæringsprosessen. Nedbrytning av AC-røret fra utsiden vil, der dette er et problem, derimot fortsette, og tiltak på selve rørledningsnett er nødvendig. Rehabilitering av vannledninger er foreløpig lite praktisert i Norge. Internasjonalt er rehabilitering blitt utført i en årrekke. Nye metoder er under stadig utvikling og utprøving.

I PTV 25 er informasjon om ulike rehabiliteringsmetoder samlet. Rapporten går ikke spesielt inn på rehabilitering av AC-ledninger. For rehabiliteringsdelen i delprosjektet er det behov for å samle erfaringer og informasjon om metoder som er spesielt egnet for rehabilitering av AC-rør. Til dette arbeidet vil det være naturlig å trekke inn ekspertise utenfor NIVA.

I tillegg til en presentasjon av aktuelle prosesser og metoder bør tiltaksdelen også omfatte investerings- og driftskostnader for disse.

Arbeidet med prosjektets tiltaksdel vil kunne gjøres i løpet av høsten 1987."

På nevnte møte ble det bestemt at prosjektets tiltaksdel som foreslått (og inkludert i tidligere planforslag) skal utgå, og prosjektarbeidet i 1987 fokuseres på "tiltaks- og levetidsdelen".

STANDS

Utkast til prosjektrapport nr. 2 ("Tilstandsvurdering og beregning av restlevetiden for AC-nettet") og utkast til veiledningen (ekstrakt av prosjektrapport nr. 1 og nr. 2 presentert lett tilgjengelig for brukeren) legges frem for rådgivende gruppe på møte 20.10.87.

Det arrangeres tema-dag om Levetid for AC-rør (f.eks. i regi av Vannforeningen) i november/desember 1987. Ed White (WRC) inviteres til å delta. Deltakende kommuner i samarbeidsprosjektet samt noen utvalgte ressurspersoner inviteres spesielt til å delta. Utkast til veiledningen sendes ut på forhånd.

Samarbeidsprosjektet med kommunene inkluderer en tilstandsvurdering av de innsendte rørprøver. En regner med at rapportering til kommunen vil skje i oktober.

9. Litteratur

R.M. Aamodt, 1986: Asbestementledninger i norsk drikkevannsforsyning - den totale mengde. Miljøverndepartementets Ressursavdelingen, august 1986.

K. Eriksen, 1984: Asktjern/Blaker Fellesvannverk. Undersøkelse av asbest-cement rør. Teknologisk Institut, Byggeteknik, Sag nr. 251.4318.

LEVETID FOR ASBESTSEMENT-RØR

Del 2. Generelle grunnlagsdata

0-85208
LEVETID FOR ASBESTSEMENTRØR
Prosjektnotat nr. 3

AAB/KDY
1.4.87

VANNETS HARDHET, AGGRESSIVITET, KJEMISK LIKEVEKT OG INDEKSER FOR LIKEVEKT.

1. Hardhet

Begrepet hardhet brukt om vann har med vannets forhold til såpe å gjøre. Innhold av kalsium og magnesium i vannet reagerer med såpe og danner tungtløselige metallsåper. Det gjør at såpen ikke skummer så lett, og vannet virker "hardt". Jo høyere innholdet av kalsium og magnesium er, desto mer såpe skal til for å oppnå skumming, og jo "hardere" sier man vannet er. Tidligere var det alminnelig å bestemme hardheten i vann ved titrering. Man fikk da angitt direkte summen av kalsium, magnesium og eventuelt andre metallioner som danner tungtløselige metallsåper. Ved de fleste laboratorier i våre dager bestemmes alle stoffer i vann hver for seg, og hardheten må da beregnes. Vannets hardhet oppgis vanligvis som konsentrasjonen av kalsium- og magnesiumioner i vannet, selv om man ikke kan utelukke at andre metaller, f.eks. aluminium, jern, mangan og sink også er hardhetsdannede komponenter, gir disse et meget lite bidrag i forhold til kalsium og magnesium.

Hardhet er definert på ulike måter. En tysk hardhetsgrad ($^{\circ}\text{dH}$) er for eksempel definert som den mengde metallioner som har samme virkning ved titrering i 1 liter vann som 10 mg CaO. Tabell 1 gir en oversikt over ulike definisjoner på en hardhetsgrad.

Tabell 1. Definisjon av en hardhetsgrad (Vik, 1983).

Ekvivalent Mengde	Symbol	Definert av	Definisjonen brukes også
10 mg/l CaO	$^{\circ}\text{dH}$	Tyskland	Norge, Sverige, Finland, Polen, Tjekkosllovakia
11 mg/l CaCO ₃	$^{\circ}\text{C}$ (clark grad)	England	
10 mg/l CaCO ₃	$^{\circ}\text{F}$	Frankrike	Sveits, Hellas, Romania
1 mg/l CaCO ₃	$^{\circ}\text{US}$ og $^{\circ}\text{UK}$	USA	
1 mg/l Ca	$^{\circ}\text{R}$	Russland	

Internasjonalt er det vanlig å klassifisere vann etter følgende skala:

mg CaO/l	Klassifisering
0 - 40	meget bløtt
40 - 80	bløtt
80 - 120	svakt hardt
120 - 180	moderat hardt
180 - 300	hardt
over 300	meget hardt

I Sverige foreslås følgende klassifisering (Hedberg, 1981):

0 - 2 °dH	meget bløtt
2 - 5 °dH	bløtt
5 - 10 °dH	moderat hardt
10 - 20 °dH	hardt
> 20 °dH	meget hardt

Omregningsfaktorer mellom de mest vanlige hardhetsenhetene er vist i tabell 2.

Tabell 2. Omregningsfaktor mellom hardhetsgrader brukt i ulike land. (Vik, 1983)

	Fransk grad (°F)	Tysk grad (°dH)	Clark grad (°C)	°US og (°UK)	Russisk grad (°R)	mekv/l
1 Fransk grad (°F)	1,00	0,56	0,70	10	4,0	0,20
1 Tysk grad (°dH)	1,78	1,00	1,25	17,8	7,2	0,36
1 Clark grad (°C) UK	1,43	0,80	1,00	14,3	5,7	0,29
1 ppm CaCO ₃ = 1 °US/UK	0,10	0,056	0,07	1,0	0,4	0,02
1 Russisk grad (°R)	0,25	0,14	0,18	2,5	1,0	0,00
1 mekv/l	5,0	2,80	3,5	50,0	20,0	1,0

1 ppm = 1 part per million = 1 milligram per liter.

Overflatevannet i Norge er stort sett meget bløtt. Tabell 3 viser hardheten for vann fra noen større norske vannverk. Ca's og Mg's relative bidrag til vannets hardhet (Ca og Mg hardhet) er også vist i tabellen. Beregning av hardheten i °dH er vist for vann fra Oslo:

Kalsium og magnesium omregnes til ekvivalenter CaO på følgende måte:

$$\text{Ca: } \frac{3,9 \cdot 56}{40} = 5,46 \text{ mg/L CaO}$$

$$\text{Mg: } \frac{0,7 \cdot 56}{24,3} = 1,61 \text{ mg/L CaO}$$

Ca-innholdet i vannet bidrar med $\left(\frac{5,46}{5,46 + 1,61}\right)$, 77 % av hardheten.

$$\text{Hardheten (}^\circ\text{dH)} = \frac{5,46 + 1,61}{10} = 0,7$$

I enkelte sammenhenger oppgis hardheten som kalsiumhardhet. Hardheten er da bare basert på innholdet av kalsiumioner. Kalsiumhardheten for Oslo-vann er $\left(\frac{5,46}{10}\right)$ 0,546 °dH. Tilsvarende er magnesiumhardheten 0,161 °dH.

Tabell 3. Hardhet i vannet (overflatevann) ved noen større norske vannverk. (Kristiansen, 1979)

	Ca mg/l	Mg mg/l	Ca %	dH
Oslo	3,9	0,7	77	0,7
Trondheim	6,4	0,9	81	1,1
Stavanger	7,5	0,6	88	1,2
Drammen	2,2	0,4	77	0,4
Byer ved Mjøsa	5,0	0,6	83	0,8
Byer i Vestfold	4,3	0,7	79	0,8
Porsgrunn	5,8	1,0	78	1,0
Skien	4,2	0,3	90	0,7

Tabell 4 oppgir hardheten og pH fra vannverk i de ulike fylkene i Norge.

Tabell 4. Hardhet og pH i vann fra vannverk - fylkesvis (Kristiansen, 1979).

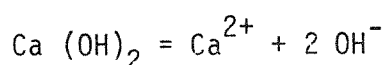
Fylke	Antall vannverk	Kalsiumhardhet (°dH)			pH	
		snitt	min.	max.	min.	max.
Finmark	8	0,73	0,04	1,80	5,7	7,0
Troms	65	1,86	<0,1	8,40	5,8	8,4
Nordland	24	0,66	<0,1	1,37	5,6	7,8
Nord-Trøndelag	14	1,18	0,22	7,86	5,8	9,9
Sør-Trøndelag	10	1,21	0,40	2,80	6,5	7,8
Møre og Romsdal	15	0,56	0,10	1,68	5,5	8,7
Sogn og Fjordane	13	0,50	0,04	1,70	5,3	7,4
Hordaland	20	0,24	0,04	1,20	4,9	7,5
Rogaland	24	0,29	0,04	1,06	4,9	7,5
Vest-Agder	5	0,68	0,22	1,96	4,6	7,5
Aust-Agder	6	0,17	0,14	0,28	5,3	7,8
Telemark	9	0,46	0,12	0,82	5,5	7,3
Vestfold	10	0,69	0,06	2,38	5,3	8,8
Buskerud	14	1,05	0,30	3,50	6,1	7,9
Akershus m/ Oslo	27	0,91	<0,14	7,00	5,0	7,8
Østfold	10	0,68	0,42	1,40	6,4	8,8
Hedmark	8	1,93	0,63	6,02	6,2	8,6
Oppland	7	0,37	0,04	0,91	6,1	7,7

2. Aggressivitet

Korrosivitet er den generelle betegnelse på den nedbrytningsprosess et materiale er utsatt for. Aggressivitet defineres som vannets evne til å løse opp kalsiumkarbonat (CaCO_3). Aggressivt vann tærer på AC-rør ved at det løser opp kalsiumkarbonat avsatt på rørveggen.

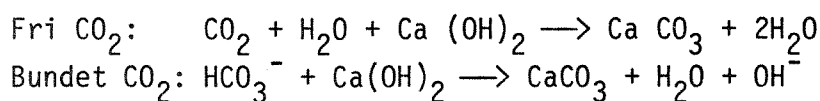
For forståelsen av vannets aggressivitet må man kjenne teorien for likevekten mellom uløst og løst kalsiumkarbonat i vann som inneholder karbondioksyd.

Ved herding av AC-rør i vann reagerer sementmineralene (f.eks. trikalsiumsilikat) med vann, og det dannes hydratkalk/fri kalk ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) som ett av produktene. Overskuddet av vann som er tilsatt, danner porevann i materialet. Noe av hydratkalken løses slik at porevannet blir mettet med kalsiumhydroksyd:

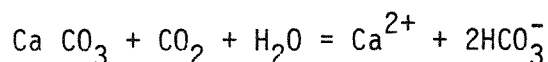


Konsentrasjonen av kalsium og karbondioksyd i overflatevann her i landet er i de aller fleste tilfeller meget lav og langt fra det som kreves for utfelling av kalsiumkarbonat (CaCO_3). Når det er kalsiumsunderskudd i vannet, vil kalsiumionene i porevannet diffundere ut fra rørmaterialet. Likevekten i det kalkmettede porevannet, blir forstyrret, mer kalsium løses ut og rørmaterialet brytes ned.

Dersom vannet inneholder karbondioksyd skjer det en reaksjon med hydratkalken og det dannes kalsiumkarbonat:



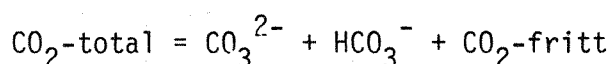
Vi sier at det skjer en karbonatisering som innebærer at det danner seg et belegg med kalsiumkarbonat på røroverflaten. Karbonatiseringa vil være bestandig bare dersom løst kalsium (Ca^{2+}) og hydrogenkarbonat (HCO_3^-) i vannet er i likevekt med kalsiumkarbonaten som er dannet. Ellers, dvs. når vannet er aggressivt, vil fri karbondioksyd reagere med kalsiumkarbonaten, og løse belegget, etter følgende ligning:



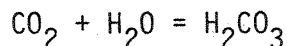
Løst kalsium blir på denne måten tilført vannstrømmen i røret. Prosessen med omdanning av sementen til fri kalk, reaksjonen med karbondioksyd til kalsiumkarbonat og dernest utløsning av kalsium, vil pågå kontinuerlig i aggressivt vann og rørmaterialet tæres.

3. Beregning av likevekt

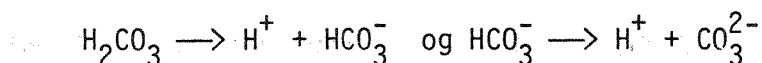
Når karbondioksyd løses i vann dannes bundet og fri karbondioksyd i et mengdeforhold som er pH-avhengig. Bundet karbondioksyd inkluderer karbonat og hydrogenkarbonat. Det totale karbondioksyd innholdet er summen av bundet og fri karbondioksyd:



Av det frie karbondioksydet reagerer bare en liten del med vann og danner karbonsyre etter likningen:



Karbonsyren (H_2CO_3) avspalter hydrogenioner i to trinn og følgende likevekter innstilles:



Karbonsyrens form i vann er avhengig av vannets pH-verdi. Nøytralisasjonskurven for karbonsyre er vist i figur 1.

Kalsiuminnhold for mettet løsning av kalsiumkarbonat som funksjon av temperatur ved forskjellige pH-verdier, er vist i figur 2. Det fremgår at vann som er mettet med kalsium ved en viss temperatur og pH, blir aggressivt ved avkjøling og overmettet (kalsium felles ut) ved oppvarming.

Likevekten mellom løst kalsium, karbondioksyd og kalsiumkarbonat er pH- og temperaturavhengig. I likevektsberegningene inngår de termodynamiske konstanter for karbonsyrens to dissosiasjonstrinn, vannets dissosiasjon og kalsiumkarbonatens løslighetsprodukt. Alle konstanter må gjelde for den temperatur likevekten skal beregnes og være korrigert for den ionestyrke vannet har. For likevektsberegning av en bestemt vannkvalitet er det behov for analysedata for følgende parametre; pH, kalsium, magnesium, natrium og kalium av positive ioner og hydrogenkarbonat, klorid og sulfat av negative. Kristiansen har redegjort for beregningsmåten i eget notat (Kristiansen, 1983).

Likevektsberegning er utført for Oslo vann og resultatet presentert i fig. 3 (Kristiansen, 1984). pH-verdien for de forskjellige utregnede likevekter er angitt på kurver der det totale karbondioksydinnhold som funksjon av kalsium innholdet er framstilt. Kurven beskriver et vann med meget lav ionestyrke og ekvivalente mengder kalsium og hydrogenkarbonat.

Kurven har en horisontal del som ikke faller sammen med x-aksen. Etter hvert som denne delen av kurven nærmer seg y-aksen bøyer den skarpt av fra x-aksen og stiger langs en linje med vinkel koeffisient + 2. Ved høye konsentrasjoner (lav pH) bøyer kurven av til venstre for linjen.

For vanntyper med ekvivalente mengder kalsium og total karbondioksyd vil linjen alltid gå gjennom origo. For vann med overskudd av kalsium vil linjen gå til høyre for origo, og for vann med overskudd av total karbondioksyd i forhold til kalsium vil linjen gå til venstre for origo.

4. Indekser for likevekt

En rekke forsøk er gjort for å finne fram til en enkel metode for å bestemme aggressiviteten. Ikke ved noen anledning har man imidlertid lyktes i å komme fram til en tilfredsstillende formel eller indeks som er dekkende for alle vannkvaliteter.

Rossum and Merrill (1983) har vurdert seks ulike indekser som er i bruk for å bestemme om vannet er aggressivt, i likevekt eller feller ut kalsiumkarbonat. Ved beregning av samtlige seks indekser forutsettes det at kun følgende forbindelser/ioner er reaktive; H_2O , H^+ , OH^- , CO_2 , H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} og Ca^{2+} . Andre ioner (f.eks. jern mangan, sulfat og fosfat) forutsettes å være i så små konsentrasjoner at de ikke vil ha innvirkning på likevektsystemet. Eventuelle effekter av ionepar (f. eks. $CaHCO_3^-$ og $CaCO_3$) er ikke vurdert.

Følgende indekser ble vurdert:

Langelier Index	(LI)
Aggressivitets Index	(AI)
Ryznar Index	(RI)
Driving Force Index	(DFI)
Momentary Excess	(ME)
Calcium Carbonate Precipitation Potential	(CCPP)

Figur 4 viser beregnede verdier for de ulike indeksene for en bestemt vannkvalitet ved $25^{\circ}C$ i pH-området 7,0-12,0.

Rossum and Merrill konkluderer med:

CCPP er den indeksen som er best egnet til å indikere utfelling/utløsning av $CaCO_3$ og reaksjonshastigheten.

DFI og ME gir en tilfredstillende indikasjon på om vannet er umettet, mettet eller overmettet med hensyn til CaCO_3 .

LI, RI og AI er lite egnet til vurdering av metningsgraden.

Langliers metningsindeks (LI) er kanskje den mest kjente av indeksene og defineres som:

$$LI = pH - pH_s$$

Der pH er vannets aktuelle målte pH-verdi og pH_s er metnings pH for vannet med de aktuelle (målte) kalsium- og alkalitetsverdiene. Ved negative LI-verdier er løsningen umettet og ved positive LI-verdier er løsningen overmettet. Løsningen er mettet og i karbonatlikevekt når LI er null. Nomogram for beregning av LI er presentert i figur 5.

Aggressivitetsindeksen (AI) ble innført i USA (AWWA, 1977) for å bestemme vannets aggressivitet overfor AC-rør. AI bygger på en forenkling av Langliers metningsindeks og defineres slik:

$$AI = pH + \log (KA)$$

K = kalsiuminnholdet i $\text{mg CaCO}_3/\text{l}$

A = alkalitet i $\text{mg CaCO}_3/\text{l}$

Vannet bedømmes etter følgende skala:

$AI \leq 10$	meget aggressivt
$10,1 < AI < 11,9$	moderat aggressivt
$AI \geq 12$	ikke aggressivt

Uttrykket for AI er basert på en vanntemperatur på ca 14°C og en ionestyrke på 0,01 for likvektskonstantene i Langliers metode. Dette innebærer at AI allerede i utgangspunktet er upålitelig ved vurdering av vannets aggressivitet.

Av uttrykket for AI framgår det direkte at en vanntype med svært lav alkalitet ikke nødvendigvis er aggressiv. Bare vannets pH er tilstrekkelig høy, vil AI kunne være større enn 12. Figur 3 viser at dette ikke kan være tilfelle; vanntype A med CO_2 -total = 4 mg/l vil f.eks. aldri komme i karbonatlikevekt uansett pH og kalsiuminnhold. Det er også påvist ved en rekke undersøkelser at vannkvaliteter med $\text{AI} \geq 12$ kan være aggressive (Kristiansen 1981, Kanavek et al. 1981, Skipperud Johansen et al. 1984).

Schoch and Buelow (1981) hevder at konstanten for løslighetsproduktet (K_s) som er benyttet ved beregning av LI (og AI), er feil og da spesielt for temperatur området 0 - 15 °C. De mener at årsaken trolig er at det ikke er tatt hensyn til "ion-pairing" ved beregning av K_s . Muligheten for at en "metastabil fase" av CaCO_3 med betydelig høyere løslighet enn CaCO_3 felles ut før CaCO_3 antydes også. Schoch and Buelow (1981) nevner bl.a. undersøkelser der aragonitt med større løslighet enn kalsitt felles ut sammen med kalsitt (mixed precipitates) og at aragonitt relativt kalsitt stabiliseres av Mg^{2+} , Sr^{2+} , "trace levels" av Zn^{2+} og av noen organiske materialer.

Ved vurdering av tæring på AC-rør har det i mangel av andre enkle indekser vært knyttet stor tillit til AI. Som en følge av dette har det vært vanlig ved undersøkelser og/eller ved rapportering av korrosjonsundersøkelser på sementbaserte rør å fokusere på pH, alkalitet og kalsiuminnhold. En vurdering av vannkvalitetens betydning på AC-tæring forutsetter analysing av et bredt spekter av vannkvalitetsparametre. Tidligere undersøkelser vil derfor p.g.a. manglende data ofte være til liten nytte.

LITTERATUR

Vik E.A. (1983): Alkalisering av drikkevann. Undersøkelse av noen vannverk. Delrapport 1. NIVA F-82441. Drikkevannsrapport 1/83.

Hedberg T (1981): Kildeanvisning i Vik E.A. 1983 side 21. Kildeanvisningen er mangelfull.

Kristiansen H (1979): Corrosion on asbestos cement pipes. Vatten 1, 53 - 61, 1977.

Kristiansen H (1985): Beregning av likevektsforhold i vann. NIVA-notat av 9. nov. 1983.

Kristiansen H (1984): Problemer med asbestsement rør. Ingeniør Nytt nr. 47, 12. juni 1984.

Rossum et al. (1983): Rossum J. R. and Merrill D. T. An evaluation of the Calcium carbonate saturation indexes. Jour. AWWA 75, 2, 95.

AWWA (1977): AWWA Standard for Asbestos Cement Pressure pipe 4 m through 24 in for Water and often Aquids. AWWA C-400-77, Denver, Colorado.

Schock and Buelow (1981): Schock, M.R. and Buelow, R.W.; The behavior of asbestos-cement pipe under various water quality conditions. Part 2, theoretical considerations. Jour. AWWA, 73 : 636.

Kristiansen H (1981 A): Asbestfiber i drikkevann. Utløsning fra asbestsementrør. NIVA OF-81619-10. Drikkevannsrapport 2/81.

Konarch et al (1981): Kanerek M.S., Confort i P.M. and Jackson L.A.; Chrysotil Asbestos Fibers in Drinking Water from Asbestos Cement Pipe. Environmental Sci. & Tech. 15:8:923 (august 1981).

Skipperud Johansen et al. (1984): Skipperud Johansen E, Johansen B.V. og Kristiansen H: Undersøkelse av vannets virkning på asbestsementrør og forekomst av asbestfiber i drikkevann for syv kommuner tilknyttet IVAR vannverket. SIFF-rapport, SK 7/83.

Kristiansen H. (1981 B): Korrosjon og korrosjonsbekjempelse i Sanitæranlegg. NIVA Temahefte 5, September 1981.

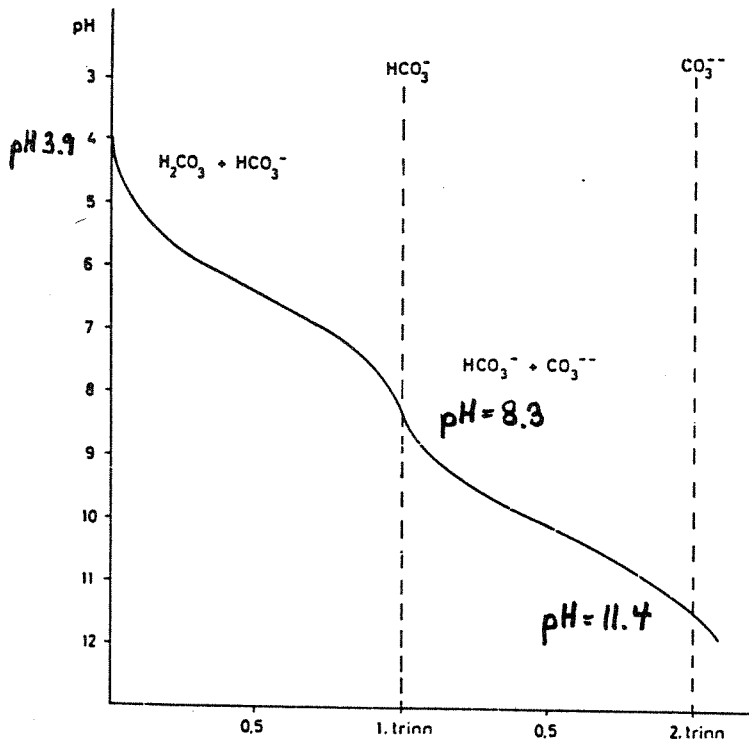


Fig. 1. Nøytralisasjonskurve for karbonsyre.

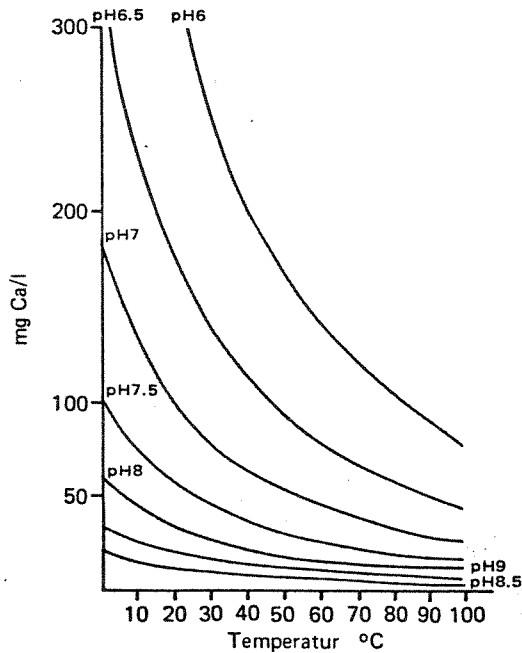


Fig. 2. Kalsiuminnhold ved mettet løsning av CaCO_3 som funksjon av temperatur ved forskjellige pH-verdier.

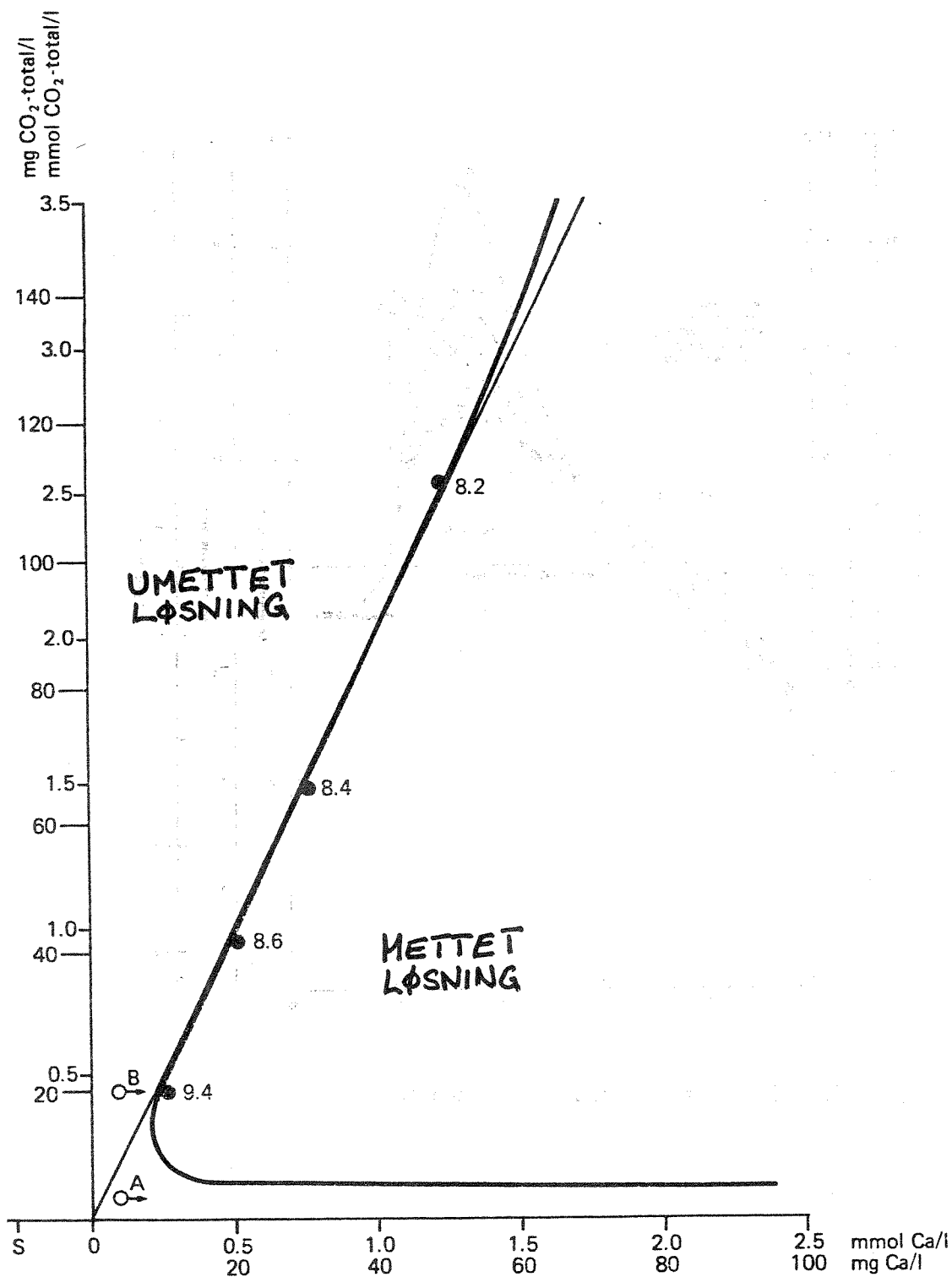


Fig. 3. Kalsium innholdet som funksjon av CO₂-total (Maridalssvann).

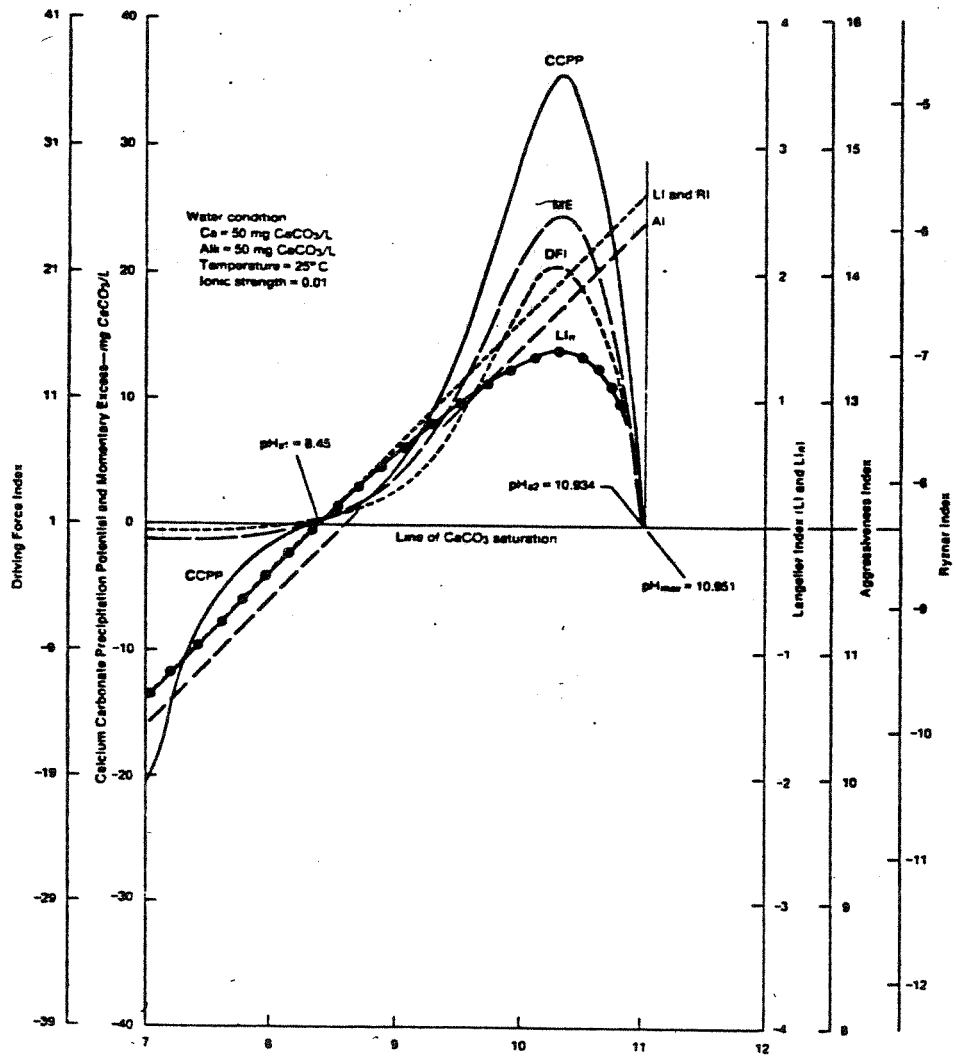
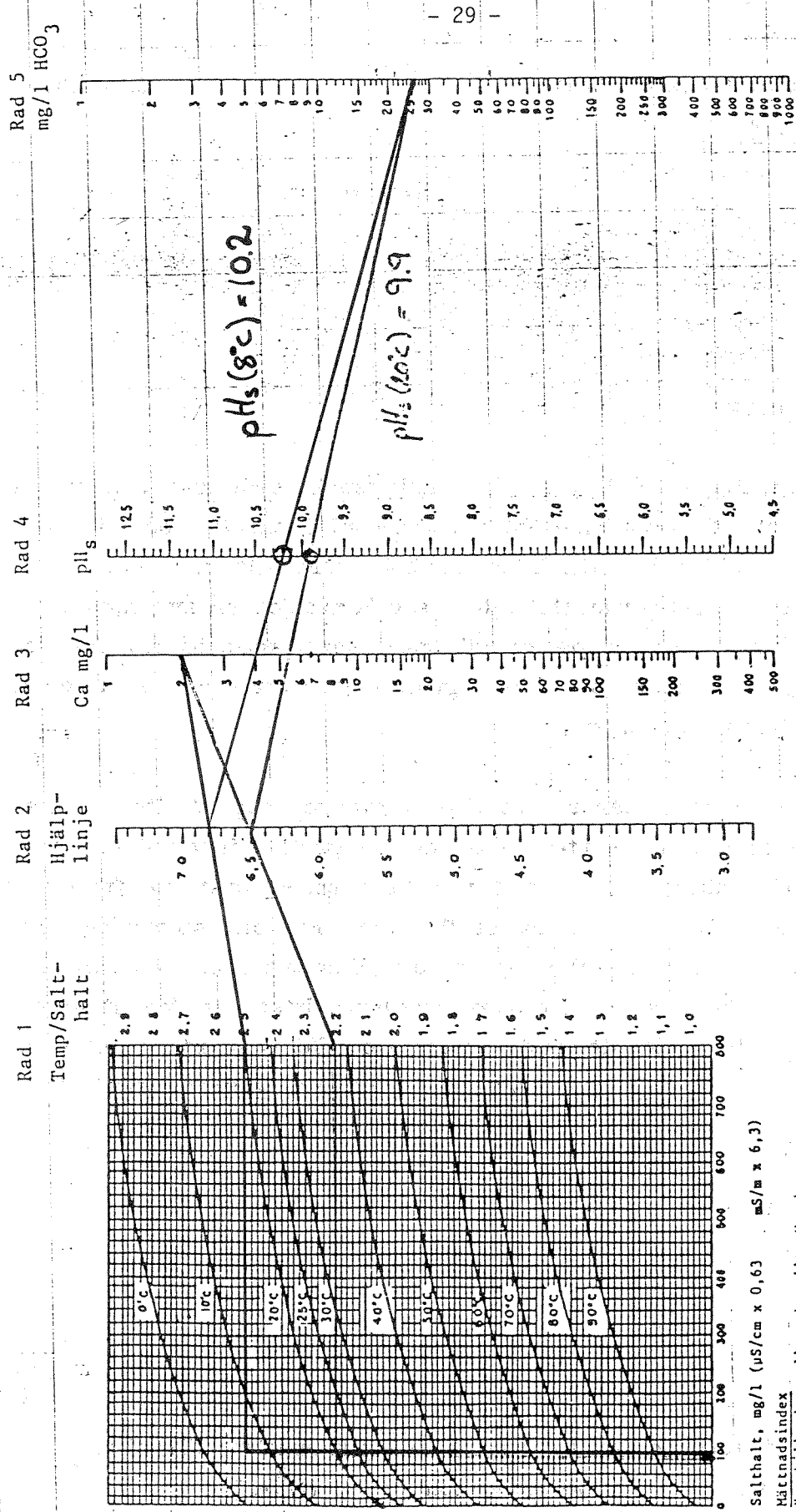


Fig. 4. "Metningsindekser" versus pH.

NOMOGRAM, enligt Mr Ch. Hoover för bestämning av mättnads-pH enligt Langliers formel
(anpassad till svenska analyser av L. Åreson, VBB, Stockholm)



Användning av nomogrammet

1. Gå lodrätt från salthalt till aktuell temperatur
2. Gå vängrikt till Rad 1
3. Drag en rak linje från värdet i Rad 1 till Ca-halt i Rad 3
4. Notera värdet på hjälplinjen Rad 2
5. Drag en linje från denna punkt på Rad 2 till HCO₃-halt i Rad 5
6. Skärning med Rad 4 anger pH_s

Salthalt, mg/l (µS/cm x 0,63 mS/m x 6,3)

Mättnadsindex är skillnaden mellan aktuellt pH och mättnads-pH; (pH_s)

positivt värde = kalkfällande vatten
negativt värde = korrositivt vatten

ÖNSKVÄRDE

- 1) Alkalitet, mg/l HCO₃
- 2) Kalcium, mg/l Ca (ej tot hårdhet)
- 3) Salthalt (ev. ledn förmåga vid 25°C)
- 4) Temperatur för vilken pH_s önskas

Exempel	Aktuellt pH	Mättnads-pH	Mättnadsindex
	7,6	8,1	-0,5 (korrositivt)
	8,4	7,8	+0,6 (kalk-fällande)

Fig. 5. Langliers indeks.

O-85208

AAB/GUM

LEVETID FOR ASBESTSEMENTRØR

05.03.87

Prosjektnotat nr. 4

B E R E G N I N G A V J O R D T R Y K K

Stive og fleksible rør

Nedgravde rør påvirkes av krefter fra omliggende jordmasser. Rørtverrsnittet vil forandre form. Denne formendring vil i sin tur påvirke jordtrykket. Ved likevekt vil jordtrykket påvirke røret på en bestemt måte som vil variere over rørtverrsnittet. Rørets deformasjon er avhengig av en rekke faktorer; leggedyp, type omfyllingsmasser, komprimeringsgraden, type masser i grøftas bunn og sider, grøftas geometri, rørets dimensjoner, styrken, elastisiteten m.m.

Vi sier at et rør er stivt når tverrsnittet forandrer seg så lite ved maksimal belastning at det induerte sidetrykk fra jorda blir av liten betydning. Tillatt belastning på et stivt rør bestemmes først og fremst av rørets egen styrke. Deformasjon av et fleksibelt rør blir større og tillatt belastning på røret er mer avhengig av omfyllingsmassene. For fleksible rør er jordtrykket jevnere fordelt over rørtverrsnittet enn for stive rør. Belastnings- og deformasjonsforhold for stive og fleksible rør er illustrert i figur 1. Betongrør er typisk eksempel på stivt rør og tynnvegget stålrør på fleksibelt rør.

Et rørs stivhet er definert som:

$$S = \frac{E I}{D_y} \quad (\text{KN/m}^2)$$

hvor

E = elastisitetsmodulen (Young's) til rørmaterialet (KN/m^2).

I = Rørets/veggenes treghetsmoment pr. m (m^3)

D_y = Rørets utvendige diameter (m).

$I = \frac{r^3}{12}$ pr. m. for rør (r er veggtykkelsen)

Relativ stivhet mellom omfyllingsmassene og røret

Jordtrykkets fordeling over rørtverrsnittet er bestemt av forholdet mellom jordas stivhet og rørets stivhet. To typiske lastfordelinger er vist i figur 2; a) jordtrykket over røret når røret er stivere enn massene rundt og b) jordtrykket når massene rundt er stivere enn røret. Den relative stivhet er gitt ved ligningen:

$$Y = \frac{E_s}{S}$$

hvor E_s = Elastisitetsmodulen (Young's) til omfyllingsmassene (KN/m^2)

Gumbel et al. (1982) har vist at for Y mindre enn 10 som innebærer at rørets stivhet er stor i forhold til omfyllingsmassene, vil over 90 % av belastningen fra jordmassene over røret bæres av røret. For Y mellom 10 og 1 000 reduseres belastningen på røret fra 90 % til 10 %.

Figur 3 (Yong and Trott, 1984) viser variasjonsområde for den relative stivhet for ulike rørmaterialer. Oversikten er basert på diameter/veggtykkelse forhold (D/t) som er vanlig for rørtypen, og jordmasser med elastisitetsmodul varierende i område 1 - 100 MN/m^2 .

Som det framgår av figuren strekker AC-rørene seg fra det stive området (små dimensjoner i løs leire) til det fleksible område (store dimensjoner i godt komprimerte friksjonsmasser).

I gjeldende ISO standard (ISO-2785, 1974) anbefales det å bruke den klassiske teorien til Marston og Spangler for beregning av jordtrykk på stive rør. Undersøkelser utført ved Utah State University (Bar-Shlomo et al., 1978) viser at AC-rør opp til $D = 400$ mm kan betraktes som stive, men at metoden har sine begrensninger for større dimensjoner. Det har vært arbeidet med revisjon av gjeldende standard, og forslag til revidert utgave foreligger (ISO/015 2785, 1984). De viktigste endringene er (Bar - Shlomo, 1983):

ISO-2785 Standard 1975	ISO/DIS 2785 1984
Bare det vertikale jordtrykket er beregnet.	Både vertikalt og horisontalt jordtrykk er beregnet.
Det er ikke tatt hensyn til jordtrykkets fordeling rundt røret.	Det er tatt hensyn til jordtrykkets fordeling ut fra fundamenteringsforhold og jordas/rørets relative stivhet.
Det er ikke tatt hensyn til E-modulen til verken jorda eller røret.	E-modulen til røret, omfyllingsmassene og massene i grøftas sider og vegger spiller en sentral rolle i beregningsmetoden.
Forskjellige formler benyttes, avhengig av leggefórhóldene.	Den samme formelen brukes for alle forhold.

Beregning av jordtrykk på AC-rør

Jordtrykket er avhengig av grøftas geometri. Ved beregning av jordtrykket skiller vi mellom to hovedtyper; rør i grøft og rør i fylling. For rør i grøft vil friksjonen mellom rørveggen og massene i grøfta gjøre at belastningen på røret blir mindre enn vekten av jordsøyla over røret. Jordtrykket beregnes etter "grøfte-teorien". Etter hvert som rørgrøften blir bredere, avtar friksjonskraftens reduserende virkning. For tilstrekkelig brede grøfter kan man se bort fra friksjonskraften, og jordtrykket beregnes etter "fyllingsteorien".

Ved bruk av grønfte-teorien má en av to betingelser være oppfylt (ISO 2785 - 1974):

1. $B \leq 2 D$; $H \geq 1,5B$
2. $2 D < B < 3D$; $H \geq 3,5 B$

Grøft med vertikale sider og grøft med skrå sider er vist i figur 4.

I oppgravd og siden gjenfylt rørgrøft vil fyllmassene over røret som regel sette seg mer enn de urørte masser på siden av grøften. I en grøft med rette sider som vist i figur 5 vil setningen av fyllmassene føre til en opphenging og glidning langs grøftesidene på grunn av friksjon. Ifølge Marstons grøfteteori utøver et element av jord med tykkelse dh i en dybde h fra overflaten en jevnt fordelt belastning på jordlaget under, over bredden B tilsvarende vekten av elementet pluss vekten som overføres fra laget over, minus de vertikale friksjonskreftene ved de to grøftesidene. Det forutsettes at jordas egenvekt og friksjonsvinkel er konstant over dybden H , og at friksjonskraften vil være direkte proporsjonal til grøftemassenes horisontale trykk på grøftesidene. Dette horisontale jordtrykket er lik det vertikale jordtrykket multiplisert med en faktor K . K er Rankines koeffisient for aktivt horisontalt jordtrykk:

$$K = \frac{\sqrt{\tan^2 \phi + 1} - \tan \phi}{\sqrt{\tan^2 \phi + 1} + \tan \phi} = \tan^2 (45^\circ - \phi) = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$$

ϕ er jordas friksjonsvinkel. Ved å sette $\tan \phi = \mu^1$ (friksjonskoeffisienten mellom fyllmassene og grøftas sider) fås når V er belastningen på elementets overside:

$$V + dV = V + \gamma B dh - 2 K \mu^1 \frac{V}{B} dh$$

Ved å løse differensialligningen og sette $h = H$ fås:

$$V = B^2 \gamma \frac{(1 - e^{-2K\mu^1 \frac{H}{B}})}{2 K \mu^1} = C_d B^2 \gamma$$

C_d som er gitt ved uttrykket inne i parantesen er vist som funksjon av $\frac{H}{B}$ forholdet for forskjellige jordtyper i figur 6. Ulike jordtypers egenskaper er vist i tabell 1. ISO 2785/1974 forutsetter at vekten av de overliggende jordmasser bæres i sin helhet av røret (grøfteteorien/stivt rør) og belastningen på røret blir:

$$W_J = C_d B^2 \gamma \text{ (KN/m).}$$

Belastningen på ledningen er ofte en kombinasjon av jordlast og trafikklast. Vanligvis gir denne belastningskombinasjonen et minimum for rørbelastningen ved en overdekning på 1,5 - 2,5 m. Jordlast/trafikklast som funksjon av leggedyp er illustrert i figur 7. Minskes overdekningen, vil trafikklastens påvirkning forsterkes og rørbelastning øker. Øker derimot overdekningen, vil trafikklastens påvirkning avta, men resulterende rørbelastning øker grunnet det økende jordtrykk.

Trafikklasten overføres til rørets topp og bestemmes av ligningen:

$$W_v = p_v D \rho \text{ (KN/m)}$$

der p_v er trykket på rørets topp i KN/m^2 gitt i figur 8 for 7 ulike lastebil klasser, D er rørets utvendige diameter og ρ er en faktor som tar hensyn til støtbelastningen:

$$\rho = 1 + 0,3/H \text{ for gater og motorveier}$$

$$\rho = 1 + 0,6/H \text{ for jernbaner.}$$

Den totale belastningen på rørets topp er summen av jordlast og trafikklast:

$$W_T = W_j + W_v \text{ (KN/m)}$$

Det er vanlig at dimensjonering av stive rør baseres på resultater fra styrketesting av rørprøver framfor å beregne brudd-motstand ut fra teoretiske betraktninger. I standard rørtester for knusing representerer både den vertikale belastningen og reaksjonkreftene linje-laster. Ved samme vertikale belastning vil påkjenningen på rør i bakken være mindre enn under testforhold. Forskjellen vil være avhengig av hvordan røret er fundamentert. Rørets bruddstyrke ved knustesten kan derfor multipliseres med en faktor (fundamenteringskoeffisient) som tilsvarer belastningsreduksjonen i rørveggen p.g.a. lastfordelingen i fundamentet. Fundamenteringskoeffisienten vil også styres av kvaliteten på fundamenteringsarbeidet og da spesielt komprimeringsgraden. Tre aktuelle grøftetyper er vist i figur 9 og tilhørende fundamenteringskoeffisienter er vist i tabell 2.

Sikkerhet mot brudd

De ulike sikkerhetsfaktorene er definert ved følgende ligninger:

$$u = \frac{W}{W_t/k}$$

$$v_d = \frac{W}{W_t/k} \cdot \eta_d$$

$$v_z = \frac{P_2}{P_w} \cdot \eta_z$$

u : Sikkerhetsfaktor mot knusing for et rør utvendig belastet uten innvendig vanntrykk.

v_d : Sikkerhetsfaktor mot knusing ved innvendig vanntrykk P_w og utvendig belastning W_t .

v_z : Sikkerhetsfaktor mot sprenging ved utvendig belastning W_t og indre vanntrykk P_w .

W : Brudd-last ved knustest.

W_t : Utvendig belastning for rør i grøft (jordlast + trafikklast).

P_2 : Rørets brudd-trykk ved test.

P_w : Maksimalt arbeids-trykk.

k : Fundamenteringskoeffisienten.

$$\eta_d = \sqrt{1 - \frac{P_w}{P_2}}$$

$$\eta_z = \left[1 - \left(\frac{W_t}{kW} \right)^2 \right]$$

η_d : Faktor for knusing (mindre enn 1) som tar hensyn til det innvendige vanntrykkets innvirkning på rørets motstand mot utvendig belastning.

η_z : Faktor for sprenging (mindre enn 1) som tar hensyn til den utvendige belastnings innvirkning på rørets motstand mot innvendig vanntrykk.

ISO 2785 - 1974 anbefaler følgende sikkerhetsfaktorer:

175 mm \leq D \leq 200 mm	$v_d = 2,5$	og	$v_z = 3,5$
200 mm \leq D \leq 500 mm	$v_d = 2,5$	og	$v_z = 3,0$
600 mm \leq D \leq 1000 mm	$v_d = 2,5$	og	$v_z = 2,5$

For D \leq 150 mm anbefales bjelketesten. Sikkerhetsfaktoren mot sprenging inkluderer normale trykk-støt i ledningsanlegget.

LITTERATUR

Gumbel et al, 1982; Gumbel, J.E., O'Reilly, M.P., Lake, L.M. and Carder, D.R.: The development of a new design method for buried flexible pipes. Proc. Europe '82. Basle (Access Conferences, London).

Young and Trott, 1984; Young, O.C., Trott, J.J.: Buried Rigid Pipes. Structural Design of Pipelines. Elsevier Applied Sciences Publishers LTD 1984. ISBN O-85334-235-0.

ISO-2785, 1984 (E); Guide to the selection of asbestos-cement pipes subject to external loads with or without internal pressure.

Bar-Shlomo et al., 1978; Bar-Shlomo, S., Galili, N., Shmulevitch, I. and Foux, A.: Soil-Pipe Interaction. Final Report. Technion - Israel Institute of Technology, Haifa November 1978.

Bar-Shlomo, Dr. S, 1978; Dr. Shaul Bar-Shlomo Commentary to ISO-DR 2785 (Revision of ISO 2785 - 1974). December, 1983.

No.	Name or description of soil	Safe recommended values		
		Internal friction angle ρ (degrees)	Unit weight w	
			kN/m ³	kgf/m ³
1	Normal wet clay	12	19,613	2 000
2	Peaty soil, peat mould (organic soils)	12	16,671	1 700
3	Plastic clay, sandy clay	14	17,652	1 800
4	Clayey sand	15	17,652	1 800
5	Loess, loamy loess (windborn soil)	18	20,594	2 100
6	Silty clay	20	19,613	2 000
7	Loam, marl, poor clay	22	20,594	2 100
8	Silt, rock flour	25	17,652	1 800
9	Sand, loose	31	16,671	1 700
10	Course sand, gravel	33	19,613	2 000
11	Course gravel, stone chips	37	18,633	1 900

Tabell 1. Friksjonsvinkel og egenvekt for ulike jordtyper (ISO 2785-1974).

Bedding angle α (degrees)	Projection ratio ρ_j	Load factors k in different laying and backfill conditions		
		Trench and negative projection		Positive projection
		high compaction ¹⁾	ordinary compaction	ordinary compaction
60	0,93	2,0	1,6	2,1
90	0,85	2,6	1,9	2,3
120	0,75	3,0	2,2	2,5

1) For example, compaction to at least 90 % of the maximum possible at the optimum moisture content (90 % standard Proctor).

Bedding angle α (degrees)	Projection ratio ρ_j	Load factors k in different laying and backfill conditions		
		Trench and negative projection		Positive projection
		ordinary backfill compacted between xx and yy (figure 18)	ordinary backfill non-compacted between xx and yy (figure 18)	ordinary compaction
0 to 20 ¹⁾	1,00	1,2	1,1	1,2
30	0,98	1,3	1,1	1,4
60	0,93	1,5	1,2	1,7
90	0,85	1,7	1,3	1,9
120	0,75	1,7	1,3	1,9

1) This bedding angle is not recommended.

Tabell 2. Fundamenterings-koeffisienter for grøftetype B og C.

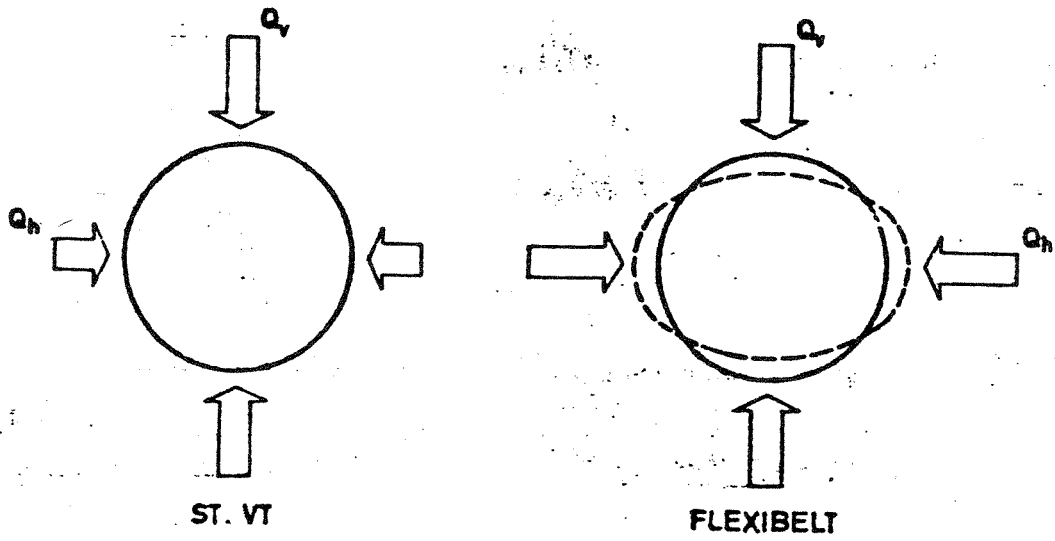


Fig. 1. Belastningen i jord for et stivt og et fleksibelt rør.

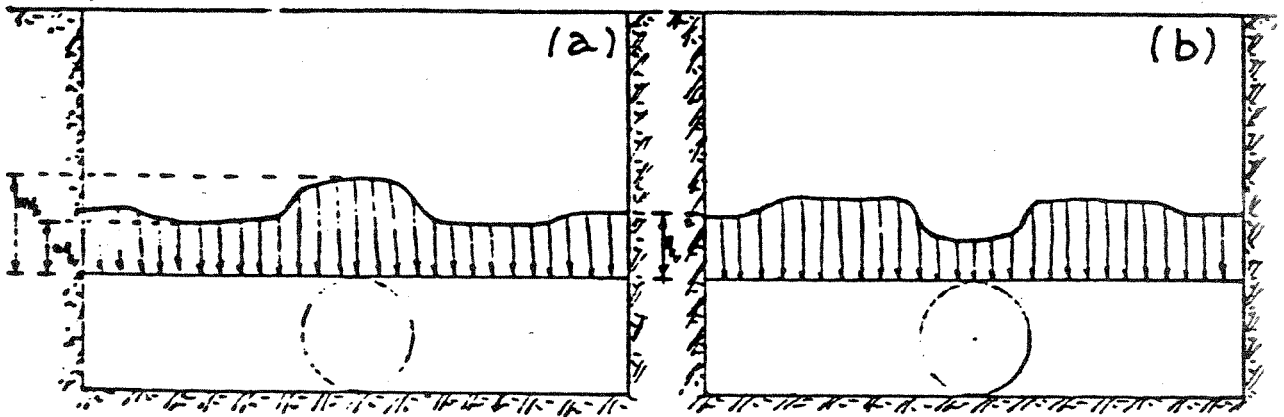


Fig. 2. Jordtrykket ved rørets topp.
a) Røret stivere enn omliggende masser,
b) massene stivere enn røret.

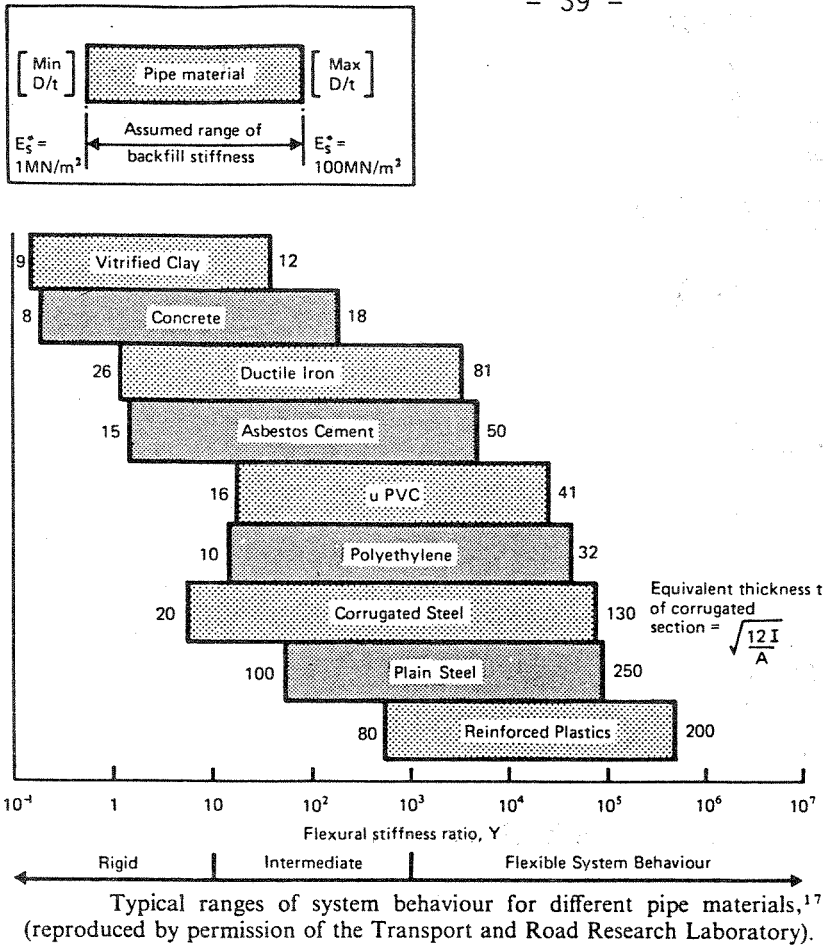


Fig. 3. Relativ stivhet for ulike rørmaterialer.

Two possibilities of trench conditions, namely vertical and sloped walls,

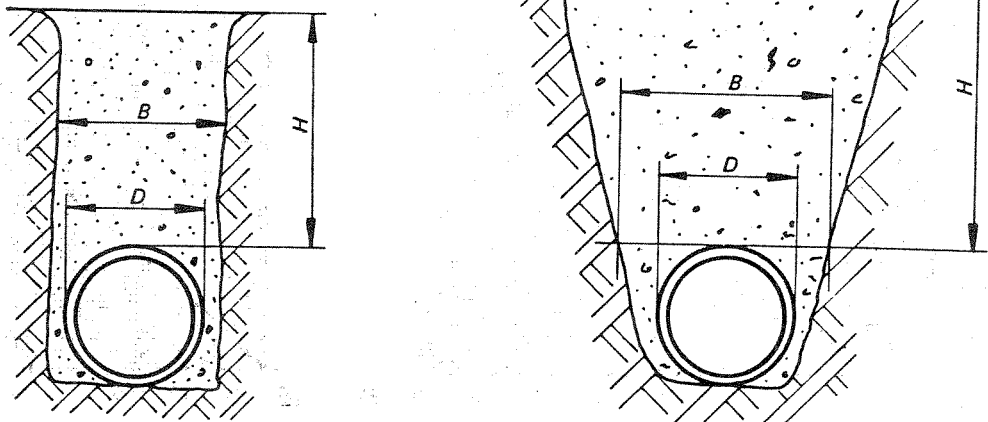
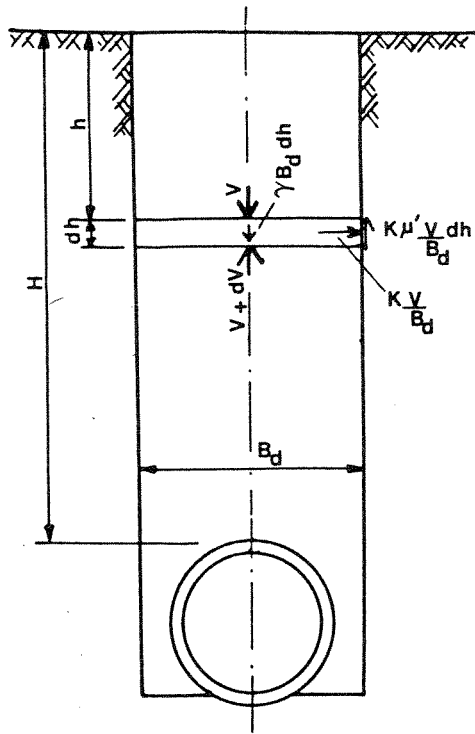


Fig. 4. Rør i grøft. (Grøfteteorien.)



Force diagram for a pipe in a narrow trench.

Fig. 5. Jordtrykk på rør i grøft (Marston).

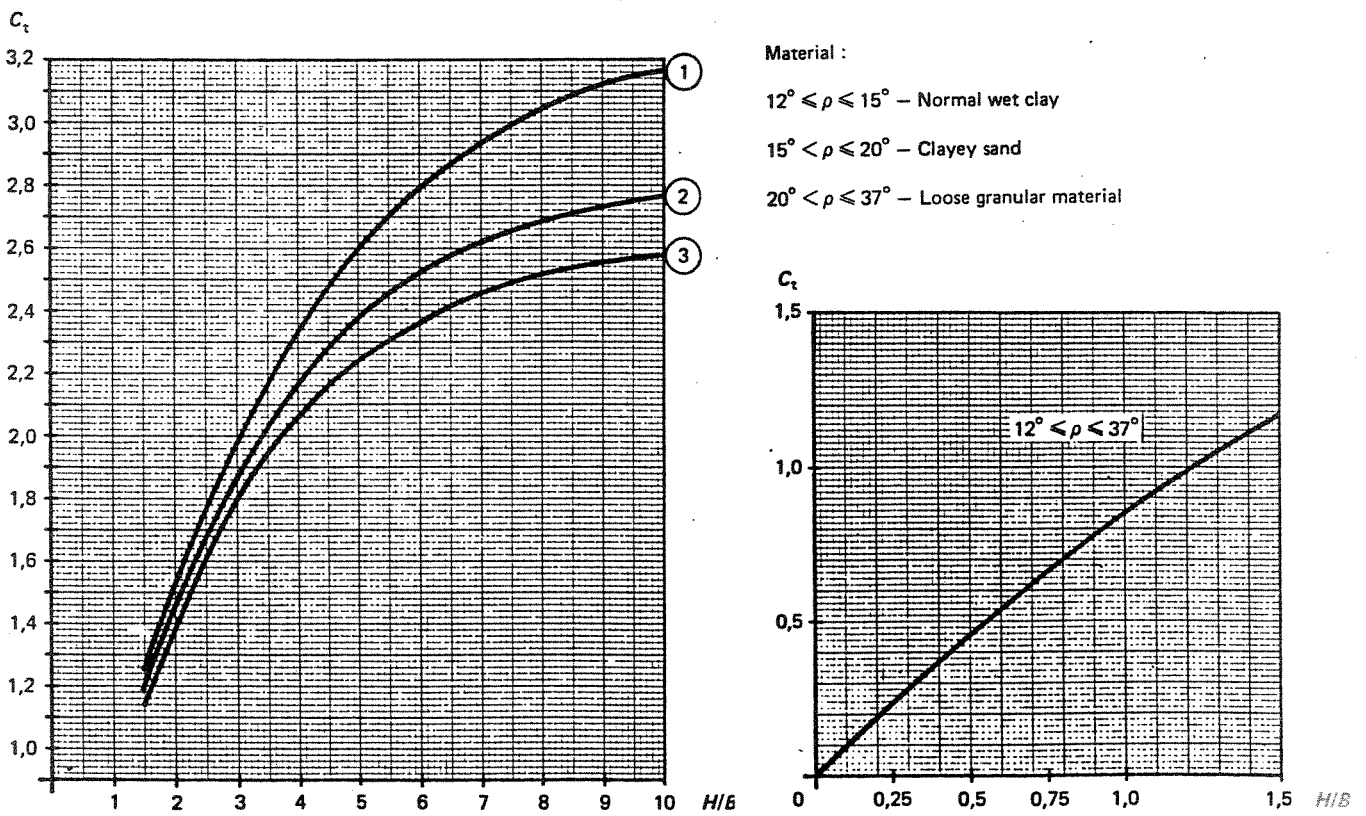


Fig. 6. Koeffisienten C_t som funksjon av H/B og jordtype (ISO 2785-1974).

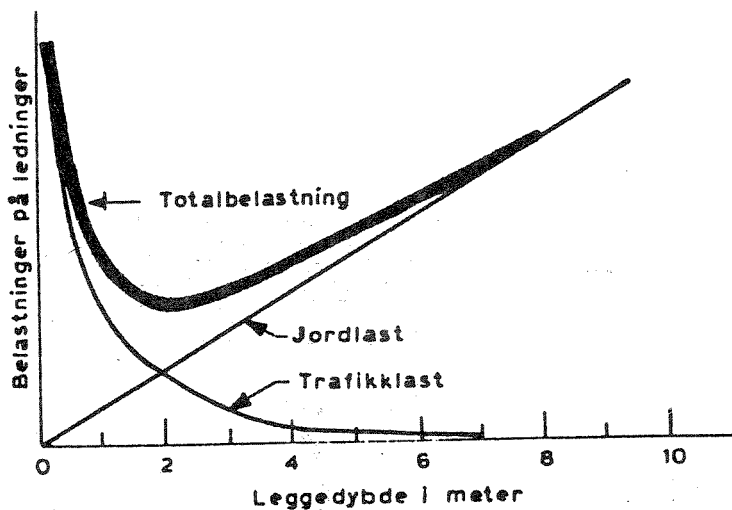
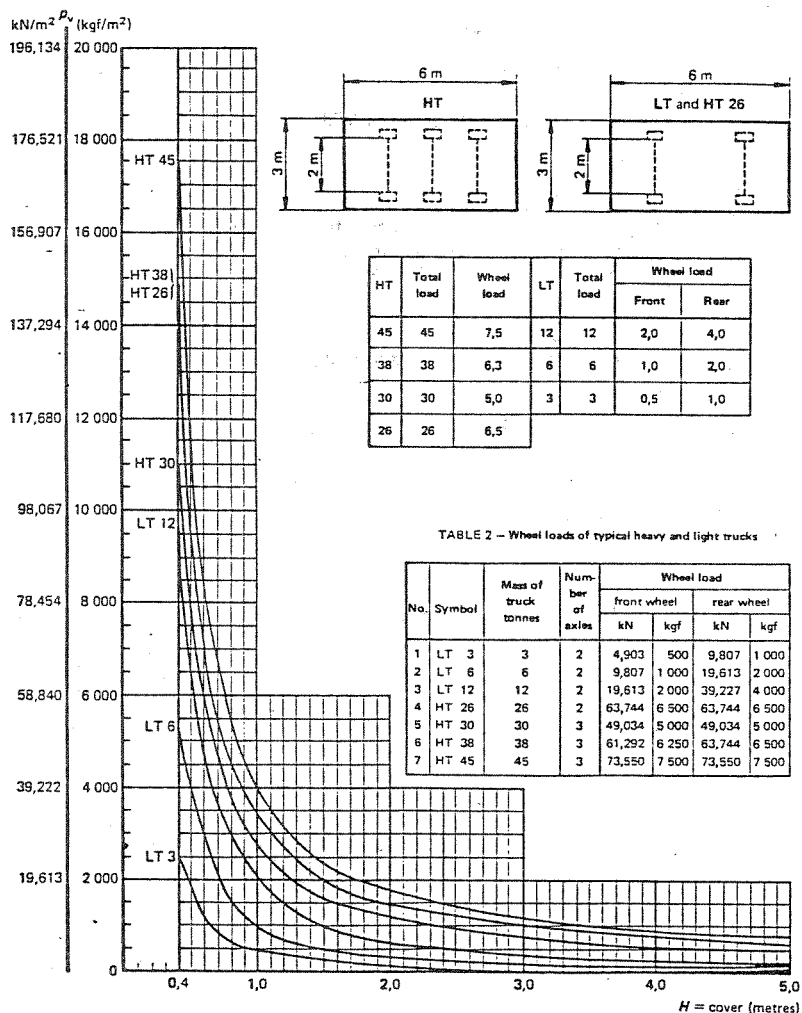


Fig. 7. Totalbelastningen på ledningen.



Vertical pressure p_v in kN/m^2 (kgf/m^2) of typical trucks
 in formula (4a) $P_{vc} = p_v D \phi$

Fig. 8. Beregning av trafikklast (ISO 2785-1974).

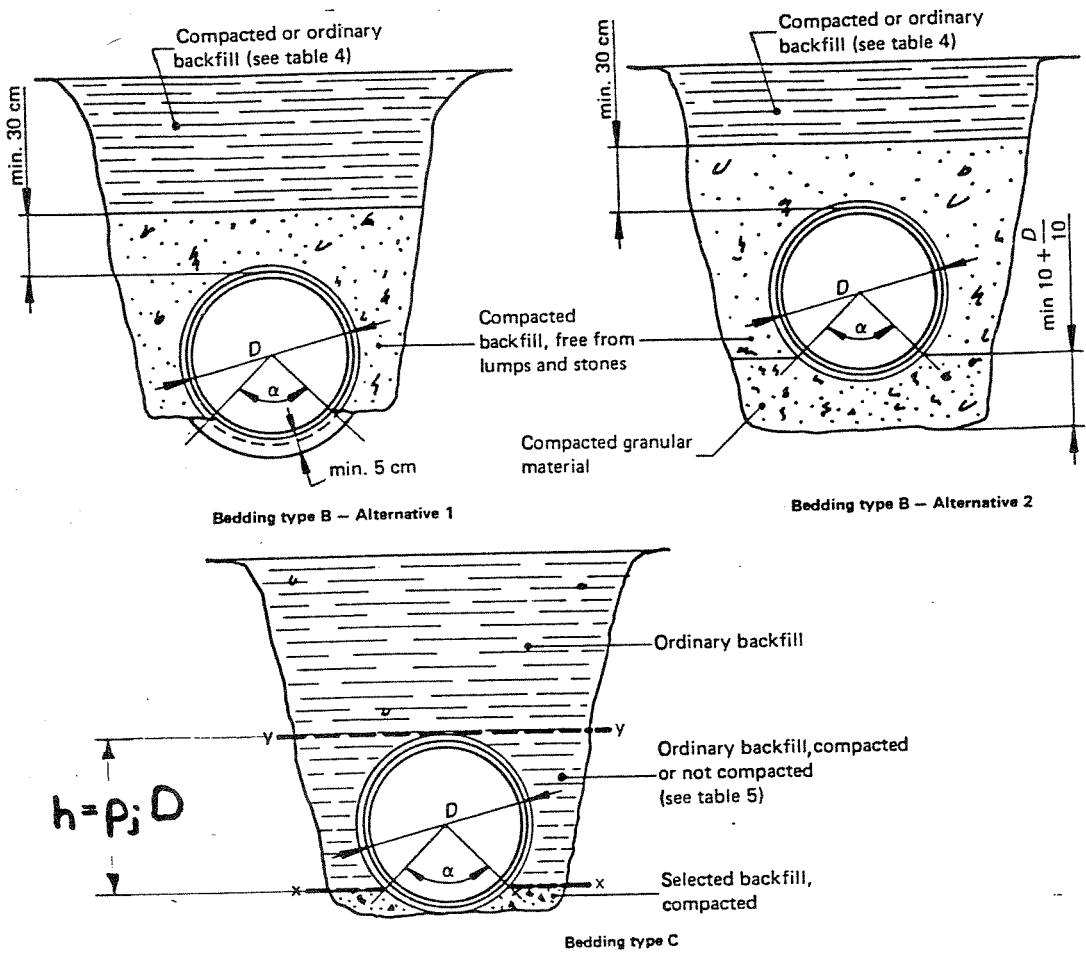


Fig. 9. Grøftetype B og C (ISO 2785-1974).

0-85208

AAB/LIS

LEVETID FOR ASBESTSEMENTRØR

17.3.86

Prosjektnotat nr. 5

ASBEST, ASBESTSEMENTRØR

1. Asbest. Generelt om anvendelse

Asbest er fellesbetegnelse på en rekke naturlig forekommende silikatmineraler. Allerede i oldtiden var asbest kjent, og navnet betyr det uslukkelige. Det sies at asbest ble brukt til vesker og i pottemakerverksteder for flere tusen år siden.

Viktig fellestrekk ved asbestmineralene er deres fiberstruktur, høye smeltepunkt og dårlige termiske og elektriske ledningsevne. Mineralene er dessuten meget stabile og motstandsdyktige mot syre og lut. Asbestfibrer har stor strekkefasthet og god bindeevne til organiske og uorganiske stoffer.

Disse egenskapene, enkeltvis eller i kombinasjon, har gjort asbest til et svært anvendelig materiale. De forskjellige egenskapene er mer eller mindre fremtredende hos de ulike asbest-typene og dette gir dem noe forskjellige anvendelsesområder. Asbest kan således brukes til vern mot brann og varme, som absorpsjonsmateriale for friksjonsvarme, til isolasjon mot varme, kulde, fuktighet og lys, til isolasjon av strømførende materiale og som forsterker i plast- og sementprodukter. Siden asbest i tillegg er et relativt rimelig materiale, har det også vært brukt som fyllmasse.

2. Asbest, forekomst

Av asbest skilles det mellom to hovedgrupper: serpentin og amfibol. Serpentin forekommer i eruptive basiske bergarter, og dannes ved omvandling av olivinstein. Serpentin forekommer også i forbindelse med kleberstein, idet kleberstein dannes ved omvandling av serpentin. Karakteristisk for serpentin er at det er rikt på magnesium. Det viktigste asbestmineral i denne gruppe er krysotil (hvit asbest).

Amfibol eller hornblende-asbest forekommer i sterkt omvandlede bergarter og kan opptre i sprekkesoner i gneiser. Karakteristisk for amfibolene er at de er jernholdig og derfor mørke mineraler. I denne gruppe skilles det mellom fem viktige asbest-mineraler: krokidolitt (blå asbest), amositt (brun asbest), antofyllitt, tremolitt og aktinolit.

Det finnes også andre mineraler enn asbestmineralene som krystalliserer med fiberstruktur. Det viktigste av disse er sillimanitt. Sillimanitt dannes ved sterk omvandling av sedimentært avsatte leirmineraler. Karakteristisk for mineralet er høyt aluminiuminnhold. Sillimanitt forekommer spredt, og er kanskje det mest utbredte mineral med fiberstruktur.

Asbestfibre utvinnes som regel i dagbrudd, hovedsakelig fra større forekomster i Sovjet, Kanada og Sør-Afrika. I 1979 var den totale verdensproduksjonen 5 millioner tonn (P. Toft et al., 1984) hvorav ca. 95 % er av typen krysotil asbest. I Norge utvinnes ikke asbest, men slike mineraler kan påtreffes enkelte steder i forbindelse med annen gruvedrift. I Norge brytes f.eks. en del kalk, og i grensone mellom kalkforekomsten og andre bergarter kan det være spor av asbest.

Ved erosjon av "asbestbergarter" vil naturlig vann kunne inneholde asbestfibre. I en kanadisk undersøkelse i 1977 (P. Toft et al., 1984) ble vannkvaliteten til vannverk som forsyner 55 % av den kanadiske befolkningen undersøkt. Det ble påvist amfibole asbestfibre ($1,6-13 \times 10^6$ fibre/l) i råvannet til 4 vannverk. I 5 råvannskilder ble det funnet over 170×10^6 krysotile fiber/l. I en undersøkelse (Bales et al., 1984) av noen vassdrag i California/USA fant man at for 7 vassdrag varierte antall krysotile fibre fra 10^8 /l for sjøer og opp til 10^{12} /l for elver. Det er påvist $1-5,3 \times 10^6$ fibre/l (65 % krysotile) i vannprøver fra vannkilden til IVAR-vannverket i Rogaland (Skipperud Johansen et al., 1984).

I den kanadiske undersøkelsen i 1977 (P. Toft et al., 1984) hvor det ble tatt prøver både av råvann og nettvann ble det registrert fibre som var opp til 50 μ m lange i vann fra ledningsnettene. Gjennomsnittlig fiberlengde (median) var mellom 0,5 og 0,8 μ m. 7 % av fibreene

var av typen amfibole. Fordeling av fibre etter størrelsen er vist i figur 1. Ved fibertelling av 45 prøver tatt på vannledningsnettet til IVAR-kommunene i Rogaland (Skipperud Johansen et al., 1984) var 77 % mindre enn 2 μm og 4 % lengre enn 10 μm . Den prosentvise andel av krysotile fibre i prøvene var i gjennomsnitt 80 %. Resultatene fra undersøkelsen er lagt inn på figur 1.

Ved undersøkelsen i California fant man at diameteren på krysotilefibre i overflatevannet var i størrelsesorden 0,03-0,04 μm .

Innholdet av asbestfibre i bylufta i Nord-Amerika ligger vanligvis i området 0,1-65 ng/m^3 (P. Toft et al., 1984). Konsentrasjoner opp til 5000 ng/m^3 luft har blitt registrert.

3. Asbest - kjemiske og fysiske egenskaper

Tabell 1 viser i hvilke mineraler de forskjellige asbesttyper forekommer. Kjemisk formel og CAS (chemical Abstract Service) er også angitt.

Det kjemiske innholdet innen hver asbestgruppe varierer. Det er f.eks. funnet at de forskjellige krysotile asbestformene ligger innen følgende variasjonsområde (Toft et al., 1984):

SiO_2	38,4 - 44,1 %
MgO	39,9 - 42,4 %
H_2O	12,9 - 14,0 %

Det er stor forskjell mellom de ulike fysiske egenskapene til de forskjellige asbesttypene. Krysotil asbest er f.eks. lett bøyelig, fleksibel og hul i motsetning til amfibol asbest som er mer sprø og har en noe høyere strekk-fasthet (tabell 2).

Fibre defineres gjerne med en lengde større enn 5 μm og et lengde/-tykkelse - forhold på større en 3:1.

Asbest fibrene opptrer som armering i asbestsement produkter. Armeringsegenskapene til en fiber avhenger av to forhold - strekkstyrke og evnen til vedheft mellom fibre og omliggende masser. Sentralt i denne sammenheng er derfor forholdet mellom fiberlengde og diameter. Kritisk lengde-/diameterforhold er definert som det punkt da strekkbrudd og vedheft brudd oppstår samtidig. Kritisk lengde for asbestfibre med gode armeringsegenskaper ligger mellom 1 og 2 mm og med et lengde-/tykkelsesforhold i området 150-250. Lengde-/diameterforholdet til asbestfibre som benyttes til produksjon av asbestsement- varierer innen vide grenser (jfr. tabell 3).

4. Sement

Til produksjon av AC-rør for bruk under "normale betingelser" brukes Portland sement. Portland sement produseres ved å male opp og blande sammen naturlig forekommende kalkstein med leire som inneholder silisium, aluminium og jernoksyder. Blandingen blir varmet opp til ca. 1 400 °C, avkjølt og malt til fint pulver. Innhold, egenskaper og produksjonskontroll av Portland sement er regulert etter DIN 1164 i Tyskland. Ettersom Portland sement er et produkt av naturlig forekommende kalkstein og leire, vil innholdet av de forskjellige stoffene variere. Variasjonsområdet for de mest vanlige sementtypene er vist i tabell 4. Tabell 5 viser analyser av Portland sement, jernportlandsement og høyovn-sement produsert etter DIN 1164.

5. Asbestsementrør - historie

Idéen med å blande asbestfibre, vann og sement til bruk som bygningsplater ble opprinnelig utviklet av østerrikeren Ludvig Hatschek. I 1903 åpnet han en asbestsementfabrikk i Ungarn som fikk navnet ETERNIT. To år etter fikk han godkjent tysk patent på produksjon av bygningsplater av asbestsement; "Verfahren zur Herstellung von Kunststeinplatten aus Fargestoffen und hydraulischer Bindemitteln". De første asbestsementrørene ble produsert ved å forme asbestsement plater som ennå ikke var herdet, til rør. Disse rørene fikk langsgående skjot og tålte ikke vanntrykk. De første trykkrørene av asbestsement ble produsert i Italia i 1913 og ble brukt til å pumpe saltvann for spyling av gaten i Genova. Produksjonsmetoden som opprinnelig ble utviklet av Hatschek og videreutviklet av italieneren

Adolfo Mazza (Mazza metoden patentert i 1913), bestod i å føre et endeløst bånd av asbestsement på en metallsylinder. Når asbestsementlaget hadde fått den tykkelse man ønsket, ble båndet kuttet og sylinderen dratt ut. Asbestsementrøret var således sømløst og klart for herding.

Asbestsementrør har ikke vært produsert i Norge. Hovedimporten er fra Danmark, Tyskland, Belgia, England og Sverige. Fabrikkene i Danmark og Sverige er nedlagt. Nedenforstående oversikt viser når produksjonen startet/sluttet i disse landene.

Danmark	Dansk Eternit-Fabrik A/S Ålborg	1938 - 1973
Tyskland	Verband der Farzer - Zement-Industri E.V., Berlin	1930 -
Belgia	Eternit Company Capelle-op-den-Bos	1931 -
England	Turners Asbestos Cement Co. Ltd. Everite	1928 -
Sverige	Varberg	1964 - 1976

6. Asbestsementrør - produksjon

Asbestsementrør blir fremstilt av en homogen blanding av asbest, sement og vann. Asbestfibrene tjener som armering. Alle typer AC-fibre kan i prinsippet brukes til AC-rør produksjon forutsatt at de ikke er for korte. Type og mengdeforhold av de ulike formene for asbest varierer fra produsent til produsent. F.eks. svensk produserte rør fra 1970 inneholder hovedsakelig krysotil og bare ca. 1 % amosit. Før 1970 ble det brukt krokidolitt (blå asbest) istedenfor amosit (Guzikowski, 1981). Typisk fibersammensetning for AC-rør er vist i figur 7. Fibersammensetningens innvirkning på AC-rørets styrke er vist i figur 2.

Ved bruk av Portland sement og vannherding er blandingsforholdet asbest/sement 1:6 (Hüneberg, 1963). I autoklavherdede rør er 1/3 av sementen erstattet med finknust kvarts som under herdingen reagerer

med kalsium og danner kalsiumsilikat. Rørmaterialet vil dermed få et lavere innhold av fri kalk og skulle derfor være mer motstandsdyktig overfor tæring.

I utgangspunktet har AC-blandingen et vanninnhold på ca. 55 %. Under produksjonen skjer en avvanning (vakuum-drenering) slik at vanninnholdet reduseres til 22-24 % før selve herdeprosessen av AC-røret starter.

Tabell 5 viser kjemiske analyser basert på gjennomsnittsverdier for AC-rør produsert av Portland sement.

Det meste av AC-rørene importert til Norge er produsert etter Mazza metoden. Produksjonen foregår i fire trinn:

1. Preparering av asbestfibre og sement med påfølgende miksing
2. Maskinproduksjon av rør
3. Herding
4. Bearbeiding.

Produksjonsforløpet er vist på figur 2.

Før asbestfibrene blandes med cement og vann, males asbesten i en kvern for å løse fibrene fra hverandre. Øking av fiberoverflaten har positiv innvirkning på rørets styrke. En kraftig blandemaskin (Hollander) besørger en homogen blanding etter nøyaktig utveing av asbest, cement og vann. Blandemaskinene opererer satsvis. Den ferdige blandingen pumpes til en silo. Siloen er utstyrt med røreverk for å holde blandingen homogen. Blandingen føres i form av en 0,1-0,3 mm tykk film på et endeløst bånd til en stålkjerne. Diameteren på stålkjernen tilsvarer den innvendige diameteren på det ferdige asbestsementrøret. Lagene blir viklet opp på stålkjernen under kraftig trykk mellom under- og overliggende valser. Typiske flatetrykk for valsene er 10-30 kg/cm². Det endeløse båndet har en hastighet på 40-60 m/min. Stålkjernene med asbestsement laminatet bytter plass med ny stålkjerne når ønsket tykkelse er nådd. Stålkjernen med det omliggende asbestsementrøret blir satt for tørking i 40°C (4 timer) før stålkjernen blir fjernet. Deretter blir asbestsementrøret oppbevart i vannbad i ca. 2 uker for herding under kontrollerte betingelser.

AC-rørets styrke synker med økende produksjonshastighet. Sammenhengen er vist for tre ulike fiberblandinger i figur 5.

Siden Mazza metoden ble utviklet er ulike varianter av denne metoden blitt benyttet for produksjon av AC-rør. I USA har det vært vanlig med autoklavherding av rørene. For disse rørene der 1/3 av sementen er erstattet med finknust kvarts, foregår herdingsprosessen i løpet av 8 - 24 timer. Rørene blir utsatt for damptrykk på 8 - 12 kg/cm² i en temperatur på 170 - 200 °C.

En mindre del av de norske rørene er produsert etter Magnani-metoden. Metoden ble utviklet av italieneren Magnani og var en forløper til Mazza metoden. Magnani-metoden ble bl.a. benyttet ved fabrikken i Alborg frem til 1955. Produksjonsforløpet er vist på figur 3 og består i at blandingen asbest, cement og vann blir fordelt ved hjelp av et bevegelig fordelingsrør mellom rørformen og en trykkvalse. Rørformen som er perforert, blir utsatt for undertrykk slik at asbestsementblandingen festes til formen og overskuddsvann blir drenert. Denne metoden gjorde det bl.a. mulig å produsere muffe monolittiske med røret hvilket ikke Mazza metoden tillot.

LITTERATUR

Toft et al., 1984: P. Toft, M.E. Meek, D.T. Wigle, J.C. Meranger: Asbestos in drinking water, Critical Reviews in Environmental Control, Vol. 14, Issue 2, pp. 151 - 197, 1984.

Bales et al., 1984: R.C. Bales, D.D. Newkirk and S.B. Hayward; Chrysotile Asbestos in California Surface Waters: From Upstream Rivers Through Water Treatment. Journal AWWA, May 1984, pp. 66 - 74.

Commins B.T., 1979: Asbestos in Drinking Water: A review. Water Research Center Technical Report. TR 100, 1979.

Guzikowski G., 1981: Är asbestcimentrör för vattendistribution ett hygieniskt problem? Svensk Vatten och Avloppsverksförening meddelande. VAV M32, feb. 1981.

Hüneberg K., 1963: Das Asbestzement Druckrohr. Springer - Verlag 1963.

Astle Horeman Partnership: The use of amphibole asbestos in asbestos cement.

Direktoratet for arbeidstilsynet, 1985: Forskrifter om asbest.

Skipperud Johansen et al., 1984: Skipperud Johansen E., Johansen B.V. og Kristiansen H. Undersøkelser av vannets virkning på asbestsementrør og forekomst av asbestfibre i drikkevannet for syv kommuner tilknyttet IVAR vannverket. SIFF SK rapport 7/83.

Mineral	Asbest	Formel	CAS-nr.
Amfibolgruppen			
Aktinolitt	Aktinolitt	$\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	13768-00-8
Antofyllitt	Antofyllitt	$(\text{Fe},\text{Mg})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	17068-78-9
Cummingtonitt- Gruneritt	Amositt ¹	$(\text{Fe},\text{Mg})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	12172-73-5
Riebeckitt	Krokidolitt ²	$\text{Na}_2\text{Fe}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	12001-28-4
Tremolitt	Tremolitt	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	14567-73-8
Serpentingruppen			
Serpentin	Krysotil ³	$\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	12001-29-5

1 = brun asbest 2 = blå asbest 3 = hvit asbest

Tabell 1. Mineralforekomst og kjemisk formel
(Dir. for Arbeidstilsynet 1985).

Asbest	Spes. vekt g/cm ³	E. modul ¹⁾ N/mm ²	Forlengelse ¹⁾ Prosent	Materialfasthet N/mm ²
Krysotil	2,5	64.400	0,013	560 - 750
Krokidolitt	3,4	105.800	0	750 - 2250
Amositt	3,3			110 - 630
Tremolitt	3,1			7,5 - 56
Autofyllitt	3,2			28

1) Belastningsområde 20 - 220 N/mm²

Tabell 2. Fysiske egenskaper (Hüneberg 1963).

% by Weight of Length Fractions

TYPE OF ASBESTOS	Greater than 5 mm	5 to 1 mm	1 to 0.1 mm	Less than 0.1 mm	Diameter range (micron)
Chrysotile 4	10	20	30	40	0.5 to 500
Chrysotile 5	5	10	45	40	9.5 to 500
Chrysotile 6	1	4	35	60	0.5 to 500
Crocidolite long	40	20	5	35	0.5 to 1000
Amosite mid-length	15	20	25	40	1.0 to 1000

Possible Distribution of Fibres with High Aspect Ratio

All types	20%	40%	30%	10%	—
-----------	-----	-----	-----	-----	---

Lengths and diameters of asbestos fibres processed for use in asbestos cement. For all types of processed asbestos, the greatest number of fibres with high aspect ratio are likely to be found within the length range 0.1 mm to 5 mm.

Tabell 3. Lengdefordeling av fiber for ulike asbest typer (Astle Horeman Partnership).

Chemische Zusammensetzung der Normenzemente und des Tonerdezementes

	Portland- zement	Eisenportland- zement	Hochofen- zement	Tonerde- zement	Sulfathütten- zement
	%	%	%	%	%
SiO ₂	19,0 – 24,0	21,0 – 27,0	24,0 – 30,0	3,0 – 10,0	25,0 – 26,0
Al ₂ O ₃	4,0 – 9,0	6,0 – 10,0	7,0 – 16,0	38,0 – 48,0	11,0 – 13,0
Fe ₂ O ₃ (+ FeO)	1,7 – 6,1	1,3 – 3,5	0,8 – 3,0	1,0 – 18,0	1,5 – 2,0
CaO	60,0 – 67,0	54,0 – 60,0	43,0 – 55,0	35,0 – 50,0	41,0 – 46,0
MnO	—	0,2 – 2,3	0,2 – 4,0	0 – 1,0	1,3 – 1,7
MgO	0,7 – 3,1	1,3 – 4,3	1,0 – 8,0	0,5 – 1,5	2,5 – 7,5
CaSO ₄	1,7 – 5,1	1,6 – 5,2	1,6 – 6,8	1,0 – 3,0	8,0 – 12,0
CaS	—	0,4 – 2,0	0,9 – 3,0	—	0 – 2,5

Tabell 4. Kjemisk sammensetning og forskjellige sement typer (Hüneberg, 1963).

Bestandteil	%	Eisenportland- zement	Hochofen- zement
Kieselsäure	22,0	25,3	29,7
Tonerde	6,0	8,7	12,3
Eisenoxyd(ul)	2,5	1,9	1,1
Manganoxydul	—	0,09	0,21
Kalk	66,0	59,7	51,3
Magnesia	2,0	2,36	2,84
Alkalien	0,7	0,48	0,21
SO ₃	0,3	0,21	0,09
Kalziumsulfid	—	0,9	2,1
Glühverlust	0,5	0,35	0,15
Hydraul. Modul	2,16	1,66	1,18
Silikatmodul	2,59	2,37	2,22
Tonerdemodul	2,4	4,37	9,30

Tabell 5. Analyse av Portland-, Jernportland- og Høyovensement (DIN 1164). (Hüneberg, 1963.)

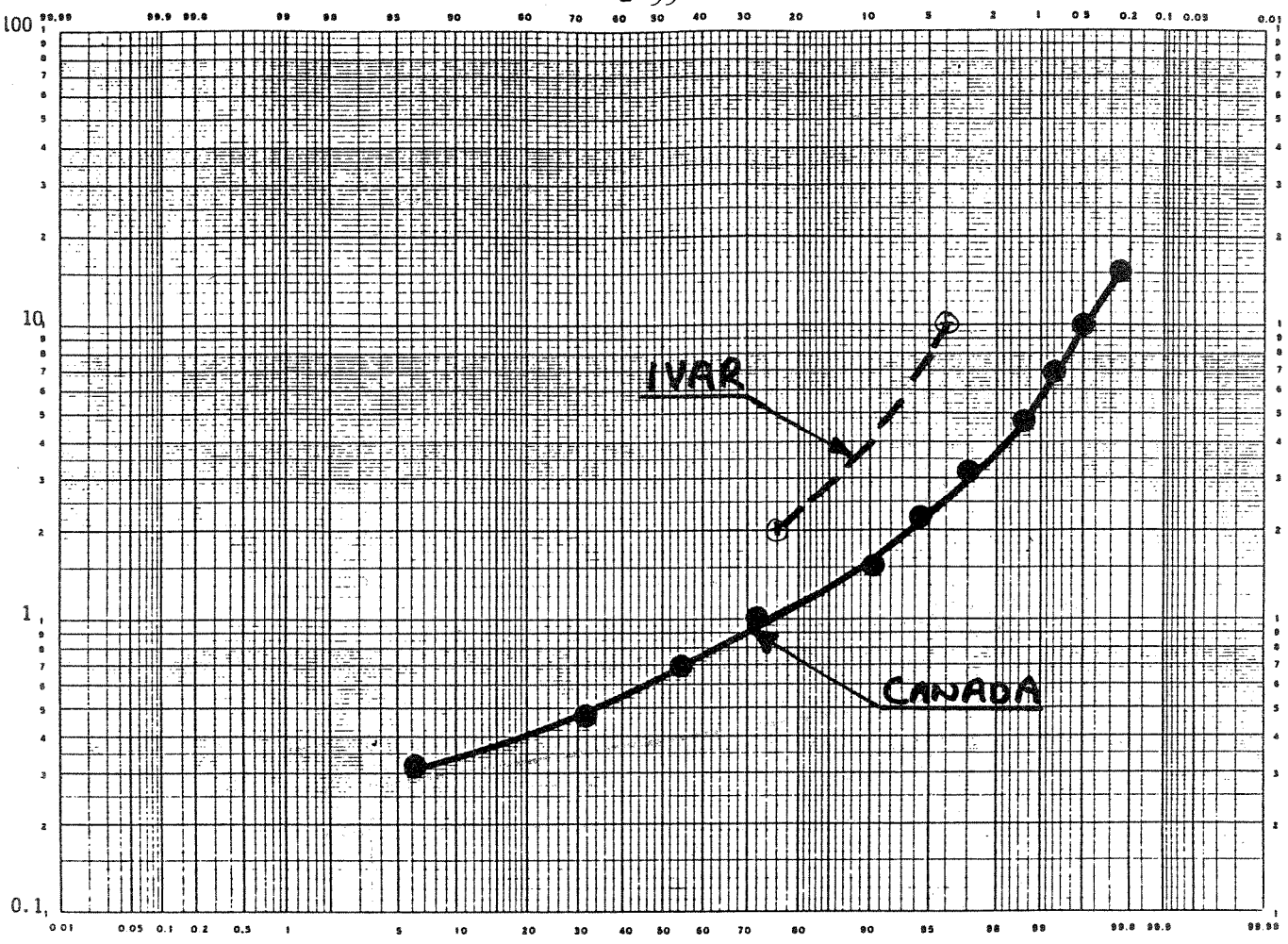
	%
CaO	43,30
SiO ₂	20,10
MgO	6,24
Al ₂ O ₃	5,73
Fe ₂ O ₃	1,01
H ₂ O	1,30
SO ₃	1,47
PO ₄	0,14
Glühverlust	20,70
Gesamt	99,99
Na ₂ O	< 0,1

Tabell 6. Kjemisk analyse av asbestsement (Battelle-instituttet, Hüneberg, 1963).

PROPORTION OF EACH GRADE
OF ASBESTOS USED IN

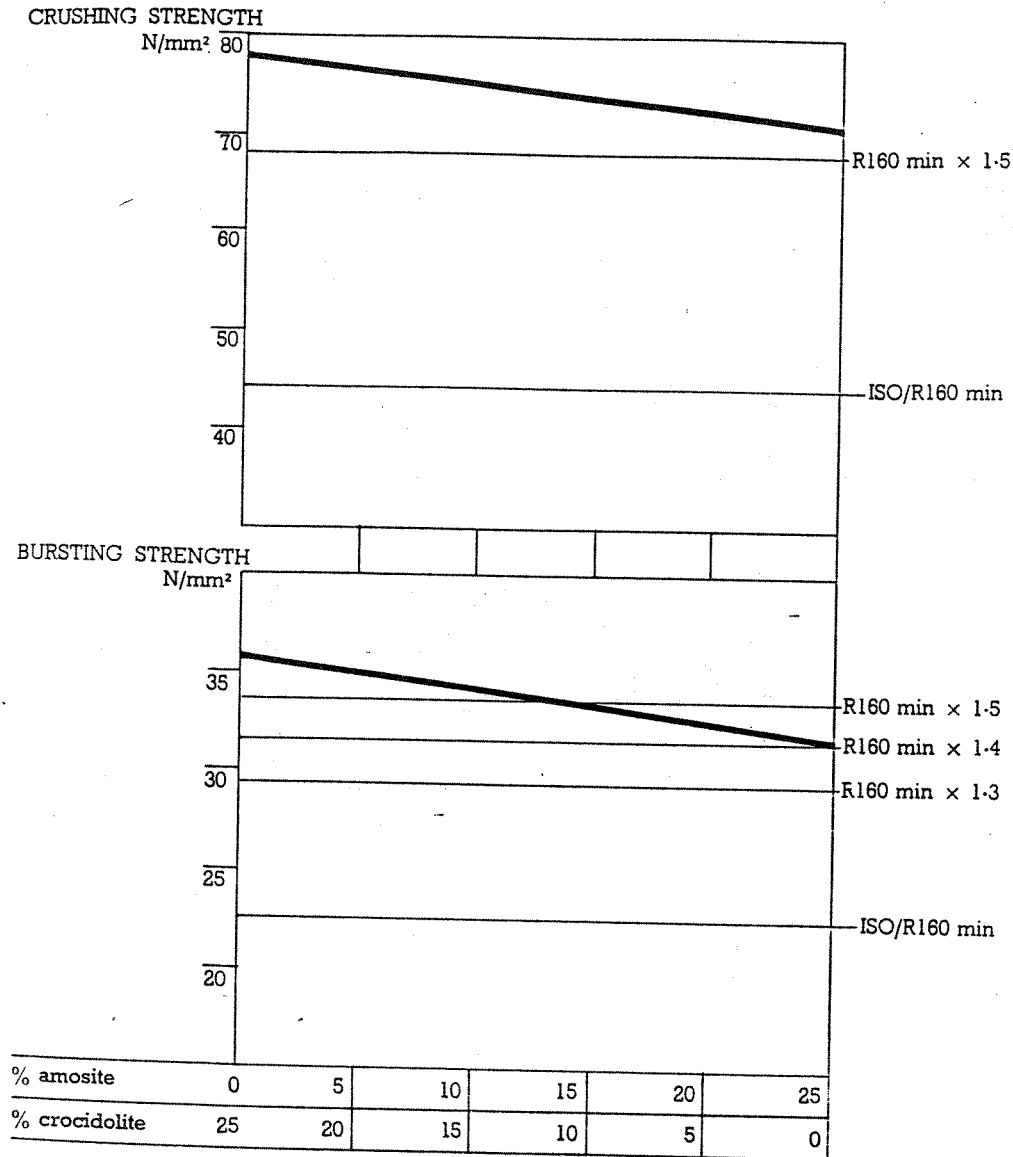
	A/C Pressure Pipes %	A/C Sheets %
Chrysotile 4	40-60	10-30
Chrysotile 5	15-30	20-60
Chrysotile 6	—	0-30
Crocidolite long	20-40	—
Crocidolite short	0-15	0-15
Amosite long	5-15	—
Amosite mid-length	5-15	5-10

Tabell 7. Typisk fibersammensetning i AC-rør og bygningsplater av AC (Astle Horemán Partnership).



Typical fiber length distribution of asbestos in drinking water.

Fig. 1. Typisk lengdefordeling av asbest fiber i drikkevann.



Crushing strength and bursting strength of a/c pressure pipes incorporating various proportions of amosite and crocidolite. Furnish 16% asbestos comprising 60% 4T, 15% 5R, 25% amphibole asbestos. Reference lines at the right-hand side show ISO/R160 minimum requirements and multiples of these at several manufacturing tolerances or safety factors. Crushing strength and bursting strength measured at set dry density of 1.8 g/cm³.

Fig. 2. AC-rørets styrke som funksjon av fibersammensetningen (Astle Horeman Partnership).

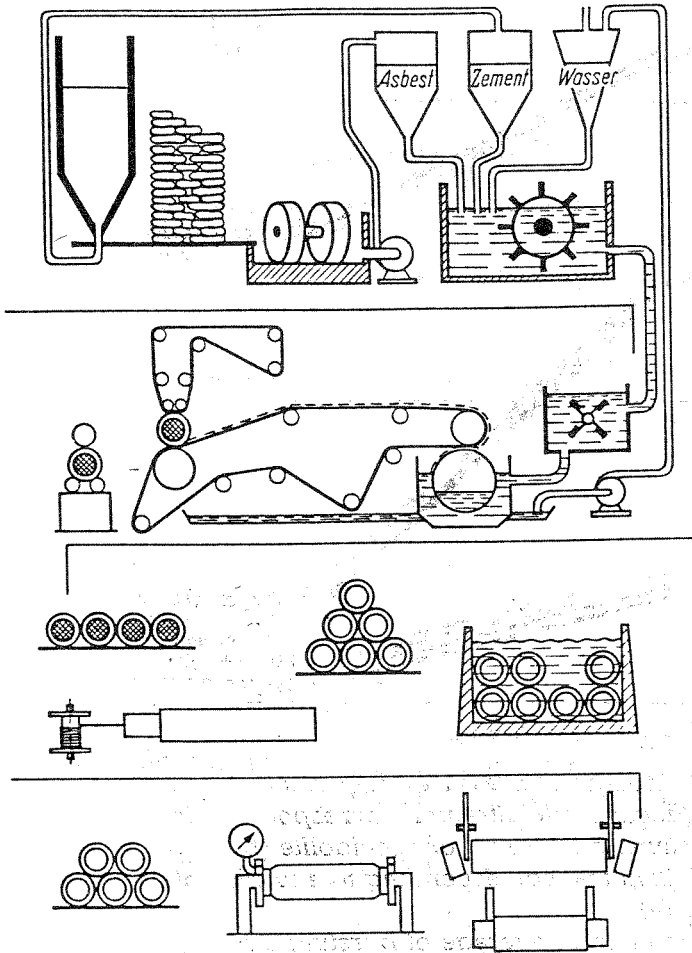


Fig. 3. Produksjon av AC-rør etter Mazza-metoden.

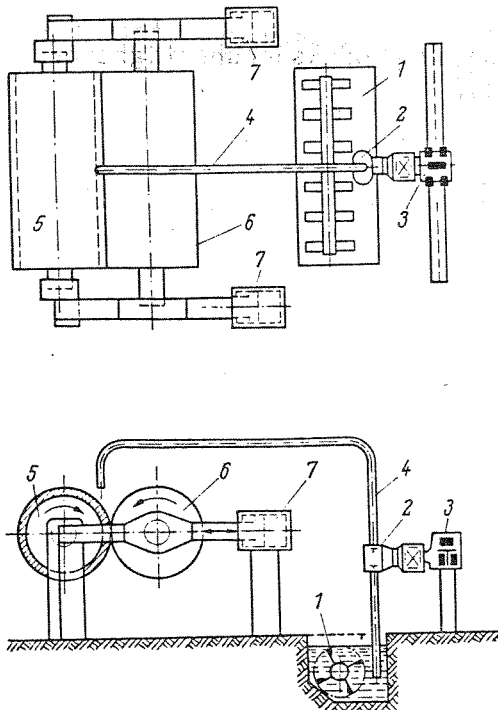
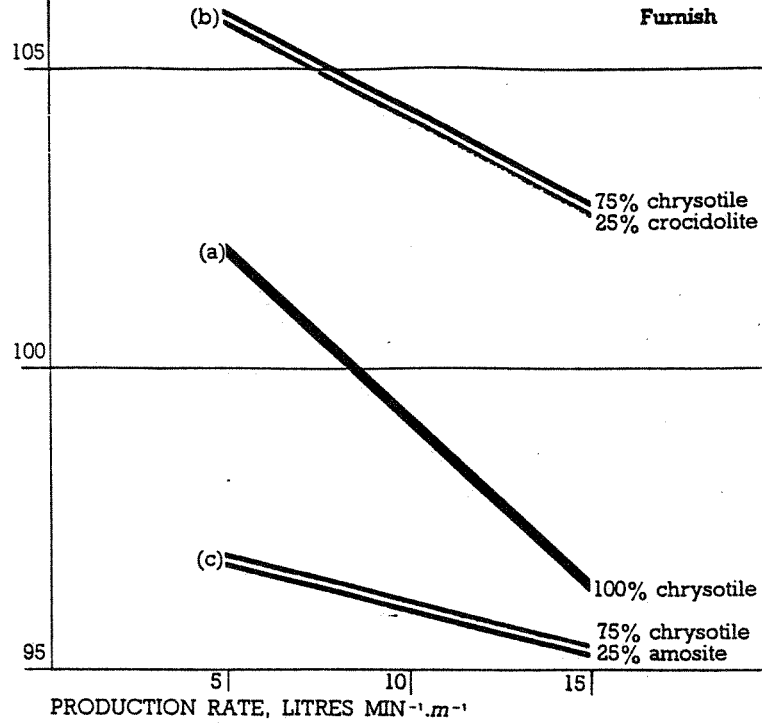


Abb. 56. Schema des MAGNANI-Verfahrens.
1 Stoffkasten, 2 Stoffpumpe, 3 Fahreinrichtung, 4 Stoffleitung, 5 Formwalze, 6 Druckwalze, 7 Druckzylinder.

Fig. 4. Produksjon av AC-rør etter Magnani-metoden.

COMBINED STRENGTH
RELATED TO A NORM
OF 100



The combined strength of pressure pipes decreases with increasing production rate. Strength corresponding to furnishes containing amosite (c) or crocidolite (b) decreases less than that corresponding to a furnish of chrysotile only (a).

Combined strength is an average of bursting, crushing and flexural strengths, determined experimentally, and related to a norm of 100.

Production rate: litres.min⁻¹.m⁻¹ = felt speed, m.min⁻¹ × layer thickness, mm. (m⁻¹ refers to felt width)

Fig. 5. AC-rørs styrke som funksjon av produksjonshastigheten (Astle Horemans Partnership).

O-85208

AAB/GUM

LEVETID FOR AC-RØR

05.03.87

Prosjektnotat nr. 8

KRAV TIL MATERIALFASTHET OG TESTRESULTATER I FORBINDELSE MED PRODUKSJONSKONTROLL AV NYE RØR

Krav til kvalitetskontroll

Krav til kontrollhyppighet, typer kontroll og antall parallelle prøver varierer fra produksjonsland til produksjonsland. Tabell 1 gir en oversikt over hvilke styrketester som blir krevet av de enkelte standarder i forbindelse med den løpende kvalitetskontroll av produksjonen.

Krav til materialfasthet

Av praktiske hensyn inngår bare testing av rørprøver til brudd ved innvendig vanntrykk og knusing i prosjektet (bjelke-testen krever 2,0 m lange rør). Kravene til materialfasthet for de ulike nasjonale standardene avviker lite fra ISO-standardene. Krav til materialfasthet og beregningsmåte i ISO-standardene for de to nevnte testene er vist i tabell 2.

Inndeling i trykk-klasser

AC-rør inndeles i trykk-klasser etter maksimalt tillatt arbeidstrykk og trykk for tetthetsprøving ved fabrikk. For rør produsert etter ISO-160 tilsvarer den oppgitte trykk-klassen prøvetrykket ved fabrikk. For rør produsert etter SIS-226881, DIN-19800 og BS-468 tilsvarer trykk-klassen det maksimale arbeidstrykket ledningen er dimensjonert for. Danske rør er produsert etter den internasjonale standarden og trykk-klassen representerer derfor prøvetrykket ved fabrikk.

For alle de nevnte standardene er prøvetrykket 2 ganger arbeidstrykket. Samtlige standarder krever tetthetsprøving av alle rørene før levert fra fabrikk. Det meste av AC-trykkør levert fra Danmark, Tyskland, Belgia

og Sverige er dimensjonert for følgende maksimale arbeidstrykk: PN 7,5, PN 10 og PN 12,5. I tillegg omfatter DIN-normen PN6 og SIS-normen PN 15. De engelske rørene har en noe annen inndeling; PN 6,1 (class B), PN 9,15 (class C) og PN 12,2 (class D).

Tabell 3 gir en oversikt over trykk-klasser og minimum indre vanntrykk ved brudd som omfattes av ISO-, SIS- og DIN-standarden.

Resultater fra styrketesting av nye rør

Hüneberg (1963) rapporterer resultatene fra forsøk med styrketesting av AC-rør i 1960. Resultatene er presentert i følgende tabeller:

- Tabell 4: Bruddtrykk ved innvendig vanntrykk (PN 12,5)
- Tabell 5: Ringdragsfasthet ved innvendig vanntrykk (PN 10)
- Tabell 6: Ringdragsfasthet ved innvendig vanntrykk (PN 12,5)
- Tabell 7: Bøyfasthet ved knusing (PN 2,5, PN 10, PN 12,5).

Brudd-trykket ved sprenging er proporsjonalt med veggtykkelsen på røret og omvendt proporsjonalt med rørdiameteren. Forholdet d/s er synkende for økende rørdimensjoner. Dette innebærer at sprengtrykket er stigende for synkende rørdimensjoner. Avhengigheten mellom brudd-trykket og rørdiameteren for rør produsert etter DIN 1980 og krav til styrke etter samme standard er vist i figur 1.

Som det framgår av figur 2 er det ingen klar sammenheng mellom brudd-trykket og forholdet mellom rørets diameter og veggtykkelsen (d/s).

Testresultater i forbindelse med kontroll av AC-rør ($D = 200$ mm, DIN 7,5 og $D = 150$ mm, PN 10) produsert ved fabrikken i Ålborg i 1956 er vist i tabell 8. Av rørprøver produsert samme dag ser vi at maksimalt avvik fra middelveiden for bøyfasthet er 5 % og ringdragsfasthet 8 % (produsert 10.5.56).

Testresultater for danske rør ($D = 200$ mm, PN 10) produsert i perioden 1970 - 1973 er vist i tabell 9. Av rørprøver produsert samme dagen ser vi

at av 14 ulike produksjoner ligger maksimalt avvik fra middelveiden for brudd-trykket (p.g.a. proporsjonalitet gjelder dette også for ringdragsfastheten) for 12 av produksjonene under 7 %. Største registrerte avvik var 17 % (16.03.70).

Bøyfastheten for danske rør (D = 200 mm, ND 10) produsert 16.08.71 er vist i tabell 10. Fra samme rørlengde er det tatt ut tre prøver som er testet (B, C, D). Størst avvik fra middelveiden ble funnet for rørprøve nr. 7 (10 %).

Verband der Fasersement - Industrie E.V. har oversendt noen testresultater av tysk produserte rør (tabell 11) testet av Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM). Tester av rørprøver fra samme rørlengde viste et maksimalt avvik fra middelveiden på 6 % for ringdragsfasthet og 3 % for bøyfasthet.

Testresultatene presentert i tabell 5, 6, 7, 8, 10 og 11 er sammenstilt i tabell 12. Middelveidi, standard avvik og variansen er regnet ut for hver serie.

LITTERATUR

Hüneberg, K., 1963: Das Asbest-zement Druckrohr. Springer Verlag 1963.

Standard	Ringdragfasthet (indre vanntrykk)	Bøyfasthet på tvers (knusing)	Bøyfasthet på langs (bjelke brudd)
ISO-160 (1960 og 1980)*	x	D ≥ 600 mm	
SIS 226881	x	x	x
DIN 19800 (1956 og 1973)	x	x	D ≥ 200 mm
BS 486 (1981)	x		

* Danske rør produsert etter ISO-160.

Tabell 1. Krav til kvalitetskontroll.

ISO-160 ÅR	Ringdragsfasthet (Indre vanntrykk)		Bøyfasthet (Knusing)	
	(N/mm ²)	Formel	(N/mm ²)	Formel
1960	20	$\frac{P d}{2 s}$	45	$0,955 \frac{W}{l} \left(\frac{d+s}{s^2} \right)$
1980	22	$\frac{P(d+s)}{2 s}$	44	$n^* \frac{W}{l} \left(\frac{3d+5s}{s^2} \right)$

* n = 0,26 for D ≤ 100 mm
n = 0,3 for D ≥ 100 mm

d = innvendig diameter i mm
S = veggtykkelse i mm
P = bruddtrykket i N/mm²
W = bruddkraften i N
l = rørprøvens lengde i mm

Tabell 2. Krav til materialfasthet (ISO-160).

Maksimalt arbeidstrykk (kp/cm ²)			Trykk-klasse			Minimum indre vanntrykk ved brudd								
						D _i < 100			125 ≤ d _i ≤ 200			d _i ≥ 250		
ISO ¹	SIS ²	DIN ³	ISO	SIS	DIN	ISO ⁴	SIS	DIN ⁵	ISO ⁴	SIS	DIN ⁵	ISO ⁴	SIS	DIN ⁵
2,5	-	2,5	5	-	2,5	10	-	10	8,8	-	8,8	7,5	-	7,5
5	-	-	10	-	-	20	-	-	17,5	-	-	15	-	-
-	-	6	-	-	6	-	-	24	-	-	21	-	-	18,0
7,5	7,5	-	15	7,5	-	30	30	-	26,3	26,0	-	22,5	22,0	-
10	10	10	20	10	10	40	40	40	35,0	35,0	35	30,0	30,0	30,0
12,5	12,5	12,5	25	12,5	12,5	50	50	50	43,8	44,0	43,8	37,5	38,0	37,5
-	15	-	-	15	-	-	-	60	-	-	52,0	-	-	45,0

- 1) ISO-160, Juni 1960, serie II.
- 2) SIS 226881, Juni 1968.
- 3) DIN 19800, Januar 1956.
- 4) Basert på sikkerhetsfaktorer gitt i § 2.4.3 i standarden
- 5) Basert på sikkerhetsfaktorer gitt i § 2.3 i standarden.

Tabell 3. Trykk-klasser for de ulike standardene.

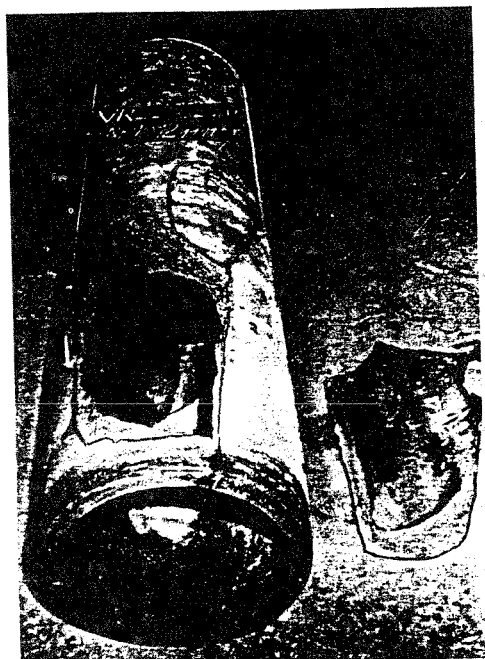


Abb. 128. Schalenbruch infolge Innendruck (NW 400, ND 12,5; $l = 5 \cdot d$) [V40].

	NW	Prüf- länge (cm)	Berstdrücke p_i			mittlere Berstdrücke p_i (atü)
			atü	atü	atü	
ND 2,5	150	50	43.3	37.0	30.5	36.9
	200	50	30.6	30.5	30.6	30.6
	200	100	32.0	31.5	31.0	31.5
	250	50	29.5	29.0	28.5	29.0
	300	50	31.5	27.4	27.4	28.8
	400	50	27.3	24.5	—	26.9
ND 10	100	50	64.9	64.6	45.5	58.3
	150	50	57.8	56.0	55.8	56.5
	200	50	48.0	47.0	45.5	46.8
	250	50	42.8	38.5	37.0	39.1
	300	50	46.3	42.0	40.6	43.0
	400	50	39.7	37.7	37.9	38.4
ND 12,5	50	50	88.0	65.8	64.5	72.8
	80	50	63.5	61.2	55.5	60.4
	100	50	75.5	74.3	70.0	73.3
	150	50	65.9	63.5	60.0	63.1
	200	50	72.0	62.0	60.4	64.8
	200	100	82.7	66.3	60.3	69.8
	250	50	51.0	49.0	48.7	49.6
	300	50	49.0	48.5	48.0	48.5
	300	150	55.2	51.8	47.5	51.5
	400	50	60.5	—	—	60.5 ¹
400	200	57.8	55.5	45.7	53.0	

Tabell 4. Bruddtrykk ved innvendig vanntrykk (Hüneberg, 1963).

Bruchspannungen σ_z (kp/cm²) [V40]
Nenndruckstufe 10

Nr.	NW	Proben- länge (cm)	$\delta = \frac{d}{s}$	Bruch- spannung σ_z	mittlere Bruchspannung σ_m^z
1	80	50	8,84	281.0	276,1
2	80	50	8,87	271.3	
3	100	50	9,85	318,0	319,0
4	100	50	9,90	320,1	
5	150	50	10,66	249,5	287,8
6	150	50	10,66	314,0	
7	150	50	10,72	300,0	258,7
8	200	50	11,09	253,0	
9	200	50	11,02	256,3	258,7
10	200	50	11,08	266,9	
11	250	50	13,20	255,5	260,5
12	250	50	13,18	244,5	
13	250	50	13,17	282,4	280,7
14	300	50	13,09	274,2	
15	300	50	13,03	265,1	280,7
16	300	50	13,07	302,7	
17	400	50	13,34	265,0	256,3
18	400	50	13,33	251,3	
19	400	50	13,39	252,5	

Tabell 5. Ringdrag fasthet ved innvendig vanntrykk (Hüneberg, 1963) ND 10.

Bruchspännungen σ_z (kp/cm²) [V49]
 Nenntryckstufe 12,5

Nr.	NW	Proben- länge (cm)	$\delta = \frac{d}{s}$	Bruch- spän- nung σ_z	mittlere Bruchspän- nung σ_m
1	100	50	7,66	285,8	
2	100	50	7,61	292,1	282,2
3	100	50	7,55	268,5	
4	150	50	8,78	279,3	
5	150	50	8,78	289,1	277,2
6	150	50	8,78	263,2	
7	200	50	9,11	275,1	
8	200	50	9,15	283,8	295,5
9	200	50	9,10	327,5	
10	200	100	9,12	274,1	
11	200	100	9,18	313,0	321,7
12	200	100	9,13	378,0	
13	250	50	10,01	246,2	
14	250	50	9,99	244,3	248,8
15	250	50	10,02	256,0	
16	300	50	10,02	244,4	
17	300	50	10,01	239,3	241,2
18	300	50	10,01	239,8	
19	300	150	10,08	276,7	
20	300	150	10,05	260,0	258,4
21	300	150	10,03	238,6	
22	400	50	9,99	300,0	300,0
23	400	200	9,99	276,2	
24	400	200	10,03	229,4	252,3
25	400	200	10,01	251,2	

Tabell 6. Ringdrag fasthet ved innvendig vanntrykk (Hüneberg, 1963) ND 12,5.

Scheiteldruckbruchspänning nach P.LNY [V49]

Nr.	NW (mm)	ND (atü)	l (mm)	σ_d (kp/cm ²)	σ_d^m (kp/cm ²)	Nr.	NW (mm)	ND (atü)	l (mm)	σ_d (kp/cm ²)	σ_d^m (kp/cm ²)
1	100	10	200	690		28	200	12,5	200	520	
2			200	615	602	29			200	517	505
3			200	500		30			200	417	
4			400	618		31			400	550	
5			400	640	584	32			400	528	524
6			400	495		33			400	503	
7			600	505		34			600	495	
8			600	545	502	35			600	485	500
9			600	457		36			600	520	
10	100	12,5	200	623		37	400	2,5	200	553	
11			200	611	591	38			200	505	504
12			200	538		39			200	455	
13			400	500		40			400	539	
14			400	583	546	41			400	505	502
15			400	555		42			400	463	
16			600	547		43			600	521	
17			600	532	506	44			600	537	502
18			600	440		45			600	448	
19	200	2,5	200	555		46	400	12,5	200	462	
20			200	535	538	47			200	438	450
21			200	525		48			400	480	
22			400	548		49			400	507	494
23			400	562	546	50			600	517	
24			400	527		51			600	495	491
25			600	515		52			600	460	
26			600	516	516						
27			600	517							

Tabell 7. Bøyfasthet ved knusing (Hüneberg, 1963).

DATA

Prøve nr.	I	II	III	1	2	3	4	5	6
Dimension mm	200	200	200	150	150	150	150	150	150
Klasse at.	15	15	15	20	20	20	20	20	20
Fabrikationsdato 1956	27/6	27/6	27/6	10/5	10/5	7/5	5/5	7/5	5/5
Prøvedato 1956	26/7			3/9					

KNUSNINGSPRØVE

Minimums knusningsrækstyrke eller normerne 450 kg/cm²

Prøve nr.	I	II	III	1	2	3	4	5	6
Indv. diameter cm	20,15	20,16	20,14	15,13	15,21	15,20	15,13	15,14	15,17
Godstykkelse cm	1,48	1,52	1,51	1,35	1,38	1,41	1,43	1,41	1,43
Længde af prøvestykke cm	20,06	20,28	19,96	19,98	19,97	19,93	19,97	19,79	19,96
Belastning til brud kg	1178	1229	1153	1603	1507	1239	1542	1161	1416
Belastningstillæg fra masktne kg	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Samlet belastning kg	1196	1247	1171	1621	1525	1257	1560	1179	1434
Beregnet knusningsrækstyrke R _e kg/cm ²	562	551	532	701	635	503	604	474	557

TRYKPRØVE

Minimums brudrækstyrke eller normerne 200 kg/cm²

Prøve nr.	I	II	III	1	2	3	4	5	6
Indv. diameter cm	20,15	20,16	20,14	15,13	15,21	15,13	15,13	15,22	15,17
Godstykkelse cm	1,44	1,47	1,48	1,34	1,38	1,42	1,40	1,36	1,43
Indv. hydraulisk tryk ved brud kg/cm ²	35	37	40	63	55	43	44	41	48
Beregnet brudrækstyrke R _t kg/cm ²	245	254	272	356	303	229	238	229	255

Tabell 8. Ringdrag- og bøjfasthet for danske rør produsert i 1956.

Produk. dato	16.03. 1970	04.05. 1970	07.12. 1970	15.02. 1071	07.06. 1971	16.08. 1971	03.03. 1972	17.03. 1972	03.05. 1972	25.05. 1972	05.06. 1972	12.09. 1972	04.10. 1972	06.09. 1973
1	58	52	58	62	50	58	40	38	42	50	38	40	56	44
2	60	52	56	62	52	58	42	40	40	50	38	48	56	45
3	50	50	55	58	50	58	44	40	40	50	44	46	58	43
4	44	49	58	60	48	60	46	38	40	46	40	50	60	42
Middel	53	51	57	61	50	59	43	39	41	49	40	47	58	43

n = 56

Gjennomsnitt 49,2

Variansen 55,2

Standard avvik 7,5

Tabell 9. Bruddtrykk for danske rør produsert i perioden 1970-1973.

Prøve	Bøfasthet ved knusing (kp/cm ²)				Trykkprøve (spreng.)	
	B	C	E	Middel	Trykk kp/cm ²	Ringdrags- fasthet ² kp/cm ²
1	609	571	602	594		
2					58	308
3	572	521	565	552		
4					58	308
5	551	614	623	596		
6					58	308
7	594	517	507	539		
8					60	319
Middel	581	555	574	570	59	311

Tabell 10. Bøfasthet for danske rør produsert 16.08.1971.

Probe bzw. Rohr Nr.	Maße ¹⁾			Berstdruck	Ringzugfestigkeit
	Länge	Durchmesser	Wanddicke		
-	mm			bar	N/mm ²
1.1	499	250,0	20,5	42	27,7
2.1	501	249,8	20,8	47	30,6
3.1	500	250,4	20,5	46	30,4
Sollwert ²⁾				≥ 30	≥ 24

Probe bzw. Rohr Nr.	Maße ¹⁾			Ringbiegezugfestigkeit
	Länge	Durchmesser	Wanddicke	
-	mm			N/mm ²
1.2	301	250,5	20,4	77,3
2.2	300	250,0	20,7	78,5
3.2	300	251,0	20,5	76,4
Sollwert ²⁾				≥ 49

Tag der Prüfung: 24. Juni 1981

Probe bzw. Rohr Nr.	Maße ¹⁾			Berstdruck	Ringzugfestigkeit
	Länge	Durchmesser	Wanddicke		
-	mm			bar	N/mm ²
1.1	498	250	19,7	39	27
2.1	499	250	19,9	38	26
3.1	499	250	20,0	40	27
Sollwert ²⁾				≥ 30	≥ 24

Probe bzw. Rohr Nr.	Maße ¹⁾			Ringbiegezugfestigkeit
	Länge	Durchmesser	Wanddicke	
-	mm			N/mm ²
1.2	300	250	20,2	57
2.2	296	251	20,5	58
3.2	296	250	20,8	60
Sollwert ²⁾				≥ 49

Tag der Prüfung: 27. Juni 1984

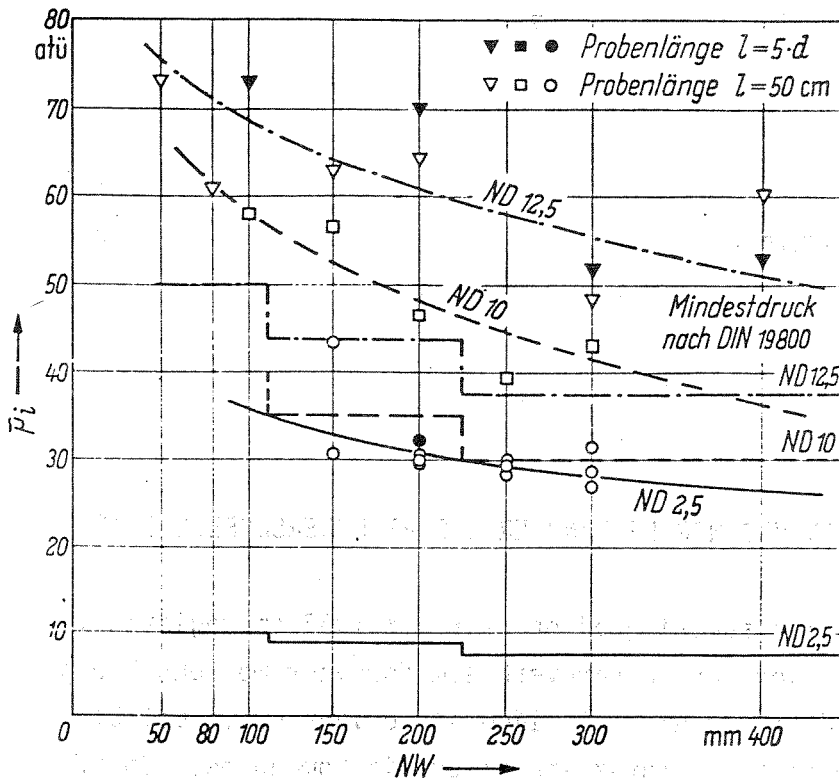
Probe bzw. Rohr Nr.	Maße ¹⁾			Berstdruck	Ringzugfestigkeit
	Länge	Durchmesser	Wanddicke		
-	mm			bar	N/mm ²
1.2	500	502	35,3	41	31
2.2	500	501	35,6	42	32
3.2	500	500	36,0	42	31
Sollwert ²⁾				≥ 30	≥ 25

Probe bzw. Rohr Nr.	Maße ¹⁾			Ringbiegezugfestigkeit
	Länge	Durchmesser	Wanddicke	
-	mm			N/mm ²
1.3	300	499	35,6	68
2.3	300	500	35,6	67
3.3	300	500	36,3	69
Sollwert ²⁾				≥ 51

Tabell 11. Testresultater for tyske rør.

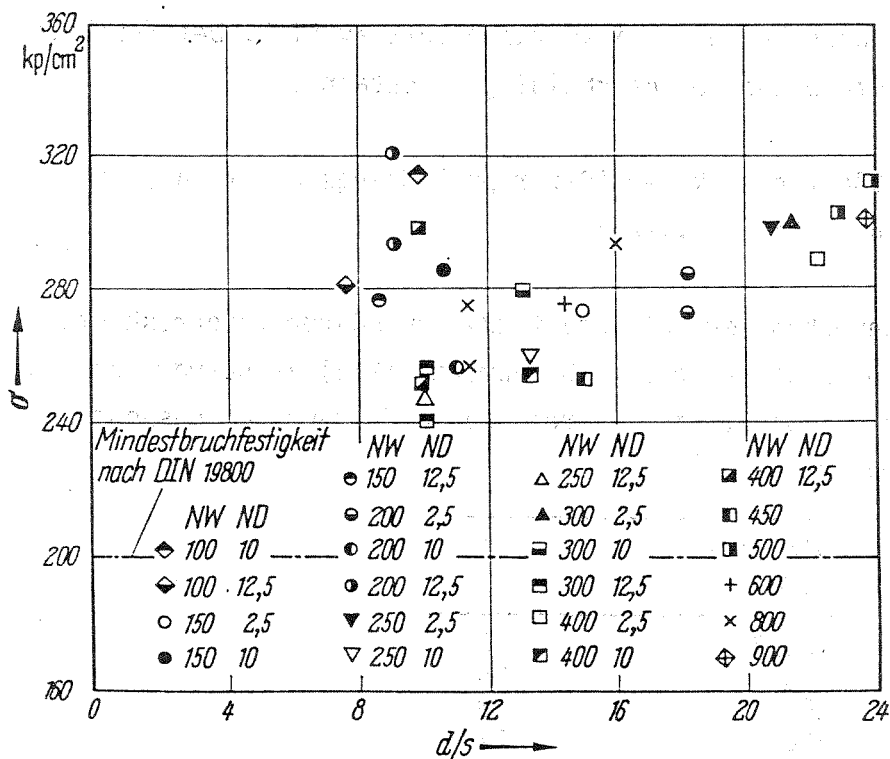
Fasthet	Diameter		Ant. tester	Middel	Standard	Varians	Land/prod.år	Referanse
	DN	mm						
Ringdrag	10	80-400	19	275	24,9	585	Tyskland 1960	Tab. 5
Ringdrag	12,5	100-400	16	271	25,3	599	Tyskland 1960	Tab. 6
Ringdrag	7,5	200	3	257	13,7	126	Danmark 1956	Tab. 8
Ringdrag	10	150	6	268	51,1	2180	Danmark 1956	Tab. 8
Ringdrag	10	200	4	311	5,5	23	Danmark 1971	Tab. 10
Ringdrag		250	3	296	16,2	175	Tyskland 1977	Tab. 11
Ringdrag		250	3	267	5,8	22	Tyskland 1981	Tab. 11
Ringdrag		500	3	313	5,8	22	Tyskland 1984	Tab. 11
Ringdrag	10	100	8	302	39,2	1348		
Ringdrag	10	150	42	293	64,0	3992		
Ringdrag	10	200	28	363	28,1	763		
Ringdrag	10	250	34	328	37,8	1386		
Ringdrag	10	300	20	355	20,2	388		
Ringdrag	10	400	16	348	24,5	563		
Bøystasthet	10	100	6	593	78,7	5163	Tyskland 1960	Tab. 7
Bøystasthet	12,5	100	6	568	46,5	1799	Tyskland 1960	Tab. 7
Bøystasthet	12,5	200	6	506	46,2	1779	Tyskland 1960	Tab. 7
Bøystasthet	7,5	200	3	548	15,2	154	Danmark 1956	Tab. 8
Bøystasthet	10	150	6	579	84,8	5988	Danmark 1956	Tab. 8
Bøystasthet	10	200	12	571	39,8	1453	Danmark 1971	Tab. 10
Bøystasthet		250	3	774	10,5	74	Tyskland 1977	Tab. 11
Bøystasthet		250	3	583	15,3	156	Tyskland 1981	Tab. 11
Bøystasthet		500	3	680	10,0	67	Tyskland 1984	Tab. 11
Bøystasthet	10	100	8	713	89,1	5959		
Bøystasthet	10	150	42	708	77,5	5856		
Bøystasthet	10	200	28	753	60,3	3508		
Bøystasthet	10	250	34	715	57,0	3156		
Bøystasthet	10	300	20	697	49,9	2368		
Bøystasthet	10	400	16	690	75,7	5377		

Tabell 12. Sammenstilling av testresultater.



Berstdrücke p_i in Abhängigkeit von den Nennweiten ($l = 50 \text{ cm}$) [F 40].

Fig. 1. Sammenhengen mellom bruddtrykk og rørdimensjon.



Bruchspannungen σ_z in Abhängigkeit von d (Rohrlänge 50 cm) [F 40].

Fig. 2. Sammenhengen mellom bruddtrykk og forhold d/s .

0-85208
LEVETID FOR ASBESTSEMENTRØR
Prosjektnotat nr. 9

AAB/LIS
20.5.86

REGISTRERING AV AC-RØR VED NORSKE VANNVERK. SIFF UNDERSØKELSE I 1982

SIFF ved Sanitær-kjemisk avdeling gjennomførte i 1982 en registrering av asbestementledninger ved norske vannverk som forsyner mer enn 100 personer. Vi regner med at det er i alt 1400 slike vannverk. Det ble sendt ut spørreskjema direkte til vannverkene eller via kommunene. Spørreskjemaet er vist i vedlegg 1.

Ifølge et internt SIFF notat (TL/sb 16.01.1984) ble det returnert spørreskjema fra 590 vannverk hvorav 309 vannverk oppgav å ha AC-rør. Det kom inn svar fra vannverk i 318 kommuner.

Resultatene fra undersøkelsen er ikke rapportert av SIFF. Det foreligger heller ikke konkrete planer om bearbeiding av dataene.

Spørreskjema fra 344 vannverk med AC-rør på ledningsnettene har blitt vurdert av NIVA. Undersøkelsen viser:

1. I de 344 vannverkene er det totalt 2840 km AC-rør (spørreskjema pkt. 7). Dette representerer ca. 70 % (Aamodt, 1986) av AC-rør lagt som vannledninger i Norge. Disse rørene hadde følgende dimensjonsfordeling (spørreskjema pkt. 7):

Diameter (mm)	%
50/75	2
100	24
150	38
200	17
250	8
300	5
350	2
400	2,5
450/600	1,5

Dimensjonen 100, 150 og 200 mm representerer ca. 80 % av totalen.

2. For 55 vannverk (16 %) ble det svart at man hadde ofte brudd/lekkasjeproblemer med AC-rørene (pkt. 10).

3. 25 % av 177 vannverk i kystfylkene fra og med Rogaland og nordover (med unntak av Hordaland) svarte at de ofte hadde brudd/lekkasjeproblemer med AC-rørene. Av de resterende 167 vannverk i landet for øvrig svarte 6 % at de hadde ofte problemer/lekkasjer med AC-rørene (pkt 10).

4. Det ble gitt følgende begrunnelse for problemene ved de 55 vannverkene (pkt. 10):

Frost, setninger, dårlig arbeid	62 %
Kuplinger, pakninger, anboringer	16 %
Tæring(hvorav myr 12 %)	22 %

5. Av totalt 93 leveranser som ble oppgitt (pkt 8) gikk ca. 3/4 gjennom 5 hovedleverandører:

Sunde et Co.	24 %
Setsaas	18 %
NORCEM	17 %
Albert E. Olsen, Trondheim	11 %
J. Aaustad, Tromsø	9 %
Andre (12 leverandører)	21 %

6. Produsentland for AC-rørene ble oppgitt til sammen 290 ganger og fordeler seg slik (pkt. 8):

Danmark	54 %	(10 %)
Tyskland	12 %	(26 %)
Belgia	17 %	(27 %)
England	10 %	(13 %)
Sverige	5 %	(8 %)
Nederland	2 %	(17 %)

Tallene i parentes viser hvor stor andel av vannverkene med leveranser fra samme land som ofte har problemer/lekkasjer med AC-rørene (pkt. 10).

7. 17 % av 344 vannverk opplyste at AC-rørene eller deler av AC-rørene hadde innvendig belegg for beskyttelse mot tæring (pkt. 9).

LITTERATUR

R.M. Aamodt, 1986: Asbestementledninger i norsk drikkevannsforsyning - den totale mengde. Miljøverndepartementets Ressursavdeling, august 1986.

STATENS INSTITUTT FOR FOLKEHELSE

POSTADRESSE: POSTTUTTAK OSLO 1

Kontoradresse: Geitmyrsvn. 75

Telegramadresse: SIFF

Sentralbord (02) 35 60 20

SANITÆR-KJEMISK AVDELING

STATENS INSTITUTT FOR FOLKEHELSE

Sanitær-kjemisk avdeling

Date 23/3 82 Inr. 664

SPØRRESKJEMA

Asbest-sementrør (AC-rør) - drikkevann

1. Vannverkets navn

Fylke Kommune

2. Vannkilde

Overflatevann Grunnvann (Sett kryss)

3. Antall personer som forsynes (dvs. befolkning i boliger og institusjoner)

<input type="checkbox"/>	100 - 499
<input type="checkbox"/>	500 - 999
<input type="checkbox"/>	1000 - 4999
<input type="checkbox"/>	5000 - 20000
<input type="checkbox"/>	Mer enn 20000

4. Er det AC-rør i vannverkets ledningsnett?

ja nei (Sett kryss)

Hvis ja, skal følgende spørsmål besvares:

5. Er det asbestsement i overføringsledninger/tilførselsledninger og/eller i distribusjonsledninger

6. Når ble hoveddelen av AC-rørene lagt?

Ar/periode:

7. AC-rørenes lengde: km, diameter:

" " km, "

" " km, "

Ledningsnettets totale lengde: km

8. Hvor er AC-rørene produsert?

Hvis mulig, oppgi også navn på produsent og/eller leverandør.

Lengde, km

Land

.....

.....

.....

.....

.....

.....

9. Er AC-rørene eller deler av AC-rørene innvendig belagt med

asfalt

eller andre stoffer

(sett kryss)

Andre stoffer, spesifiser:

10. Er det ofte brudd/lekkasje problemer m.h.t. AC-rørene?

ja

nei

(sett kryss)

Hvis ja, spesifiser omfanget og i hvilken forbindelse problemene oppstår:

.....

.....

11. Hva er verdien for nedenstående kjemiske parametre på råvann (vann direkte fra vannkilden)?

Dersom det ikke foreligger data, sett kryss her

Kalsium (Ca)
mg/l

Ledningsevne
 $\mu\text{s/cm}$

<input type="checkbox"/>	< 5
<input type="checkbox"/>	5 - 20
<input type="checkbox"/>	20 - 50
<input type="checkbox"/>	> 50

<input type="checkbox"/>	< 50
<input type="checkbox"/>	50 - 100
<input type="checkbox"/>	100 - 200
<input type="checkbox"/>	200 - 300
<input type="checkbox"/>	> 300

C-verdi nye rør

pH

Bikarbonat (Alkalitet)
mekv./l

<input type="checkbox"/>	< 6
<input type="checkbox"/>	6,0 - 6,5
<input type="checkbox"/>	6,5 - 7,0
<input type="checkbox"/>	7,0 - 7,5
<input type="checkbox"/>	> 7,5

<input type="checkbox"/>	< 0,2
<input type="checkbox"/>	0,2 - 0,8
<input type="checkbox"/>	0,8 - 2
<input type="checkbox"/>	> 2

Skjemaet
er besvart
av:

Dato:

Underskrift:

Tlf.nr:

0-85208
Levetid for AC- rør
Prosjektnotat nr. 10.

AAB/LON/GUM
19.03.87

TÆRING PÅ AC-RØR. GJENNOMGÅELSE AV UNDERSØKELSER UTFØRT I USA

Omfang

Undersøkelsene som er presentert her er primært basert på litteratur henvisninger fra arbeidene til H. Kristiansen (NIVA) og litteraturstudiet i alkaliseringsprosjektet (Vik, 1984). Videre har prosjektleder fulgt med i hva som skjer på feltet gjennom "Current Contents" (Institute for Scientific Information). Det er ikke blitt foretatt noen systematisk litteratursøk på EDB.

Registrering av asbestfiber

En rekke undersøkelser har påvist at ved innvendig tæring på AC-rør (aggressivt vann) rives asbestfibre løs fra rørveggen og føres med vannstrømmen. Fibrene har en tendens til å absorbere organiske stoffer og danne slam som kan sedimentere i røرنettet. Fibrene og slammets fordeling i vannet er bl.a. avhengig av vannhastigheten. Ulike hydrauliske forhold på ledningsnett vil derfor kunne gi store fibertallsvariasjoner. Fiberinnholdet i en vannprøve tatt ut ved for eksempel en blendflens, vil således kunne avvike vesentlig fra hva man ellers vil finne i en vannprøve fra samme ledning tappet fra kran hos forbruker. Fiberkonsentrasjonen over rørtverrsnittet vil kunne variere slik at anbringens plassering på røret ved uttak av prøve, også vil kunne være av betydning.

Uttak av representative vannprøver for fibertelling krever nøye planlegging. Selve fibertellingen i laboratoriet er videre en meget omstendelig og ressurskrevende prosess. Nevnte forhold gjør at fibertelling ikke er egnet som kvantitativ metode for registrering av tæring på AC-rør. Forholdet kompliseres ytterligere ved at graden av fiberutløsning også avhenger av fiberlengden.

Undersøkelser som utelukkende er basert på fibertelling ved kartlegging av AC-tæring, er ikke inkludert i denne litteraturgjennomgåelsen.

DWRD program

Med utgangspunkt i frykten for utløsning av asbestfibre fra AC-rør, tok American Water Works Association (AWWA), i 1974 initiativ til gjennomføring av et omfattende forskningsprogram om tæring på AC-rør. I

denne sammenheng planla US Environmental Protection Agency (EPA), Drinking Water Research Division (DWRD), flere prosjekter som tok sikte på å kartlegge tæring på AC-rør.

Buelow et al. (1980) undersøkte AC-tæring ved 10 vannverk med AC-rør på nettet. De viktigste resultatene fra vannverksundersøkelsen er vist i tabell 1.

Rørprøver fra 5 av vannverkene ble gravet opp og undersøkt. Rørprøven fra vannverk J viste tæring 3 mm inn i rørveggen. Ledningsanlegget hadde vært i drift i 5 år slik at tærings hastigheten i gjennomsnitt var 0,6 mm pr. år.

Ledningsanlegget for vannverk I var innvendig dekket med et lag av "rust". Selv om vannet etter de vanlige vannkvalitetsparameterene var sterkt aggressivt (pH 6,0, alkalitet = 0,04 mekv./l, AI = 7,46), kunne det ikke registreres noen form for tæring på røroverflaten, Jerninnholdet i vannet lå i området 0,1 - 0,15 mg/l.

Laboratorieundersøkelser som ble gjennomført i regi av DWRD er rapportert av Buelow et al (1980) og Schock and Buelow (1981). Forsøksopp-
legget er vist i figur A. Selve undersøkelses-objektet, en bit av et AC-rør, ble montert i et PVC-rør (D = 40 mm). For å studere tæringsforløpet ble vann resirkulert med en hastighet på ca. 0,35 m/s, og hvor ulike mengder av forskjellige kjemikalier ble tilsatt. Vannkvaliteten ble regulert på følgende måte: kalsiuminnholdet ved å fortynne med deionisert vann, alkaliteten ved å tilsette natrium-hydrogenbikarbonat og pH ved å tilsette saltsyre. Fritt klor ble regulert til minimum 0,2 mg/l ved å tilsette klorgass. Under forsøkene lå oksygenkonsentrasjonen i området 6 - 8 mg/l. Forsøkene hadde en varighet fra 6 til 8 måneder.

Vannkvaliteten ved de forskjellige forsøkene er vist i tabell 2. Tabell 3 viser kvaliteten på AC-prøvenes overflate ved forsøkene avslutning.

I kontrollleksperiment 1 og 3 (tabell 3) var kalkutløsingen mindre ved pH = 8,2 enn ved pH = 7,0. Kalsiuminnholdet ved forsøkets start var derimot ca. det dobbelte for eksperiment nr. 3 (pH = 7,0) sammenlignet med eksperiment nr. 1 (pH = 8,2).

Figur B viser kalsiumutløsingen som funksjon av tiden for eksperiment 1 og 2. Ved eksperiment 2 ble det tilsatt 0,3 - 0,5 mg/l sink i form av sinkortofosfat. Det fremgår at sinken klart reduserte kalsiumutløsingen. Rørbiten i eksperiment 1 fikk en bløt overflate. Ved eksperiment 2 var overflaten hard og lys grå med underliggende mørkere

grå av farge.

Figur C viser at ved pH = 7.0 er kalsiumutløsningen etter ca. 80 dager lik for kontrollsystemet (eksperiment 3) og for systemet med sink (eksperiment 4). Overflaten til rørbiten i eksperiment 3 var tydelig bløt. Overflaten ved eksperiment 4 var noe bløt, men hardere enn for eksperiment 1 og 3. Forsøkene viser at effekten av sinktilsetningen er bedre ved pH = 8,2 (eksperiment 2) enn ved pH = 7,0 da den positive effekten var kortvarig.

I eksperiment 5 ble sink-klorid tilsatt vannet istedenfor sink-ortofosfat ved pH = 8.2. Figur D viser at etter en kort periode falt kalsiumutløsningen ned mot null. Ved inspeksjon av rørbiten fant man at overflaten var meget hard og tilsvarte rørbiten for eksperiment 2 i farge.

Ved forsøk 2 og 4 sank sink konsentrasjonen jevnt under hele forsøket. Fosfat-konsentrasjonen holdt seg derimot konstant. For eksperiment 5 sank sink-konsentrasjonen sterkt i begynnelsen (fra 0,7 mg/l til 0,4 mg/l i løpet av 3 uker), men betydelig mindre etter hvert (fra 0,4 mg/l til 0,1 mg/l de siste 21 ukene).

Ved eksperiment 12 ble det benyttet samme vannkvalitet som ved eksperiment 5, men med pH = 7,5. Overflaten til rørprøven var ved forsøkets avslutning bløt. En pH verdi på 7,5 var tydeligvis ikke tilstrekkelig til å gi beskyttelse mot kalsiumutløsning.

Ved bruk av sinksulfat som sink kilde (eksperiment 16) og vannkvalitet tilsvarende eksperiment 2 og 5 (pH = 8,2), dannet det seg et blågrå farget hardt belegg på overflaten av rørbiten på samme måte som for eksperiment 2 og 5.

Figur F viser kalsiumsutløsningen for et system med høyt kalsiuminnhold og lav alkalitet (eksperiment 14) og et system med lavt kalsiuminnhold og noe høyere alkalitet (eksperiment 11). For eksperiment 14 var kalsiumutløsningen den først tiden betydelig, hvorpå den avtok og stabiliserte seg på nær samme lave nivå som for eksperiment 11. Av samtlige forsøk med sinktilsetning ved pH = 8,2 hadde AC-prøven i eksperiment 14 mykeste overflate. Av disse var også alkaliteten lavest for eksperiment 14. AC-prøven fra eksperiment 11 var overflaten dekket av et grålig hardt belegg som for eksperiment 2 og 5.

AC-rørbiten med myk overflate (tidligere utsatt for aggressivt vann) ble utsatt for samme vannkvalitet som i eksperiment 2. Kalsium utløsningen var minimal, men sinkbelegget som ble dannet, var betydelig bløtere enn for rørbiten i eksperiment 2 der nytt rør hadde vært

brukt.

EDB modell for beregning av kjemiske likevekter

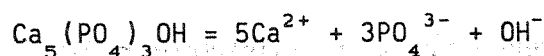
Dannelse av kalsiumkarbonat på røroverflaten er en reaksjon mellom stoffer i vannet og kalsium fra rørmaterialet. Tæringsforløpet er i stor grad styrt av løselighetsforhold der de ulike ionene gjensidig påvirker hverandre. Andre stoffer som for eks. sink, jern, mangan, magnesium og silisium kan danne passivt beskyttende belegg som nedsetter eller forhindrer tæring på AC-rør. Schock and Buelow (1981) har utviklet en modell for beregning av kjemiske likevekter i vandige løsninger for bedre å kunne bestemme om en vannkvalitet er aggressiv eller ikke. Modellen vil kunne være til hjelp ved planlegging av vannbehandling i forbindelse med etablering av et beskyttende belegg ved ulike kjemikalietilsetninger for å redusere, eventuelt hindre tæring. Til modell-beregningene ble programmet REDEQLEPAK (Ingle et al., 1978 og 1979) benyttet.

Tabell 4 og 5 viser hvilke ioner og faste stoffer som det er tatt hensyn til i modell-beregningen. Tabell 6 og 7 viser likevektskonstantene for de ulike kjemiske reaksjonene. Beregninger er utført for 19 ulike vanntyper. Vannkvaliteten for disse er vist i tabell 8. Tabell 9 viser de ulike DWRD eksperimentene (Buelow et al, 1980) med henvisning til modellsystem med tilsvarende vannkvalitet.

Det ble utført modellberegninger basert på to ulike forutsetninger:

1. Ingen utfelling ved metning/overmetning.
2. Utfelling ved metning/overmetning.

I artikkelen til Schock and Buelow (1981) er det presentert kurvesett (fig 1-20) basert på de to nevnte forutsetningene for 11 av de 19 modellsystemene. For det ene kurvesettet (ingen felling) er metningsindeksen (SI) og pH sammenholdt. For det andre kurvesettet (forutsatt felling) er sammenhengen mellom pH og metningskonsentrasjonen til det aktuelle stoffet illustrert. SI er definert som logaritmen til forholdet mellom ioneaktivitetsproduktet (IAP) og den termodynamiske løselighetsproduktkonstanten (Kso). For hydrokso-apatitt som dissosierer på følgende måte:



blir metningsindeksen:

$$\text{SI} = \text{Log} \frac{(a^5\text{Ca}^{2+} a^3\text{PO}_4^{3-} a\text{OH}^-)}{\text{Kso}}$$

Ved likevekt: $IAP = K_{so}$ og $SI = 0$

Ved overmetning: $IAP > K_{so}$ og $SI > 1$

Ikke mettet: $IAP < K_{sp}$ og $SI < 1$

Langmuir (1971) har funnet at for beregning av metningsindeksen for kalsiumkarbonat og dolomitt $CaMg(CO_3)_2$, er den sannsynlige usikkerheten $\pm 0,1 SI$. Schock and Buelow anbefaler $\pm 0,5 SI$.

Av figurene (figurene 1-20) framgår det tydelig at basisk sink-karbonat $[Zn_5(OH)_6(CO_3)_2]$ er den forbindelsen som dominerer ved utfelling for de systemene som er beregnet.

For systemene M2, M5 og M7 ble det ikke "oppnådd" metning for noen av forbindelsene. For nevnte tre systemer var sink-konsentrasjonene 0,1 mg/l.

For system M9 var sink-konsentrasjonen 0,15 mg/l. Figur 4 og 5 viser et begrenset metningsområde for systemet. M9 tilsvare eksperiment 13 i DWRD's laboratorieforsøk (tab. 2) med en pH = 8,2 og en sink-konsentrasjon på 0,1-0,2 mg/l. AC-prøven i eksperiment 13 var tydelig myk på overflaten. Sink-konsentrasjonen var for lav til dannelsen av et beskyttende belegg av basisk sink-karbonat. Metningspunktet ligger trolig i området pH = 8,5 (jfr. fig 4). Vannkvaliteten for eksperiment 5 og 13 var tilnærmet lik (noe høyere Ca-innhold for eksperiment 13). For eksperiment 5, tilsvarende M12, lå sink-konsentrasjonen på 0,3--0,7, og på overflaten av AC-prøven dannet det seg et blå-grå farget hardt belegg. For dannelsen av et beskyttende sink belegg ved denne vannkvaliteten, må sink-konsentrasjonen være over 0,3 mg/l.

Sammenhengen mellom løseligheten av sink og totalt innhold av karbonat ved forskjellige pH-verdier er vist i figur 21. Diagrammet illustrerer tydelig at det i pH-området 8-9 oppnås lite ved å øke karbonatkonsentrasjonen over 50 mg/l (målt som $CaCO_3$). Metningskonsentrasjonen for sink ved pH = 8,5 er betydelig lavere enn ved pH = 8. Derimot er forskjellen mellom pH = 9 og pH = 8,5 ubetydelig.

Schock and Buelow mener å kunne påvise at kalsiuminnholdet ikke påvirker dannelsen av sinkbelegg, men at kalsium muligens bidrar til å stabilisere kalsium silikat fasene i sementen.

For samtlige av modellsystemene presentert i kurve-serien inntreffer metning av sink $(Zn_5(CO_3)_2(OH)_6)$ i pH området 8,0 - 8,5.

Schock and Buelow (1981) konkluderer bl.a. med:

1. Tøring på AC-rør styres ikke bare av karbonatlikvekten. En indeks for AC-tøring må også ta hensyn til silisium-, jern-, mangan- og sink-innholdet i vannet. Ved flere undersøkelser har det vist seg at innholdet av nevnte stoffer og ikke kalsiumkarbonat-likevekten, har vært utgangspunkt for dannelse av beskyttende belegg. Hvilken rolle innholdet av organisk stoff spiller i denne sammenheng, er ikke kjent.
2. Beleggdannelse kan for enkelte systemer hindre frigjøring av asbestfiber, uten at utløsning av kalsium forhindres.
3. Tilsetning av sink-klorid, sink-sulfat eller sink-ortofosfat kan danne beskyttende belegg på røroverflaten. I nevnte salter er sinken den aktive bestanddelen ved at det dannes basisk sink-karbonat. Det er påvist at sinken reagerer med rørveggen og at en hard sink-silikat overflate blir dannet.
4. Tilsetning av sink-klorid eller sink-sulfat ga ingen eller ubetydelig beskyttelse av metalliske rør. Derimot har forsøk utført av DWRD ved pH = 8,2 påvist at sink-ortofosfat gav korrosjonsbeskyttelse både for AC-rør og rør av bly.
5. Korrosjonsbehandling med sink tilsetning forutsetter nytt eller rengjort rør. Rør som er utsatt for tøring slik at røroverflaten er bløt og ujevn, må skrapes eller forbehandles på annen måte før sinkbehandlingen begynnes.

Korrosjonsundersøkelser for City of Bellevue

James M. Montgomery Consulting Engineers i samarbeid med the City of Bellevue's Water and Sewer Utilities Department, utførte en korrosjonsundersøkelse av vannverket i City of Bellevue (Tate et al., 1984). Bellevue får vann fra de to vannkildene (Tolt River og Cedar River) i Seattle. Ledningsnettets i Bellevue består for det meste av AC-rør. Deler av ledningsnettets er 30-40 år gammelt.

For å redusere korrosjon på spesielt kopper og galvanisert stålrør i private husinstallasjoner i Seattle, ble det bestemt å tilsette ca. 10 mg/l soda (Na_2CO_3) til vannet fra Tolt River og heve pH verdien til ca- 8,2 ved hjelp av CaO for både Tolt og Cedar vann.

Korrosjonsundersøkelsen for Bellevue ble delt i to faser: (1) dagers korrosjonsforhold på ledningsnettets og pilotforsøk for utprøving av

ulike behandlingsformer, og (2) utprøving av den mest effektive metoden på nettet.

For å komme fram til en enkel måte å måle graden av AC-tæring på, ble innledningsvis to ulike metoder for hardhetstesting av AC-overflaten utprøvet:

Shore "D" test. En kalibrert fjær presser en stålspliss inn i materialet som skal testes. En skala viser graden av inntrengning i materialet; 100 % tilsvarer 0 inntrengning og 0 % tilsvarer 0,25 cm inntrengning. Testobjektet skal være minimum 0,64 cm tykt.

Rockwell "L" test. En stålkule med diameter på 0,64 cm påføres en kraft på 10 kg og presses mot prøven. Deretter påføres ytterligere 60 kg på kula som trenger inn i prøven. Inntrengningen måles etter at kraften på 60 kg er fjernet fra kula, mens den fortsatt har en belastningen på 10 kg. Innsynkningen i prøven registreres på en skala; 100 tilsvarer hardt materiale og 0 bløtt materiale. Testobjektet må være så tykt at det ikke buler ut på undersiden under testen.

Rørprøver fra to steder på AC-nettet og fra nytt rør ble testet. Resultatene er vist i tabell 10. Som det framgår har testresultatene fra samme rørprøve god samling. I hvilken grad rørprøvens vanninnhold påvirket hardheten, ble også undersøkt. Resultatene fra en prøveserie er vist i tabell 11. Typisk var at hardheten økte med under 5 %. Tilsynelatende var det ingen forskjell om rørprøven ble tørket i ovn eller i lufta.

I perioden april 1981- mars 1982, ble det fra vannledningsnettet i Bellevue tatt ut vannprøver ca. hver måned fra fire lokaliteter; to fra nettet som ble forsynt med Cedar vann og to fra nettet som ble forsynt med Tolt vann. For området med Cedar vann ble prøver tatt ut før AC-nettets begynnelse (D1) og etter en strekning med AC-rør på ca. 1 km (D2), tilsvarende en oppholdstid i røret på 10-20 timer. For området med Tolt vann ble på tilsvarende måte prøver tatt ut før AC-nettets begynnelse (D3) og etter en strekning med AC-rør på ca. 5 km (D4), tilsvarende en oppholdstid i røret på 15-25 timer (Tabell 12 viser analyseresultatene for Tolt vann og tabell 13 for Cedar vann).

Resultatene viser at kalsium, alkaliteten, pH, silisium og Langliers indeks økte i AC-nettet for begge vanntypene. Felles for begge systemene var også at både magnesium- og sink-konsentrasjonen sank ved opphold i AC-nettet.

Samtidig med undersøkelsene på AC-nettet ble det gjennomført pilotforsøk med resirkulering i lukket system. Forsøksopplegg (jfr. fig. A)

tilsvarende det som er beskrevet av Buelow et al (1980) ble brukt. AC-prøver (2,5 x 15 cm) fra nye rør med D = 150 mm ble montert i 8 parallelle prøve-opplegg for å undersøke tæringsforløpet ved ulike vannkvaliteter. Forsøket pågikk i 48 uker. Volumstrømmen varierte i området 10-13 l/min.

Forsøksbetingelsene er vist i tabell 14. Ved gjennomføring av programmet ble vannkvaliteten justert en gang pr. uke. For kontrollsystemene (tank 1 og tank 2), ble klor-konsentrasjonen under hele forsøket holdt i området 0,5-2,0 mg/l. Ved de seks andre systemene ble det i tillegg til klor justeringen tilsatt nødvendige mengder NaOH/HCl for å holde ønskelig pH-nivå.

For å kunne studere tæringseffekten ble AC-prøvene undersøkt på følgende måte:

1. Vektreduksjon
2. Hardhet
3. Scanning elektron mikroskopi (SEM).

Testresultatene er vist i tabell 15 - 17. Undersøkelse i elektronmikroskop (SEM) indikerer at tilsetning av sink gir beskyttelse mot tæring, men liten forskjell mellom system 5 og system 6.

I perioden april 1983 - mars 1984 ble det gjennomført forsøk i full skala med tilsetning av sink (0,6 mg/l) til et område som ble forsynt med Tolt vann. Under forsøket var: pH = 7,9 - 8,7 og alkaliteten 8 - 22 mg/l (CaCO_3). Resultatene fra forsøket viser bl.a:

1. Det var ikke klart om sinken reduserte fiberutløsingen.
2. Man kunne ikke ut fra hardhetstesting sikkert fastslå om sinken hadde positiv effekt på et nytt rør som ble installert under forsøksperioden.
3. Resultatene fra måling av kalsiumtap (SEM) fra AC-biter montert i vannstrømmen på nettet, viste ingen forskjell for prøver i vann tilsatt sink og prøver montert i kontrollområdet uten sinktilsetning.
4. Sink i systemet ble både avsatt som belegg på rørvæggen og utfelt som partikulært stoff i vannet.

En undersøkelse for å kartlegge effekten av tilsetning av sink-ortofosfat på AC-tæring ble gjennomført ved Greenwood vannverket i Sør Carolina i 1977. AC-ledningsnettets som hadde vært i bruk siden 1945, viste tydelige tegn på tæring. På ledningsnettets ca. 17 km fra behandlingsanlegget der sink ble tilsatt under forsøksperioden, ble et ubrukt AC-rør med D = 200 mm installert (lokalitet A). Videre på en annen del av nettet ca 5 km fra behandlingsanlegget, ble et ubrukt AC-rør med D = 150 mm montert (lokalitet B). Vannhastigheten ved lokalitet A var betydelig høyere enn ved lokalitet B.

Dosering av sink-ortofosfat ble utført etter følgende mønster; de første 3 dagene 3 mg/l, de neste 37 dagene 0,5 mg/l og dernest 0,3 mg/l resten av forsøksperioden.

Vannkvaliteten under forsøksperioden var:

	Ved behandlingsanlegget	Lokalitet A (D = 200mm)	Lokalitet B (D = 150 mm)
Aggressivitets indeks	10.-10,5	10,6-11,2	11,2-11,9
Sink (mg/l)	0,3	0,2	0,1
Alkalitet (mg/l CaCO ₃)	20		
Total hardhet (mg/l CaCO ₃)	10		
Fe (mg/l)	0,1		

Ved testperiodens slutt ble rørene gravd opp og undersøkt. SEM- analysen viste at ved lokalitet A (0,2mg Zn/l) var det kommet et sink belegg på rørets innvendige overflate. Ved lokalitet B (0,1 mg Zn/l) var større områder innvendig i røret uten tilsvarende belegg. Rørenes indre overflate ble også undersøkt ved hjelp av et røntgen spektrometer. Også denne metoden viste at sinkbelegget som var dannet ved lokalitet A, var mer fullstendig enn for røret ved lokalitet B. For rørprøven ved lokalitet A ble det påvist jern i det innvendige belegget. Undersøkelsen viste at en sink konsentrasjon på minimum 0,2 mg/l er nødvendig for beleggdannelse fra denne vannkvaliteten. Det framgår derimot ikke av undersøkelsen om belegget som ble dannet egentlig gav noen beskyttelse mot AC-tæring.

Weston, Wisconsin undersøkelsen (Logsdon 1984)

Etter at det ble oppdaget sterk tæring på deler av AC- nettet på vannverket i Weston, ble forsøk med tilsetning av sink-klorid til vannet igangsatt. Vann fra vannverket ble ført gjennom 3 parallelle linjer i en periode på 6 måneder. I hver linje ble det montert AC-prøvestykker. Prøvestykkene ble tatt både fra nytt rør og fra AC-rør på nettet

som hadde vært utsatt for tæring. Sink-klorid ble tilsatt vannet ved to av linjene. For linjen med høyeste sink-dose ble pH-verdiene justert til 8,5. For de to andre linjene ble det ikke foretatt noen pH justering. Forsøksanlegget er vist skjematisk i figur 22, og resultatene er presentert i tabell 18.

Resultatene for hardhetstestene viser ikke noen positiv effekt ved å tilsette sink. I forbindelse med fjerning av jern og mangan ved vannverkets behandlingsanlegg ble det tilsatt polyfosfat. Polyfosfaten kan ha virket forstyrrende inn ved å hindre utfelling av sink og derved dannelse av et beskyttende belegg.

Forskjellen i AC-prøvestykkenes vekt før og etter forsøket kan si noe om tæringsforløpet eller dannelse av beskyttende belegg. Vanninnholdet i prøvene vil innvirke på vekten. For å kunne sammenligne er det derfor nødvendig å gå ut fra tørrvekten. Dette var man ikke klar over ved forsøksstart, slik at våtvekten ble registrert som referanse. Vektregistreringene ved forsøket har derfor liten verdi. Det antydes at en tørketid på 5-7 dager før veiing er tilstrekkelig. Tørrvekten vil da ligge innenfor 1% av tørrvekten etter 97 dagers tørking.

For å studere effekten av innvendig skraping av AC-rør utsatt for tæring, ble forskjellige skrapemetoder utprøvet på en ca. 400 m (D = 150 mm) lang AC-rørstrekning ved vannverket i Weston. Prøveområdet ble delt opp i 3 soner og avstengt fra ledningsnettets for øvrig. 2" PVC-ledninger ble montert i tilknytning til 2 av sonene som vist på fig. 22. Etter hver skrapeprosess ble den aktuelle ledningssone spylt ren og vann tilført systemet for resirkulering over en viss tid. Rørprøven fra ledningen ble tatt ut for ulike tester, etter hvert som de enkelte skrapeprosessene var gjennomført. Ved hjelp av SEM ble det registrert hvor langt innover i rørveggen kalsiumtapet var nådd. Måleresultatene er vist i tabell 19.

Standarden setter krav om at godstykkelsen til det aktuelle røret skal være større enn 19,81 mm. Samtlige målinger viste høyere godstykkelse enn 19,81 mm. Godstykkelsen fra de forskjellige rørprøvene varierte betydelig. Skraping av rørene reduserte veggtykkelsen i liten grad. Stor forskjell i tæringsdypet ble registrert (2,1-6,5 mm). Hardheten til samtlige rørprøver både før og etter utført skraping var mindre enn for nytt rør. I nye rør er forholdet mellom kalsium og silisium konstant gjennom hele rørveggen. I AC-prøvene fra Weston er silisiuminnholdet konstant over rørveggverrsnittet (Logsdon and Millette.-1982). For nytt rør lå Ca/Si forholdet på 0,83. De lave Ca/Si forholdene registrert etter at de ulike utskrapingene er foretatt, viser at det ikke har vært mulig å fjerne det tærede (bløte) materialet fullstendig.

Belegg av utfelt jern. Undersøkelse av rørprøver fra 10 vannverk (Millette and Kineman, 1983)

Innvendig belegg på AC-rør fra 10 vannverk i USA er undersøkt. Røntgen analyse ble brukt til å bestemme hvor dypt inn i rørveggen kalsium var løst ut og for å finne mengden av jern og andre stoffer i belegget. Resultatene fra undersøkelsen er vist i tabell 20 og tabell 21. Supplerende laboratorieforsøk med utstyr tilsvarende det som er vist i fig. A ble også utført. I det følgende er det innvendige belegget på rørprøvene fra hvert vannverk beskrevet.

System J: 90% av tiden de siste årene hadde jerninnholdet vært $\geq 0,1$ mg/l. Vannhastigheten var ca. 0,6 m/s (jfr.tab.1).

Betydelige mengder med fiber på røroverflaten. Ikke utfelt jern (kun enkelte steder i små fordypninger).

System K: Jerninnhold ca. 0,16 mg/l og A1 = 9,1. Orange belegg.

Små krystaller av jernoksyd dekket overflaten. Noen fibre på overflaten. Disse var dekket av utfelt jern.

System L: Jerninnhold ved vannkilden 0,04-5,6 mg/l.

Tilsvarende belegg som for system K. På enkelte områder flaket belegget av og blottstilte fibrene.

System M: Jerninnhold $< 0,1$ mg/l.

Betydelige mengder med fibre i overflaten. Ikke belegg av utfelt jern (kun enkelte steder i små fordypninger).

System N: Jerninnhold 0,0 mg/l. Sinkinnhold 0,4-0,5 mg/l, pH = 7,4 alkalitet = 34 mg/l (CaCO_3) og kalsiuminnholdet på 30 mg/l (CaCO_3).

Belegg av større krystaller enn for K, L og Q. Tilsvarende belegget ved system R, men krystallene besto av jernoksyd (sannsynligvis hematitt). Belegget var rikt på sink.

System I: Jerninnhold 0,1-0,15 mg/l. Vannhastighet var nær null.

Rustaktig belegg. Noe kalsium utløst fra rørmaterialet. Fibre såvidt synlige på enkelte steder.

System O: Skiftende vannkvalitet. Jerninnhold $< 0,01$ mg/l

Delvis beskyttende belegg. På et område var fibre synlig på overflaten.

System P: Varierende vannkvalitet. Jerninnhold i gjennomsnitt $0,02$ mg/l ($0,0-0,5$ mg/l).

Utseende som nytt rør, men var noe mykere og noe kalsium løst ut. Overflaten dekket av små krystaller.

System Q: Flere vannkilder.

Belegget var orange-gult av farge og bestod av små krystaller hvor jern og kalsium inngikk. Ikke spor av fiber på overflaten.

System R: Tilsetning av CaO (L.I. = $+1,7$).

$0,9$ mm tykt, hvitt porøst og partikulært belegg. Belegget var mykt i forhold til nytt rør, men under var hardheten som for nytt rør. Belegget bestod for det meste av kalsiumkarbonat.

Undersøkelsen viste at i aggressivt jernholdig vann ble det dannet et porøst belegg som dannet en barriere mot fiberutløsning, men ikke for utløsning av kalsium. Belegget ble ikke dannet som en sammenhengende film (ikke avsatt lagvis), men som krystaller av jern. Andelen jern på overflaten økte lineært med tiden. Det ble registrert en sammenheng mellom graden av kalsium-utløsning og overflate hardheten (Durometer). Sammenhengen mellom utløst kalsium fra røroverflaten og hardheten er vist i figur 24. Resultatene inkluderer både undersøkelser i laboratoriet og ved vannverk. Verdien symbolisert med OS i figuren, representerer en rørprøve sendt fra Norge (Kristiansen, 1977). Lineær korrosjonsanalyse for sammenhengen mellom kalsiumutløsning og hardhet, gir en korrelasjonskoeffisient på $0,953$.

LITTERATUR

Vik, E.A. (1984): Treatment for Corrosion Control. Literature Review and Research Program. Project report no. 3. Drikkevannsrapport 10/84.

Buelow et al (1980): R.W. Buelow, J.R. Millette, E.F. Mc Farren and J.M. Symons. The Behaviour of Asbestos-Cement Pipe under various Water Quality Conditions. A Progress Report. Jour. AWWA, 72:2, 91 (1980).

Logsdon 1981: Gary S. Logsdon; Field Test of Corrosion Control to Protect Asbestos Cement Pipe. Project Summary. EPA-600/S2-81-023 Mar. 1981.

Logsdon 1984: Gary S. Logsdon, Control of Asbestos Fibre Loss from Asbestos-cement Water main. EPA - 600/S2-84-014 Mar. 1984.

Logsdon and Millette 198?: Gary S. Logsdon and James R. Millette. Monitoring for corrosion of A/C pipe. Udatert notat.

Millette and Kinman 1983: James R. Millette and Riley N. Kinman, Iron containing coatings on asbestocement pipes exposed to aggressive water. Preprint Proceedings of AWWA Water Quality Technical Conference. Dec. 4-7, 1983.

Ingle et al., 1978: S.E. Ingle et al.; A Users Guide for REDEQLEPA. A computer program for Chemical Equilibria in Aqueous Systems. EPA-600/3-78-024 (Feb. 1978).

Ingle et al., 1979: S.E. Ingle et al: REDEQLEPAK Aqueous Chemical Equilibrium Computer Program. Marine and Fresh Water Ecology Branch, Corvallis Envir. Res.Lab. Corvallis, Orc. (1979).

Langmuir 1971: D. Langmuir. The Geochemistry of Some Carbonate Ground Waters in Central Pennsylvania. Geochem. Cosmochem Acta 35:1023 (1971).

Kennedy Engineers 1978: City of Seattle Internal Corrosion Study, Phase 2 Report, February 1978.

Tate et al., 1984: C.H. Tate, B.L. Ramaley, J.J. Vasconcelos, and B.M. Chow. Control of Asbestos Loss from Asbestos -Cement Pipe in Aggressive Waters. Draft of EPA report with Cooperative Agreement CR 807789010 (1984).

Schock and Buelow, 1981: Michael R. Schock and Ralph W. Buelow. The behaviour of asbestos - cement pipe under various water quality conditions. Part 2, theoretical considerations. Jour. AWWA, December 1981.

Kristiansen 1977: Hans Kristiansen. Corrosion on asbestos cement pipes. Vatten 1. 53-61 (1977).

Millette et al., 1984: James R. Millette, Garry S. Logsdon, Patric J. Clark, and Riley N. Kinman. Evaluating the Condition of Asbestos -Cement Pipe Corrosion. Paper number 152, April 2-6, 1984.

System/	Initial Aggressiveness Index	pH	Alkalinity as CaCO ₃ mg/L	Calcium Hardness as CaCO ₃ mg/L	Consistently Quantifiable Fibers	Pipe Wall Deteriorated as Determined by Inspection
A	5.34	5.2	1.0	1.4	yes	yes
J	5.67	4.8	3.0	2.5	yes	yes
I	7.46	8.0	4.0	7.5	no	no
H	8.74	7.1	89	0.5	yes	yes
B	8.51	7.2	14	14.5	yes	yes
G	10.48	8.3	20	7.5	yes	.
C	11.58	7.5	88	82	no	.
D	12.54	7.8	220	250	no	.
E	12.74	9.4	50	44	no	.

*Not inspected

Tabell 1. Undersøkelse av AC-tøring ved 10 vannverk (DWRD).

Water qualities of DWRD recirculation experiments

Experiment Number	pH	Total Alkalinity mg/L as CaCO ₃	Ca mg/L	Zn mg/L	PO ₄ mg/l.	Na mg/l.	K mg/L	Mg mg/L	SiO ₂ mg/L	Cl mg/L	FCR† mg/L as CL	TDS mg/L	SPC μS/cm	AI‡	Treatment Chemical
1	8.2	20-27	5-13								0.1-0.4	30-60		10.2-10.8	none
2	8.2	20-26	4-8	0.3-0.5	0.4-1						0.1-0.4	32-61		10.1-10.5	zinc orthophosphate§
3	7.0	21-25	10-22								0.1-0.4	45-71		9.3-9.7	none
4	7.0	20-29	9-17	0.3-0.6	0.4-1						0.1-0.4	49-72		9.3-9.7	zinc orthophosphate§
5	8.2	19-22	5-8	0.3-0.7					0.1-2		0.1-0.4	36-41		10.2-10.4	zinc chloride
6	7.5	118-130	133-155	0.03		60**			1-4	94**	0-0.6	340-360		11.7-11.8	none
7	7.9	120-131	129-160	0.04		60**			1-4	94**	0-0.7	330-360		12.1-12.2	CaCl ₂ /NaHCO ₃
8	9.0	38-42	21-30	<0.02	0.2				0.1-2		0-0.4	80-101		11.9-12.1	CaCl ₂ /NaHCO ₃
9	8.2	42-50	9-16	0.02					15-18	30	0.1-0.5	148	231	10.8-11.1	sodium metasilicate
10††	7.0	25-27	13-16	0.1				1.5	14-17		0-0.5	108		9.5-9.6	sodium metasilicate
11	8.2	18-19	0.6-4	0.3-0.4	0.03	10	<0.1	0.1	3	<10	0.2-0.6	24		9.2-10.1	zinc chloride
12	7.5	18-21	9-14	0.3-0.4	0.03	8-9	0.2	0.6	2-3	<10	0.2-0.5	41	78	9.7-10.0	zinc chloride
13	8.2	19-21	10-15	0.1-0.2	0.03	9-10	0.2	0.6	0.2	<10	0.2-0.5	44	83	10.5-10.7	zinc chloride
14	8.2	2-4	32-43	0.3-0.4	0.06			1.3	1-8	27	0.2-0.6	83	104	10.0-10.4	zinc chloride
16	8.2	16-19	7-10	0.3-0.5	<0.2	13		0.8	<0.4	<10	0.4-0.7	47-83	100	10.2-10.5	zinc sulfate
18	7.2	18-21	9-25	0.1	0.1	10	0.3	1.0	<0.2	13	0.1-0.3	43	78	9.4-9.9	zinc chloride and iron (III) chloride

*Analyses represent concentrations at or near the end of each experiment unless a range is given. All sulfate values were less than the 15-mg/L detection limit. Based on the water blending conditions, the probable range was 5-10 mg/L. Iron was less than the 0.1 mg/L calibration limit, except for experiment 19 in which approximately 0.1 mg/L of iron was added.

†Free chlorine residual measured one week after each dose

‡AI = Aggressiveness Index range; see text for definition

§Virchem 931, a product of Virginia Chemical Corp., Portsmouth, Va.

**Sodium and chloride concentrations are estimated from reagent additions. There was a large analytical scatter on the calcium and total alkalinity results.

††The same coupon was previously run for almost one month at SiO₂ concentration of 10-30 mg/L and zinc approximately equal to 0.2 mg/L at a similar pH, total alkalinity, and calcium level.

Tabell 2. Vannkvaliteten under laboratorieforsøk med AC-tøring (DWRD).

Summary of qualitative results of DWRD A/C pipe treatment experiments

Experiment Number	pH	Treatment Process	Inner Wall of Coupon Softened?
1	8.2	none	yes
2	8.2	zinc (orthophosphate) 0.3-0.5 mg/L	no
3	7.0	none	yes
4	7.0	zinc (orthophosphate) 0.3-0.5 mg/L	slightly
5	8.2	zinc (chloride) 0.3-0.7 mg/L	no
6	7.5	none	yes
7	7.9	CaCO ₃ saturation	very slightly
8	9.0	CaCO ₃ saturation	slightly
9	8.2	sodium metasilicate	no
10	7.0	sodium metasilicate	no
11	8.2	zinc (chloride) 0.4 mg/L; low calcium	no
12	7.5	zinc (chloride) 0.4 mg/L	slightly
13	8.2	zinc (chloride) 0.1-0.2 mg/L	yes
14	8.2	zinc (chloride) 0.4 mg/L; low alkalinity	very slightly
16	8.2	zinc (sulfate) 0.5 mg/L	no
19	7.2	iron (III) (chloride) 0.1 mg/L; zinc (chloride) 0.1 mg/L	slightly

Tabell 3. Kvaliteten på AC-rør utsatt for aggressivt vann (lab.forsøk DWRD).

Solid species considered in Saturation Index and solubility diagram preparation

Solid (Chemical Formula)	Common Name
CaCO ₃	calcite
Ca(OH) ₂	portlandite
CaHPO ₄ · 2H ₂ O	brushite
Ca ₈ H ₂ (PO ₄) ₆ · 5H ₂ O	octacalcium phosphate
Ca ₅ (PO ₄) ₃ OH	hydroxyapatite
MgCO ₃	magnesite
Mg(OH) ₂	brucite
Mg ₃ (PO ₄) ₂	magnesium orthophosphate
ZnCO ₃	smithsonite
Zn ₅ (OH) ₆ (CO ₃) ₂	hydrozincite
Zn(OH) ₂	zinc hydroxide
Zn ₃ (PO ₄) ₂ · 4H ₂ O	α-hopeite
Fe(OH) ₃	amorphous iron (III) hydroxide
FePO ₄ · H ₂ O	strengite

Aqueous reactions considered in the construction of the Saturation Index and precipitation diagrams

Reaction	log K†	Source
Hydrogen		
H ⁺ + OH ⁻ = H ₂ O	14.00	1
2H ⁺ + CO ₃ ²⁻ = H ₂ CO ₃ [*]	16.7	2
H ⁺ + CO ₃ ²⁻ = HCO ₃ ⁻	10.3	3
2H ⁺ + CO ₃ ²⁻ = CO ₂ (g) + H ₂ O	18.14	2
H ⁺ + PO ₄ ³⁻ = HPO ₄ ²⁻	12.4	4
2H ⁺ + PO ₄ ³⁻ = H ₂ PO ₄ ⁻	19.6	4
3H ⁺ + PO ₄ ³⁻ = H ₃ PO ₄ [°]	21.7	4
Calcium		
Ca ²⁺ + H ₂ O = CaOH ⁺ + H ⁺	-12.6	5
Ca ²⁺ + CO ₃ ²⁻ = CaCO ₃ [°]	3.2	5
Ca ²⁺ + CO ₃ ²⁻ + H ⁺ = CaHCO ₃ ⁺	11.3	5
Ca ²⁺ + H ⁺ + PO ₄ ³⁻ = CaHPO ₄ [°]	15.1	5
Ca ²⁺ + 2H ⁺ + PO ₄ ³⁻ = CaH ₂ PO ₄ ⁺	20.3	5
Ca ²⁺ + PO ₄ ³⁻ = CaPO ₄ ⁻	8.5	5
Magnesium		
Mg ²⁺ + H ₂ O = MgOH ⁺ + H ⁺	-11.8	5
Mg ²⁺ + CO ₃ ²⁻ = MgCO ₃ [°]	3.0	5
Mg ²⁺ + CO ₃ ²⁻ + H ⁺ = MgHCO ₃ ⁺	11.4	5
Mg ²⁺ + H ⁺ + PO ₄ ³⁻ = MgHPO ₄ [°]	15.3	5
Sodium		
Na ⁺ + CO ₃ ²⁻ = NaCO ₃ ⁻	1.2	5
Zinc		
2Zn ²⁺ + H ₂ O = Zn ₂ OH ²⁺ + H ⁺	-9.0	1
Zn ²⁺ + H ₂ O = ZnOH ⁺ + H ⁺	-9.0	1
Zn ²⁺ + 2H ₂ O = Zn(OH) ₂ [°] + 2H ⁺	-16.9	1
Zn ²⁺ + 3H ₂ O = Zn(OH) ₃ ⁻ + 3H ⁺	-28.4	1
Zn ²⁺ + 4H ₂ O = Zn(OH) ₄ ²⁻ + 4H ⁺	-41.2	1
Zn ²⁺ + H ⁺ + PO ₄ ³⁻ = ZnHPO ₄ [°]	15.6	4
Zn ²⁺ + 2H ⁺ + PO ₄ ³⁻ = ZnH ₂ PO ₄ ⁺	21.2	4
Zn ²⁺ + CO ₃ ²⁻ = ZnCO ₃ [°]	4.8†	6
Zn ²⁺ + H ₂ O + Cl ⁻ = ZnClOH [°] + H ⁺	-7.5	7
Zn ²⁺ + Cl ⁻ = ZnCl ⁺	0.4	4
Zn ²⁺ + 2Cl ⁻ = ZnCl ₂ [°]	0.8	4
Zn ²⁺ + 3Cl ⁻ = ZnCl ₃ ⁻	0.5	4
Zn ²⁺ + 4Cl ⁻ = ZnCl ₄ ²⁻	0.2	4
Iron		
Fe ²⁺ + H ₂ O = FeOH ⁺ + H ⁺	-2.2	1
Fe ²⁺ + 2H ₂ O = Fe(OH) ₂ [°] + 2H ⁺	-5.7	1
Fe ²⁺ + 3H ₂ O = Fe(OH) ₃ [°] + 3H ⁺	-13.6	1
Fe ²⁺ + 4H ₂ O = Fe(OH) ₄ ⁻ + 4H ⁺	-21.6	1
2Fe ²⁺ + 2H ₂ O = Fe ₂ (OH) ₂ ²⁺ + 2H ⁺	-3.0	1
3Fe ²⁺ + 4H ₂ O = Fe ₃ (OH) ₄ ³⁺ + 4H ⁺	-6.3	1
Fe ²⁺ + H ⁺ + PO ₄ ³⁻ = FeHPO ₄ [°]	17.8	5
Fe ²⁺ + Cl ⁻ = FeCl ⁺	1.4	5
Fe ²⁺ + 2Cl ⁻ = FeCl ₂ [°]	2.1	5
Fe ²⁺ + 3Cl ⁻ = FeCl ₃ [°]	1.1	5

Tab. 4

Aqueous species considered in saturation index and solubility diagram preparation

Species	
H ⁺	ZnCl ₂ [°]
OH ⁻	ZnCl ₃ ⁻
H ₂ CO ₃ [*]	ZnCl ₄ ²⁻
HCO ₃ ⁻	ZnClOH [°]
CO ₃ ²⁻	ZnHPO ₄ [°]
H ₃ PO ₄ [°]	ZnH ₂ PO ₄ ⁺
H ₂ PO ₄ ⁻	ZnOH ⁺
HPO ₄ ²⁻	Zn(OH) ₂ [°]
PO ₄ ³⁻	Zn(OH) ₃ ⁻
Ca ²⁺	Zn(OH) ₄ ²⁻
CaHCO ₃ ⁺	Zn ₂ OH ²⁺
CaCO ₃ [°]	Fe ²⁺
CaHPO ₄ [°]	FeOH ⁺
CaPO ₄ ⁻	Fe(OH) ₂ [°]
CaH ₂ PO ₄ ⁺	Fe(OH) ₃ [°]
CaOH ⁺	Fe(OH) ₄ ⁻
Mg ²⁺	Fe ₂ (OH) ₂ ²⁺
MgHCO ₃ ⁺	Fe ₃ (OH) ₄ ³⁺
MgOH ⁺	FeSO ₄ [°]
MgCO ₃ [°]	FeCl ⁺
MgHPO ₄ [°]	FeCl ₂ [°]
Na ⁺	FeCl ₃ [°]
NaCO ₃ ⁻	FeHPO ₄ [°]
ZnCO ₃ [°]	
ZnCl ⁺	

Tab. 5

Tab. 6

†All data are for 25°C.

‡The published data of Bilinski et al¹¹ have been reinterpreted by Schock et al¹ in terms of both ZnCO₃[°] and Zn(CO₃)₂²⁻, with log K = 5.2 for ZnCO₃[°] and with log K = 7.5 for the reaction: Zn²⁺ + 2CO₃²⁻ = Zn(CO₃)₂²⁻. These constants were incorporated into the model after the calculations reported in this paper were performed.

Sources:

1. BAES, C.F. JR. & MESMER, R.E. *The Hydrolysis of Cations*. Wiley-Interscience, New York (1976).
2. HARNED, H.S. & DAVIES, R. JR. *Jour. ACS*, 65:2030 (1943).
3. HARNED, H.S. & SCHOLLES, S.R. JR. *Jour. ACS*, 63:1706 (1941).
4. SMITH, R.M. & MARTELL, A.E. *Critical Stability Constants: Vol. 4. Inorganic Complexes*. Plenum Press, New York (1976).
5. PLUMMER, L.N. ET AL. WATEQF—A FORTRAN IV Version of WATEQ, A Computer Program for Calculating Chemical Equilibrium of Natural Water. USGS WRI 76-13 (Dec. 1978).
6. BILINSKI, H. ET AL. *Anal. Chim. Acta*, 84:157 (1976).
7. WAGMAN, D.D. ET AL. NBS Tech. Note 270-3 (Jan. 1968).

Solid reactions considered in Saturation Index diagram preparation*

Reaction	log K	Source
Calcium		
Ca ²⁺ + CO ₃ ²⁻ = CaCO ₃ (s)	8.5	1
Ca ²⁺ + 2H ₂ O = Ca(OH) ₂ (s) + 2H ⁺	-22.8	2
Ca ²⁺ + H ⁺ + PO ₄ ³⁻ + 2H ₂ O = CaHPO ₄ · 2H ₂ O(s)	18.9	3
8Ca ²⁺ + 6PO ₄ ³⁻ + 2H ⁺ + 3H ₂ O = Ca ₈ H ₂ (PO ₄) ₆ · 3H ₂ O	46.9	3
5Ca ²⁺ + 3PO ₄ ³⁻ + H ₂ O = Ca ₅ (PO ₄) ₃ OH(s) + H ⁺	40.6	4
Magnesium		
Mg ²⁺ + CO ₃ ²⁻ = MgCO ₃ (s)	7.5	5
Mg ²⁺ + 2H ₂ O = Mg(OH) ₂ (s) + 2H ⁺	-16.8	7
3Mg ²⁺ + 2PO ₄ ³⁻ + 8H ⁺ = Mg ₃ (PO ₄) ₂ · 8H ₂ O(s)	25.2	2
Zinc		
Zn ²⁺ + CO ₃ ²⁻ = ZnCO ₃ (s)	10.8	6
5Zn ²⁺ + 2CO ₃ ²⁻ + 6H ₂ O = Zn ₅ (OH) ₆ (CO ₃) ₂ (s) + 6H ⁺	-9.7	6
Zn ²⁺ + 2H ₂ O = Zn(OH) ₂ (s) + 2H ⁺	-12.5	7
3Zn ²⁺ + 2PO ₄ ³⁻ + 4H ₂ O = Zn ₃ (PO ₄) ₂ · 4H ₂ O(s)	35.3	8
Iron III		
Fe ²⁺ + 3H ₂ O = Fe(OH) ₃ (s) + 3H ⁺	-4.9	5
Fe ²⁺ + PO ₄ ³⁻ + 2H ₂ O = FePO ₄ · 2H ₂ O(s)	26.4	2

*All data are for 25°C.

Sources:

1. JACOBSON, R.L. & LANGMUIR, D. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 38:301 (1974).
2. SMITH, R.M. & MARTELL, A.E. *Critical Stability Constants: Vol. 4. Inorganic Complexes*. Plenum Press (1976).
3. LINDSAY, W.L. & MORENO, E.C. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 24:177 (1960).
4. MORENO, E.C. ET AL. *Jour. Res. NBS*, 72A:6:773 (Nov.-Dec. 1968).
5. PLUMMER, L.N. ET AL. USGS WRI 76-13. (Dec. 1978).
6. SCHINDLER, P. ET AL. *Helv. Chim. Acta*, 32:2327 (1969).
7. BAES, C.F. JR. & MESMER, R.E. *The Hydrolysis of Cations*. Wiley-Interscience, New York (1976).
8. NRIAGU, J.O. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37:2357 (1973).

Tab. 7

Model systems for zinc, iron (III), and calcium coating of A-C pipe at 25°C*

System	Calcium		Total Carbonate		Mg mg/L	Na mg/L	Cl mg/L	Zn mg/L	Fe mg/L	PO ₄ mg/L	Figure(s)
	mg/L as Ca	mg/L as CaCO ₃	mg/L as CO ₃	mg/L as CaCO ₃							
M1	0.4	1.0	0.6	1.0	0.1	5	4-9	0.5	0	0	1
M2†	0.4	1.0	0.6	1.0	0.1	5	4-9	0.1	0	0	
M3	0.4	1.0	1.5	2.5	0.1	10	11-17	0.5	0	0	
M4	0.4	1.0	1.5	2.5	0	10	11-17	0	0.1	0	
M5†	0.4	1.0	6.0	10.0	0	10	8-17	0.1	0	0	
M6	0.4	1.0	12	20.0	1.0	12	9-23	0.5	0	0	
M7†	0.4	1.0	60	100.0	0.1	60	42-92	0.1	0	0	
M8	1.0	2.5	24	40.0	0.24	20	11-33	0.5	0	0	2,3
M8P	1.0	2.5	24	40.0	0.24	20	11-33	0.5	0	0.5	
M9	4.0	10.0	24	40.0	1.0	20	18-40	0.15	0	0	4,5
M10	4.0	10.0	12	20.0	1.0	12	15-29	0.5	0	0	6,7
M10P	4.0	10.0	12	20.0	1.0	12	15-29	0.5	0	0.5	
M11	4.0	10.0	12	20.0	1.0	12	15-29	0.3	0.1	0	8,9
M12	4.0	10.0	24	40.0	1.0	20	5-28	0.5	0	0	10,11
M12P	4.0	10.0	24	40.0	1.0	20	5-29	0.5	0	0.5	12,13
M13	4.0	10.0	60	100.0	1.0	30	4-58	0.5	0	0	14,15
M13P	4.0	10.0	60	100.0	1.0	30	4-56	0.5	0	0.5	16,17
M14	8.0	20.0	2.4	4.0	2.0	20	45-52	0.5	0	0	18
M15	4.0	10.0	2.4	4.0	1.0	20	38-42	0.5	0	0	19,20

*The pH range of 5 to 10 was considered.

†No saturation of any solid in the pH range of 5 to 10

Tabell 8. Vannkvalitetsdata for de vanntyper der modellberegning er foretatt.

Correspondence of model and experimental systems

DWRD Experiment Number	Applicable Model System	SI Diagram (Figure)	Precipitation Diagram (Figure)
1	M12	10*	
2	M12P	12	13
3	M12	10*	
4	M12P	12	13
5	M12	10	11
11	M8	2	3
12	M8	2	3
13	M9	4	5
14	M14	18	
15	M12	10	11
16	M12	10	11

*Ignore fields of zinc-containing solids in the diagrams: the other fields will be changed little.

Tabell 9. Henvisning mellom modellsystemene og DWRD forsøkene.

**INITIAL HARDNESS TEST RESULTS FOR
A/C COUPONS (3/25/81)**

- 92 -

Tests Performed by Northwest Laboratories of Seattle, Inc.

<u>Sample Number</u>	<u>Description</u>	<u>Shore "D" Hardness</u>	<u>Rockwell Hardness L Scale</u>
A-1	6" A/C Pipe	67	7
A-2	9200 NE 34th	65	10
A-3		66	5
A-4		64	14
Average		65.5	9.0
Std. Dev.		1.29	3.92
B-1	6" A/C Pipe	68	64
B-2	Unknown	74	60
B-3	Location	67	65
B-4		73	56
Average		70.5	61.5
Std. Dev.		3.51	4.11
C-1	8" A/C Pipe	79	99
C-2	New, Uninstalled	81	100
C-3	Pipe	82	98
C-4		78	98
Average		80.0	98.7
Std. Dev		1.83	0.96

Tabell 10. Hardhetstesting av AC-rør.
(City of Bellevue, Tate et al., 1984.)

**EFFECT OF MOISTURE CONTENT ON HARDNESS TEST
EXPERIMENT RESULTS**

<u>Test</u>	<u>Coupon</u>	<u>DRYING TIME</u>					
		<u>Initial</u>	<u>24 hrs</u>	<u>36 hrs</u>	<u>4 days</u>	<u>8days</u>	<u>8 days plus 48 hrs @ 100°F</u>
Shore "D" Hardness	T1-1	85	87	86	87	87	88
	T1-2	86	87	88	89	88	88
	T1-3	77	80	80 ^a	80	80 ^b	80 ^c
	T2-1	85	86	86	85	88	88
	T2-2	85	86	86	86	87	88
	T2-3	75	79	80 ^a	80	80 ^b	81 ^c
Rockwell L Scale Hardness	T1-1	97	99	100	99	99	102
	T1-2	92	95	95	95	95	97
	T1-3	96	97	97 ^a	97	98 ^b	98 ^c
	T2-1	92	95	97	98	99	101
	T2-2	96	97	97	97	98	100
	T2-3	96	96	97 ^a	97	97	98 ^c

All tests performed by Northwest Laboratories of Seattle.

- ^a Actual drying time 48 hrs
- ^b Actual drying time 7 days
- ^c Actual drying time 7 days plus 48 hrs @ 100°F

Tabell 11. Vanninnholdets innvirkning på hardheten (Tate et al., 1984).

WATER QUALITY OF TOLT WATER AT ENTRANCE TO
DISTRIBUTION SYSTEM AND AFTER APPROXIMATELY
15 HOURS DETENTION IN THE A/C NETWORK^a

- 93 -

PARAMETER ^b	INFLUENT (SITE D3)				EFFLUENT (SITE D4)			
	Avg.	s	Max.	Min.	Avg.	s	Max.	Min.
pH (units)	5.68	0.19	6.1	5.45	6.42	0.17	6.61	6.11
Alk (as CaCO ₃)	5.06	3.35	11.8	1.9	6.96	1.73	9.6	4.0
Calcium	2.42	0.19	2.7	2.1	4.14	0.39	4.7	3.6
Chrysotile (MFL)	1.94 ^d	2.89 ^e	10.60	0.66	7.40 ^d	2.01 ^e	22.11	1.97
Amphibole (MFL)	-f	-f	1.71	ND ^c	-f	-f	0.39	ND
L.L. (units)	-4.96	0.28	-4.55	-5.51	-3.70	0.27	-3.37	-4.15
Zinc	0.059	0.051	0.19	0.025	0.021	0.016	0.044	ND
Silica	5.49	0.38	6.0	4.8	6.12	0.33	6.5	5.6
Iron	0.088	0.049	0.18	0.037	0.11	0.04	0.17	0.074
Magnesium	0.50	0.24	1.1	0.3	0.33	0.31	1.1	ND
Chloride	1.39	0.59	2.1	0.4	1.72	0.48	2.4	0.9
Sulfate	1.96	0.89	2.9	0.4	2.28	0.81	3.6	0.76
Nitrate	0.22	0.23	0.8	ND	0.12	0.12	0.4	ND
TDS	14.4	2.2	18.0	10.0	18.4	4.1	28.0	14.0
Hardness (as CaCO ₃)	8.1	0.9	10.0	7.0	11.8	1.5	14.7	10.0
Manganese	0.007	0.014	0.039	ND	0.005	0.011	0.03	ND
Fluoride	0.92	0.32	1.2	0.3	0.99	0.18	1.2	0.7
Free Residual Chlorine	0.27	0.26	0.6	ND	0.056	0.088	0.2	ND
Temperature (°C)	10.8	3.3	15.0	5.0	13.9	4.7	20.0	6.0
Dissolved Oxygen	10.5	2.5	14.5	6.0	10.5	1.7	13.0	7.3

^a Values obtained for 9 samples collected between April, 1981 and January, 1982.

^b All units mg/l except where noted

^c None detected

^d Geometric Mean

^e Spread Factor

^f Insufficient Non-zero Data

Tabell 12. Vannkvalitet "Tolt Water".

WATER QUALITY OF CEDAR WATER AT ENTRANCE TO
DISTRIBUTION SYSTEM AND AFTER APPROXIMATELY
15 HOURS DETENTION IN THE A/C NETWORK^a

PARAMETER ^b	INFLUENT (SITE D1)				EFFLUENT (SITE D2)			
	Avg.	s	Max.	Min.	Avg.	s	Max.	Min.
pH (units)	7.44	0.59	8.76	6.75	8.26	0.55	8.34	7.47
Alk (as CaCO ₃)	16.4	3.64	22.0	9.6	20.0	4.0	26.0	14.5
Calcium	6.99	0.93	8.1	5.8	8.1	1.12	10.0	6.9
Chrysotile (MFL)	0.662 ^d	2.170 ^e	1.57	0.15	1.54	0.15	1.40 ^d	1.81 ^e
Amphibole (MFL)	ND ^c	0	ND	ND	ND	0	ND	ND
L.L. (units)	-2.14	0.76	-0.53	-3.14	-1.13	0.77	-0.15	-2.25
Zinc	0.031	0.039	0.121	ND	0.021	0.018	0.04	ND
Silica	9.74	0.76	11.0	8.3	9.99	0.72	11.0	9.0
Iron	0.04	0.03	0.058	ND	0.042	0.029	0.081	ND
Magnesium	1.02	0.16	1.4	0.9	0.79	0.33	1.3	0.018
Chloride	2.58	0.59	3.3	1.5	2.33	0.59	3.0	1.4
Sulfate	2.03	0.9	3.8	0.91	1.75	0.67	2.3	0.56
Nitrate	0.131	0.099	0.3	ND	0.097	0.083	0.2	ND
TDS	35.6	8.13	45.0	21.0	37.8	6.7	48.0	28.0
Hardness (as CaCO ₃)	21.6	2.4	25.0	18.0	23.9	2.7	29.0	21.0
Manganese	0.004	0.008	0.023	ND	0.007	0.009	0.021	ND
Fluoride	0.96	0.26	1.5	0.6	0.93	0.25	1.1	0.5
Free Residual Chlorine	0.44	0.29	0.9	ND	0.33	0.23	0.6	ND
Temperature (°C)	12.8	4.4	19.0	7.0	14.2	5.3	22.0	7.0
Dissolved Oxygen	10.4	2.4	13.6	5.9	10.0	2.2	13.8	6.6

^a Values obtained for 9 samples collected between April, 1981 and March, 1982.

^b All units mg/l except where noted

^c None Detected

^d Geometric Mean

^e Spread Factor

Tabell 13. Vannkvalitet "Cedar Water".

EXPERIMENTAL TANK CONDITIONS

<u>Tank</u>	<u>Water Source</u>	<u>Corrosion Control Conditions</u>
1	Cedar River Water	No control
2	Tolt River Water	No control
3	Tolt River Water	Proposed Seattle Corrosion Control Program (lime and soda ash addition, maintain pH at approximately 8.0)
4	Tolt River Water	Proposed Seattle Corrosion Control Program plus additional lime and soda ash addition, maintain pH at 9.0
5	Tolt River Water	Proposed Seattle Corrosion Control Program, addition of zinc chloride (0.3 mg/l as Zn), maintain pH at 8.5
6	Tolt River Water	Proposed Seattle Corrosion Control Program, addition of zinc chloride (0.6 mg/l as Zn), maintain pH at 8.0
7	Tolt River Water	Proposed Seattle Corrosion Control Program, addition of sodium metasilicate (12.7 mg/l as SiO ₂), maintain pH at 8.0
8	Tolt River Water	Proposed Seattle Corrosion Control Program, addition of iron (III) salt (FeCl ₃) (0.2 mg/l as Fe), maintain pH at 8.0

Tabell 14. Laboratoriebetingelser (Tate et al., 1984).

WEIGHT CHANGES OBSERVED IN TANK COUPONS

<u>Tank</u>	<u>Coupon No.</u>	<u>Weight Before Test (gms)</u>	<u>Weight After Test (gms)</u>	<u>Weight Change (gms)</u>	<u>Exposure (Weeks)</u>
1	T1-1	183.3	176.0	-7.3	12
	T1-2	178.9	175.6	-3.3	24
	T1-4	190.3	185.6	-4.7	48
2	T2-1	186.7	179.8	-6.9	12
	T2-2	193.5	186.1	-7.4	24
	T2-4	191.6	188.6	-3.0	48
3	T3-1	155.7	155.4	-0.3	48
	T3-2	185.9	186.6	+0.7	48
4	T4-1	162.0	158.0	-4.0	48
	T4-2	188.1	187.8	-0.3	48
5	T5-1	192.3	195.2	+2.9	48
	T5-2	166.6	170.1	+3.5	48
6	T6-1	199.0	201.4	+2.4	48
	T6-2	182.4	185.9	+3.5	48
7	T7-1	187.4	191.4	+4.0	48
	T7-2	191.7	196.4	+4.7	48
8	T8-1	183.6	185.5	+1.9	48
	T8-2	169.1	172.1	+3.0	48

All coupons dried 8 - 12 hours at 70° C.

Tabell 15. Vektendring av AC-biter under laboratorieforsøket (Tate et al., 1984).

HARDNESS TEST RESULTS FOR COUPONS TESTED IN
RECIRCULATION TANK, CORROSION CONTROL EXPERIMENTS*

Tank	Conditions	Coupon No.	Exposure Time (Weeks)	Shore "D" Hardness	Rockwell "L" Scale Hardness
1	Cedar Control	T1-1	12	88	102
		T1-2	24	88	97
		T1-3	36	80	98
		T1-4	48	84	93
2	Tolt Control	T2-1	12	88	101
		T2-2	24	88	100
		T2-3	36	81	98
		T2-4	48	87	91
3	Tolt; Seattle Corrosion Control Program (SCCP); pH = 8.0	T3-1	48	85	89
		T3-2	48	82	93
4	Tolt; SCCP; Add'l lime; pH = 9.0	T4-1	48	85	97
		T4-2	48	85	92
5	Tolt; SCCP; 0.3 mg/l Zn; pH = 8.5	T5-1	48	87	92
		T5-1	48	86	95
6	Tolt; SCCP; 0.6 mg/l Zn; pH = 8.0	T6-1	48	86	95
		T6-2	48	85	98
7	Tolt; SCCP; 12.7 mg/l SiO ₂ ; pH = 8.0	T7-1	48	83	90
		T7-2	48	82	90
8	Tolt; SCCP; 0.2 mg/l Fe; pH = 8.0	T8-1	48	82	91
		T8-2	48	82	92

*All samples oven dried.

Tabell 16. Hardhetsendring under laboratorieforsøk (Tate et al., 1984).

SEM TESTING RESULTS*

Tank	Measured Ca Loss After 48 Weeks Exposure (mm)
1	0.21
2	0.27
3	0.36
4	0.25
5	0.0
6	0.05
7	0.35
8	0.25

* All tests performed by USEPA

Tabell 17. Tæringsdyp etter 48 uker (Tate et al., 1984).

Table 1. Coupon Test of Zinc Treatment

Measurements	Pipe D		Pipe E		Pipe F	
	New	Old	New	Old	New	Old
Avg flow, gpm	3.84		3.73		3.74	
Avg zinc added, mg/L	None		1.4		2.8	
Initial wt, gr	96.99	94.30	88.82	97.83	93.63	77.46
Wet wt after test, gr	66.84	98.24	82.45	90.31	90.55	89.51
Dry wt (5 days drying) gr	57.23	79.78	71.12	72.92	78.13	72.48
Dry wt (97 days drying) gr	56.71	78.88	70.38	72.21	77.24	71.73
Relative hardness, Rockwell "L" scale	79	7	78	-6	81	5

Tabell 18. Forsøk med tilsetning av sink-klorid (Logsdon, 1984).

Table 2. Analysis of Pipe Samples Taken During Cement-Mortar Lining Evaluation

Process Step	Pipe Sample	Sample Thickness (mm)	Calcium* Loss (mm)	Mean Ca/Si	Relative† Hardness
Background	New Pipe	21.97	0.0	0.83	72
Test line A					
Control		21.20	2.1	0.57	-2
Rubber disk scraper	1/3 pt. sample	21.39	2.2	0.80	-3
	2/3 pt. sample	20.77	2.5	0.60	16
Metal scraper	1/3 pt. sample	21.30	2.2	0.35	-11
	2/3 pt. sample	20.74	2.2	0.60	-32
Test line B					
Control		21.02	6.5	0.73	-6
Metal scraper	1/3 pt. sample	21.34	2.2	0.64	-5
	2/3 pt. sample	21.79	2.2	0.40	-8
Test line C					
Control		21.34	4.1	0.50	-24
Polyurethane pig	1/3 pt. sample	22.73	4.1	0.49	-20
	2/3 pt. sample	21.65	4.4	0.47	-13
Red criss-cross pig	1/3 pt. sample	25.57	6.5	0.68	-15
Silicon carbide pig	2/3 pt. sample	22.28	4.4	0.84	-12
Wire scraper pig	1/3 pt. sample	22.90	3.5	0.68	-13
	2/3 pt. sample	20.45	3.0	0.53	-12

*Distance measured from the interior pipe surface.

†Modified Rockwell "L" hardness scale.

Tabell 19. Analyse av rørprøver etter utskraping (Logsdon, 1984).

Results of Testing Field Samples

System Code	A.I.	Age of Pipe (yrs)	Modified Shore D Duro-meter	Visual Evidence of Coat	Calcium Loss (mm)
1. System J*	5.7	5	65	no	2.4
2. System K	7.5	15	66	YES	3.3
3. System L	9.5	10	79	YES	2.4
New Pipe			96		0.0
4. System M	10.0	40	75	no	2.8
5. System N	10.4	20	95	YES	0.0
6. System I*	11.6		88	YES	0.8
7. System O	11.8	15	93	PARTIAL	<.1
New Coupling			97		0.0
8. System P	12	10	92	no	0.7
9. System Q	>12	18	94	YES	0.0
10. System R	13	20	88	YES	+9
New Pipe			98		0.0

* same systems I and J as in Buelow et al. (1)

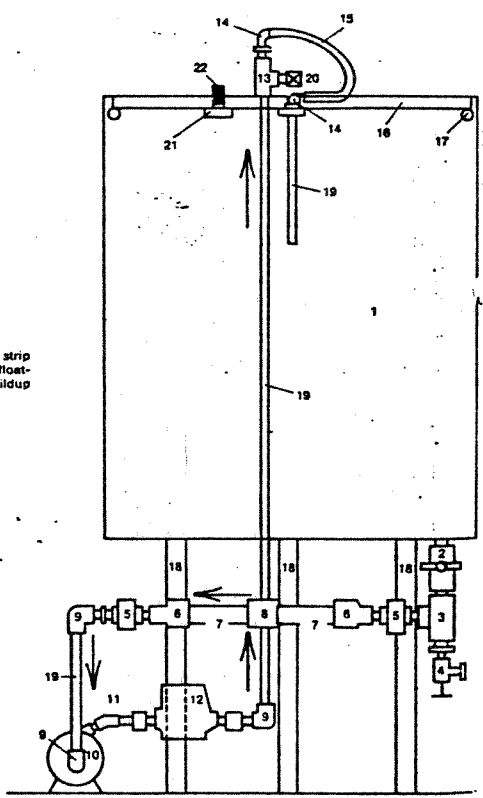
Tabell 20. Undersøkelse av rørprøver fra 10 vannverk (Millette and Kineman, 1983).

Town/Utility	Average X-ray Analyses Volume of Surface Layer (Mass Fraction)						
	A.I.	Mg	Si	S	Ca	Fe	Zn
1. System J*	5.7	.12	.71	.01	.05	.07	<.005
2. System K	7.5	.05	.48	.01	.03	.32	<.005
3. System L	9.5	.21	.59	.01	.05	.11	<.005
New Pipe		.04	.15	.13	.58	.04	<.005
4. System M	10.0	.09	.56	.03	.08	.11	<.005
5. System N	10.4	.02	.29	.01	.37	.28	.01
6. System I*	11.6	.05	.50	.01	.20	.15	<.005
7. System O	11.8	.08	.59	.01	.12	.15	<.005
New Coupling		.05	.20	.13	.53	.04	<.005
8. System P	12	.01	.25	.01	.38	.03	<.005
9. System Q	>12	.06	.28	.01	.09	.46	<.005
10. System R	13	.05	.06	.01	.89	.03	<.005
New Pipe		.05	.18	.11	.56	.03	<.005

* same systems I and J as in Buelow et al. (1)

Tabell 21. Undersøkelse av beleggdannelse, rørprøver fra 10 vannverk (Millette and Kineman, 1983).

- | Part Number | Description |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 100-gal Stainless Steel or Plastic Tank |
| 2 | 1-in. Plastic Ball Valve |
| 3 | 1-in. Plastic Tee |
| 4 | Plastic Boiler Drain |
| 5 | 1-in. Plastic Union |
| 6 | 1½- by 1-in. Reducer Coupling |
| 7 | 1½- by 8-in. PVC Nipple
(This part serves as the A-C pipe coupon holder.) |
| 8 | 1½-in. PVC Coupling |
| 9 | ½-in. PVC 90-deg Ell |
| 10 | Pump Magnetic Drive |
| 11 | ½-in. PVC 45-deg Ell |
| 12 | Plastic Water Meter |
| 13 | ½-in. PVC Tee |
| 14 | ½-in. Pipe to Tube Ell |
| 15 | ½-in. ID Tygon |
| 16 | Floating Cover
(The floating cover is made from ½-in. sheet PVC. A 1-in. strip of PVC cemented around the edge of the disc forms the floating pan. The threaded fittings in the cover require a buildup of PVC.) |
| 17 | Tygon Tube Ring Gasket |
| 18 | Tank Legs |
| 19 | ½-in. PVC Pipe |
| 20 | Sample Valve |
| 21 | ½-in. PVC Nipple |
| 22 | Rubber Stopper |



Note: Pipe bushings and nipples required to make connections are not numbered and described.

Asbestos-Cement Pipe Small-Scale Corrosion Experimental Setup

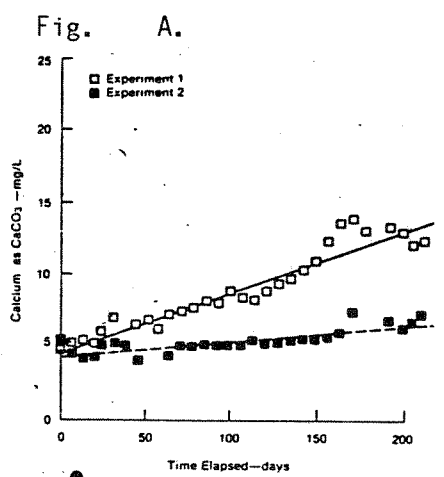


Figure B Calcium concentration increases at pH 8.2 during experiment 1 (control) and experiment 2 (zinc orthophosphate treatment)

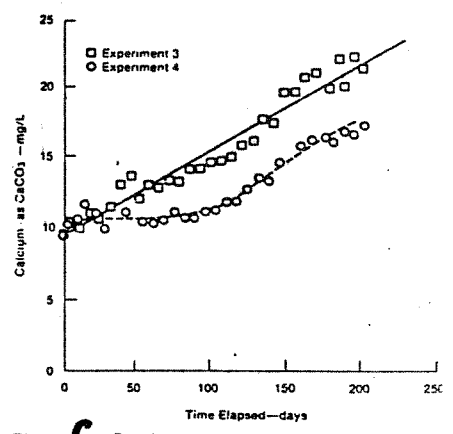


Figure C Calcium concentration increases at pH 7.0 during experiment 3 (control) and experiment 4 (zinc orthophosphate treatment)

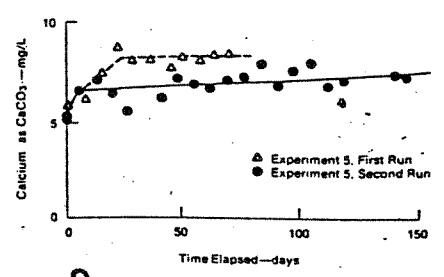


Figure D Calcium release inhibition provided by zinc chloride treatment at pH 8.2

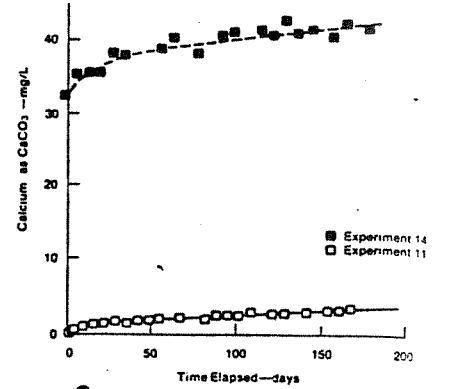


Figure F Comparison of calcium leaching at pH 8.2 between a system with high calcium but low carbonate (experiment 14) and a system with low calcium and carbonate at the same level of zinc-chloride addition (experiment 11)

Fig. A - F. Endring i kalsiumkonsentrasjonen over tid (DWRD lab.forsøk).

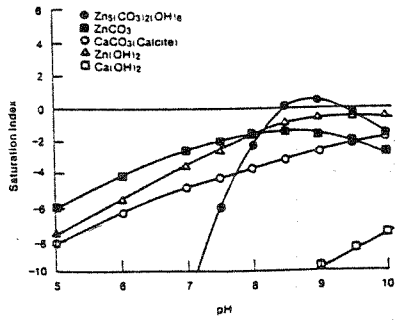


Figure 1. Saturation Index diagram for model system M1

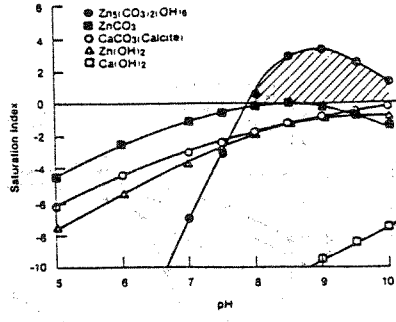


Figure 2. Saturation Index diagram for model system M8

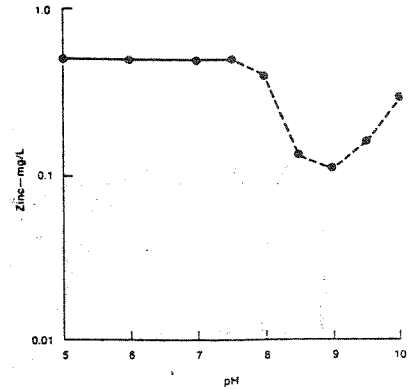


Figure 3. Precipitation diagram for zinc in model system M8

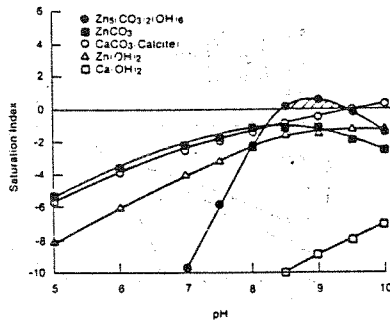


Figure 4. Saturation Index diagram for model system M9

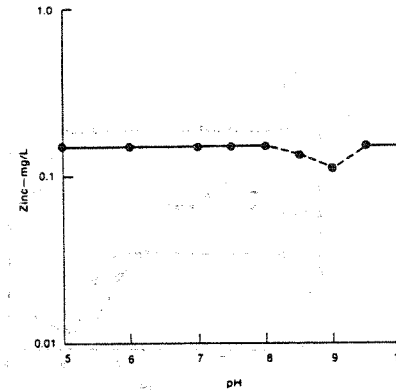


Figure 5. Precipitation diagram for zinc in model system M9

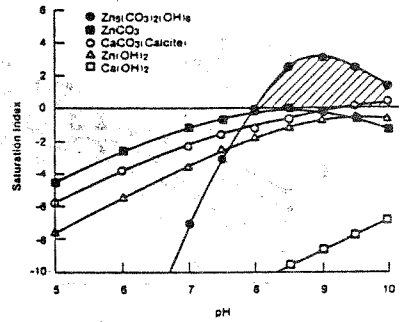


Figure 6. Saturation Index diagram for model system M10

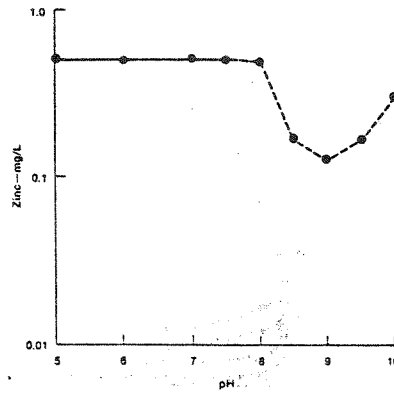


Figure 7. Precipitation diagram for zinc in model system M10

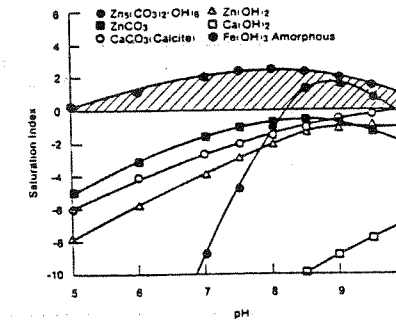


Figure 8. Saturation Index diagram for model system M11

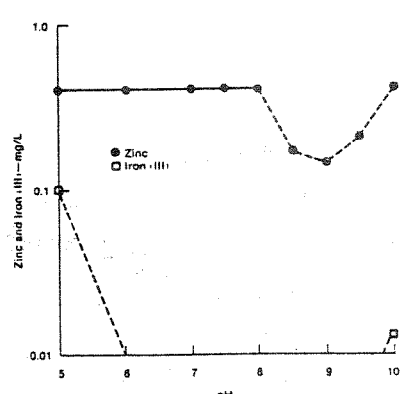


Figure 9. Precipitation diagram for zinc and iron (III) in model system M11

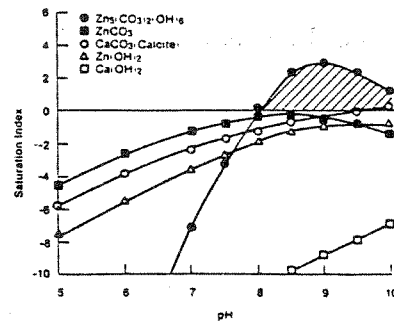


Figure 10. Saturation Index diagram for model system M12

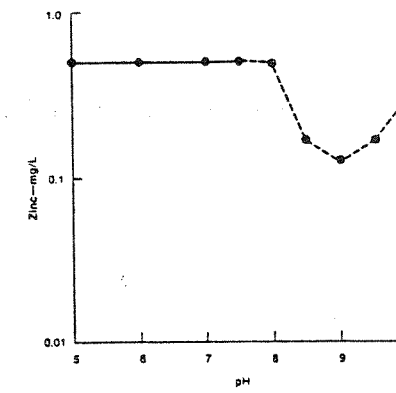


Figure 11. Precipitation diagram for zinc in model system M12

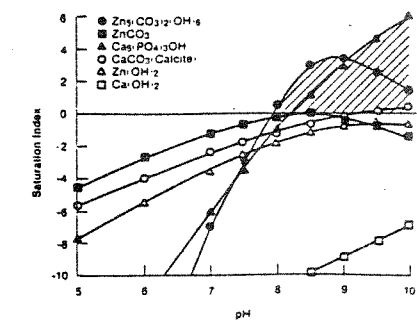


Figure 12. Saturation Index diagram for model system M12P

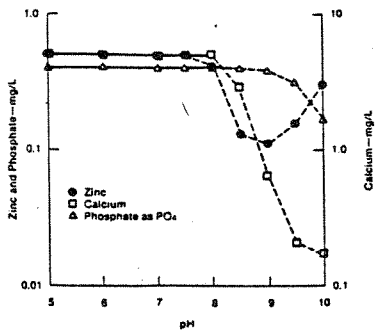


Figure 13. Precipitation diagram for zinc, calcium, and orthophosphate in model system M12P

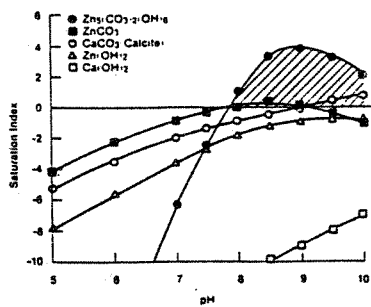


Figure 14. Saturation Index diagram for model system M13

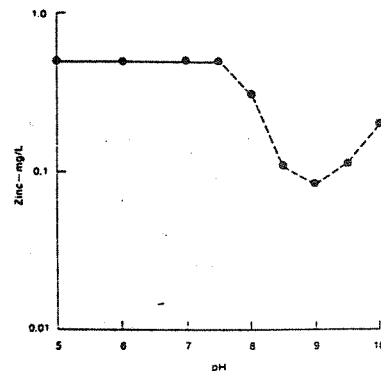


Figure 15. Precipitation diagram for zinc in model system M13

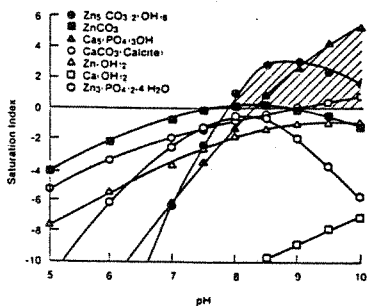


Figure 16. Saturation Index diagram for model system M13P

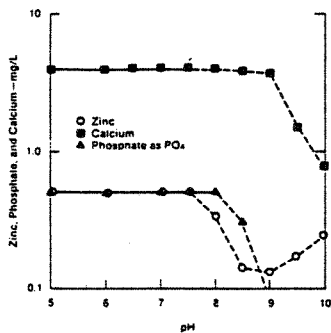


Figure 17. Precipitation diagram for zinc, calcium, and orthophosphate in model system M13P

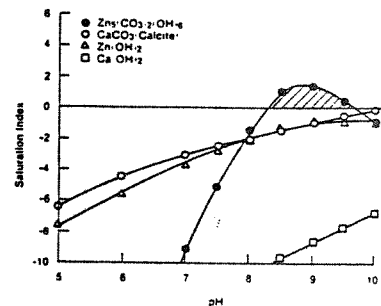


Figure 18. Saturation Index diagram for model system M14

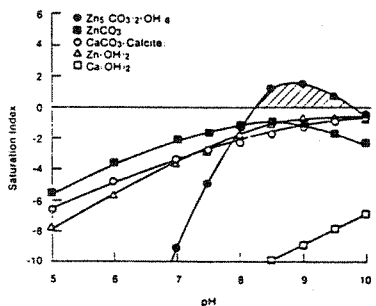


Figure 19. Saturation Index diagram for model system M15

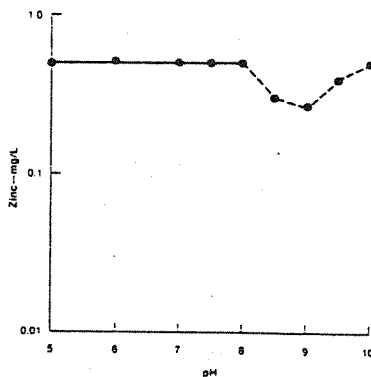


Figure 20. Precipitation diagram for zinc in model system M15

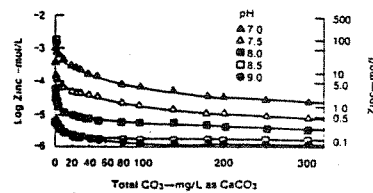


Figure 21. Solubility diagram for zinc versus total inorganic carbonate concentration at fixed pH

$I = 0.005; 25^{\circ}C$

Fig. 13 - 21. Diagram utskrift for de ulike modellsystem.

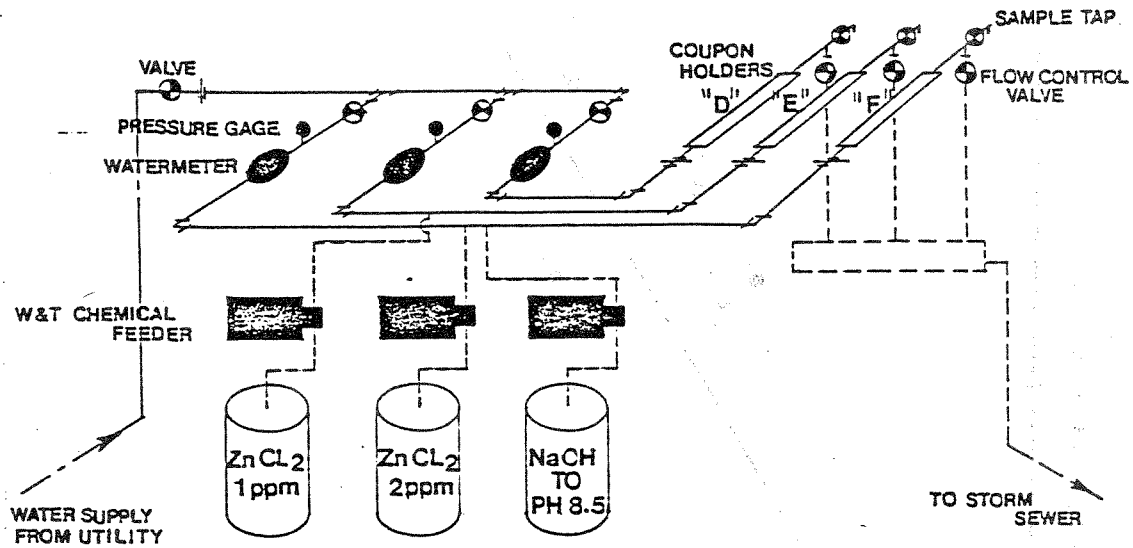
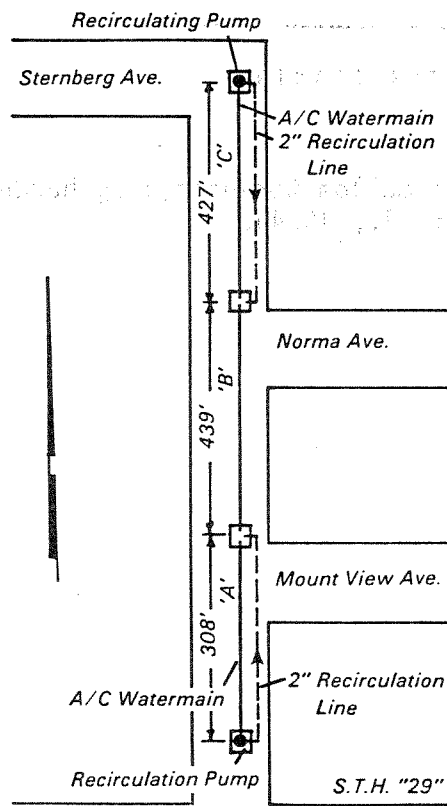


Fig. 22. Forsøksopplegg for tilsetning av sink-klorid (Logsdon, 1984).



Schematic diagram of Fox Street watermain test sections A, B, and C.

Fig. 23. Utprøving av ulike utskrapingsmetoder (Logsdon, 1984).

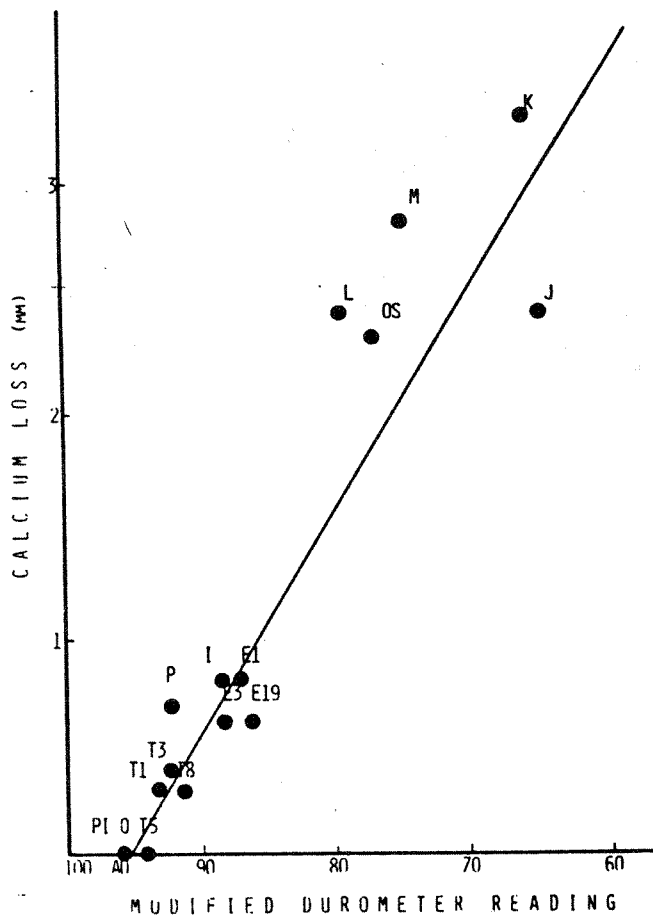


Fig. 24. Sammenhengen mellom tæringsdyp og hardhet (Millette et al., 1984).

0-85208 LEVETID FOR AC-RØR

AAB/GUM
06.04.87

Prosjektnotat 11

TÆRING PÅ SEMENTBASERTE RØR. NASJONALE UNDERSØKELSER

Pilotforsøk ved NIVA 1967 - 1974

Vann fra Oslo vannverk ble brukt i et forsøksanlegg for å finne utløsningshastigheten for kalsium fra AC-rør (Kristiansen, 1977). Vann fra ledningsnettets ble ledet gjennom to AC-rør (L=24 m, D=100 mm), det ene autoklavherdet (produsert i Danmark/Ålborg) det andre vannherdet (produsert i Tyskland/A.G. Berlin). Oppholdstiden for vannet i rørene var mellom 15 og 26 timer. Det ble tatt ut vannprøver for analyse flere steder langs rørene. Vanntemperaturen under forsøket var 20 °C.

Tabell 1 viser vannkvaliteten ved innløp, etter 12 m og ved utløpet under forsøksperioden. Tabell 2 viser den årlige kalsiumutløsningen i gram Ca pr. m² innvendig rørflate for perioden 1970 - 1974.

Vannet fra Oslo vannverk inneholder kolloidalt oppløste humusstoffer. Disse avsatte seg med tiden som et belegg på rørenes indre overflate. Høsten 1973 ble rørene åpnet og belegget fjernet. Deretter ble rørene satt i drift igjen. Avsatt slam er analysert og resultatene ført opp i tabell 3.

Etter forsøkets avslutning ble det fra rørenes inntaksende tatt ut prøver. Av disse prøvene ble det dreid ut 0,5 mm snitt fra den kalkutlutede siden og suksessivt utover i materialet. Hver snittprøve ble analysert for seg. Resultatene er ført opp i tabell 4.

Figur 1 viser kalsiumutløsningen pr. år for de to rørtypene. Den lave utløsningen det første året for det vannherdede røret må skyldes at røret hadde ligget lagret så lenge etter fabrikasjonen at overflaten hadde fått et beskyttende belegg av kalsiumkarbonat, som først gikk langsomt i oppløsning. Utløsning av kalsium var nær konstant over tid og lik for de to rørtypene.

Figur 2 viser kalsiumutløsningen seksjonsvis for de to rørtypene. For begge rørtypene var utløsningen på de første 6 m av røret størst. For

de siste 18 m var utløsningen relativt konstant og nær lik for de to rørtypene.

Belegget i rørene består vesentlig av organisk stoffer (glødetap ved 600 °C), jernhydroksyd og kiseltsyre (jfr. tabell 3). Etter fjerning av belegget (i 1973) var det en økt utløsning av kalsium for det vannherdede røret. Dette tyder på at belegget har hatt en viss beskyttende virkning mot utløsning fra dette rørmaterialet.

Kalsiumkarbonat spaltes i kalsiumoksyd og og karbondioksyd ved gløding over 800 °C. Glødetapet ved 1000 °C er et mål på innholdet av kalsiumkarbonat. Resultatene i tabell 4 viser at det bare er i et tynt sjikt nærmest vannet en viss karbonatisering har funnet sted.

Vannets magnesiuminnhold har avtatt ved passasje gjennom rørene - det har trolig foregått en utfelling av magnesiumhydroksyd. Noe av magnesiumet er å finne i det utfelte belegg, men av resultatene i tabell 4 ser man at magnesium også har gått inni de ytterste sjikt av rørmaterialet og erstattet kalsium. Tidligere er det funnet (Flentje and Schweitzer, 1957) et økt innhold av magnesiumsilikat innover i rørveggen på betongrør.

Variasjonen av kalsiuminnholdet innover i rørveggen er vist i figur 3. For det vannherdede røret opptrådte største grad av utløsning ca. 1 mm inn i rørveggen. Her var ca. 50 % av opprinnelig kalsiuminnhold løst ut. Tilsvarende tall for det autoklavherdede røret var 0,5 - 1,0 mm og 75 %. Kalkutløsningen har derimot trengt noe dypere inn i det vannherdede røret.

Etter en 7 års periode var kalsium løst ut i en dybde av ca. 2 mm, tilsvarende en korrosjonshastighet på ca. 0,3 mm pr. år.

Vannkvalitetsdata for vannet brukt under forsøket er vist i tabell 5.

UTLØSNING AV KALSIUM FRA FORSPENT BETONGLEDNING (IVAR)

I perioden 1960 - 1972 er endringen i vannkvaliteten gjennom den ca. 30 km lange overføringsledningen for IVAR-vannverket i Rogaland registrert (Kristiansen, 1974). Fra råvannskilden (Langevann) der vannet ble tilsatt klor, overføres vannet i en forspent betongledning (Premo rør) med diameter 900 mm fram til Stavanger. I perioden 1960 - 1967 ble det tatt ut vannprøver fra flere prøvepunkter langs ledningen hver måned og deretter 4 ganger pr. år. Råvannskvaliteten er vist i tabell 6. Tabell 7 viser kalsiumutløsningen (middelverdier) fra rørveggen i undersøkelsesperioden. Målinger i perioden 1973 - 1984 (Tornes, 1986)

viser en gjennomsnittlig utløsning av kalsium på 80 g/m² rørflate. Dette tilsvarer utløsningen for periode 1969 -1972. Målingene tyder på at kalsiumutløsningen har stabilisert seg. Den virkelige kalsiumutløsningen er noe lavere enn beregnet, da det ikke er tatt hensyn til uttak av forsyningsvann på strekningen fra Langevann til Stavanger. Endringen i pH og kalsium langs ledningen er vist i figur 4.

Det framgår (figur 5) at kalsiumutløsningen var størst det første året og med en rask reduksjon de påfølgende to år. I perioden 1963 - 1972 var kalkutløsningen relativt jevn og noe fallende fra år til år.

I 1966 ble det ca. 1 mm tykke belegget som hadde dannet seg på innsiden av røret, undersøkt. Analyseresultatene er vist i tabell 8. Det høye magnesiuminnholdet i belegget kan ha bidratt til den avtagende kalsiumutløsningen fra rørveggen.

I røret der belegget ble undersøkt, lå vannhastigheten i området 1 -2 m/s. Forsøksvis ble vannhastigheten økt til 3,12 m/s over 1 uke. Røret ble deretter inspisert, men uten at man kunne se at det hadde skjedd noen forandring med belegget.

Kalsium, magnesium og jern-innholdet ble bestemt i 0,5 mm snitt innover i rørveggen på en rørprøve fra vannverket i 1985 (Kristiansen, 1985). Rørprøven hadde et tynt svart sjikt innerst ved kontaktflaten mot vann. Innenfor dette var det et 3,5 mm tykt sjikt med lys brun farge og innenfor dette var betongen tilsynelatende uberørt. Resultatene (tabell 9) viser at kalsiuminnholdet er lavt innerst og øker utover i rørveggen som en følge av nedbrytningen av rørmaterialet. Magnesiuminnholdet er relativt høyt innerst og avtar utover i rørmaterialet. Det relativt høye magnesiuminnholdet nærmest kontaktflaten mot vann skyldes avsetning fra vannet. Det er noe variasjon i resultatene som skyldes at det bare er gjort snitt av én prøve og én analyse av hvert snitt.

Ifølge spesifikasjonene skal kalsiuminnholdet i sementen tilsvare et kalsiuminnhold i rørmaterialet på 12 - 13 %, mens kalsiuminnholdet på uberørt materiale bare lå på 10,5 %. Det er derfor noe usikkert hvor dypt inn i materialet tæringen egentlig går.

UTLØSNING AV KALSIUM FRA AC-RØR, IVAR

Vannets virkning på AC-rør og forekomst av asbestfiber i drikkevannet for syv kommuner tilknyttet IVAR vannverket ble undersøkt i 1984. (Skipperud Johansen et al., 1984). Tæringsforholdene ble indirekte bestemt ved hjelp av vannanalyser. Kartlegging av tæringsforløpet på

denne måten forutsetter serier av vannprøver for analyse. Samtidig må vannføringen måles nøyaktig når prøvene tas. IVAR-undersøkelsen gir et bilde av vannkvaliteten på de tidspunktene prøvene ble tatt (to prøver på forskjellig tidspunkt fra hver lokalitet) og kan ikke tas som et generelt mål for vannkvaliteten på de ulike prøvetakingsstedene. Videre var vannføringsdataene usikre. For rørstrekningene der vannføringen er oppgitt av kommunen, er kalsiumutløsningen pr. m² rørflate beregnet. Kalsiumutløsning og vannkvalitet for nevnte strekninger er vist i tabell 10. Størst tæringshastighet ble beregnet for en rørstrekning i Time kommune med en kalk-utløsning på 320 g Ca/m² tilsvarende en tæring på 0,9 mm/år. Ledningsstrekningen som ble undersøkt i Sola kommune var innvendig belagt med asfalt. Kalsiumutløsningen for denne ledningen ble beregnet til 190 g/m² Ca. Tidligere erfaringer tilsier at asfalt belagte ledninger gir god beskyttelse mot tæring.

I perioden 1962 - 1972 ble kalsiumutløsningen fra ledningen til Klepp kommune undersøkt (Kristiansen, 1979). Den undersøkte AC-ledningen er ca. 7,5 km lang med D = 400 mm og ble anlagt i 1962. Kalsiumutløsningen har en avtagende tendens de første årene, men ser så ut til å stabilisere seg. Utløsningen er vist i tabel 11, og presentert grafisk i figur 5.

UTLØSNING AV KALSIUM FRA AC-RØR, EIDSBERG OG GRIMSTAD

Utløsning av kalsium fra AC-nettet i Eidsberg og Grimstad er undersøkt (Eilen A. Vik et al., 1984). Tæringsforholdene ble indirekte bestemt ved hjelp av vannanalyser. For begge vannverkene vedkommende er datagrunnlaget begrenset; antatt vannforbruk og 1 vannprøve pr. prøvepunkt. Beregningene forutsetter autoklavherdede rør:

"Hvis man antar at asbestsementrørene i Eidsberg er alle av typen autoklavherdede, så har de en sammensetning på: 50 % sement, 30 - 35 % kvarts og 15 - 20 % asbestfibre. Sementen inneholder ca. 60 % CaO. Rørenes egenvekt er på ca. 2 kg/l. Utløsning av 1 kg Ca tilsvarer dermed en nedbrytning av 2,3 dm³ rørmateriale".

I Eidsberg er overføringsledningen fra vanninntaket til forsyningsområdet en 13 km, D = 375 mm AC-ledning med innvendig asfaltbelegg. Det ble ikke registrert "noen nevneverdig tæring" på denne ledningen. På den delen av AC-nettet uten belegg ble det beregnet en gjennomsnittlig kalsiumutløsning på 66 g/m² år tilsvarende en tæring på 0,15 mm pr. år. Tilsvarende utløsning for Grimstad var 161 g/m² Ca år og en tæring på 0,37 mm pr. år. Resultater fra de enkelte rørstrekningene er vist i tabell 12. Det er verdt å merke seg at kalsiumkonsentrasjonene er analysert ved SIFF og oppgis uten desimaler. Det er derfor mulig at kal-

siumkonsentrasjonen som er brukt, kan være inntil 0,5 mg/l for lave eller for høye. Det får direkte innflytelse på beregningsresultatet.

Andre undersøkelser

Utover undersøkelsene som det er referert til her, har private konsulentfirmaer utført oppdrag (tilstandsvurdering o.l.) for kommuner/vannverk med AC-rør på nettet.

LITTERATUR

Kristiansen, H., 1977: Corrosion on asbestos cement pipes. VATTEN 1, 53-61 (1977).

Flentje and Schweitzen 1957: Flentje, M.E. and Schewitzen, R.J. Further study of solution effects on concrete and cement in pipes. Jour. AWWA. 49, 1441 (1957).

Kristiansen, H., 1974: The extraction of calcium by soft water from prestressed concrete pipes. Vatten 1 - 74.

Skipperud Johansen et al., 1984. Skipperud Johansen, E., Johansen, B.V., Kristiansen, H. Undersøkelse av vannets virkning på asbestsementrør og forekomst av asbestfibre i drikkevannet for syv kommuner tilknyttet IVAR vannverket. SIFF SK rapport 7/83.

Kristiansen 1985: Personlig meddelelse.

Vik et al., 1984. Vik, E.A., Rogne, Å.G., Boman, E., Bjerklund, E. Alkalisering av drikkevann, korrosjons kontroll. Delrapport nr. 2, august 1984. NTNFs Utvalg for drikkevannsforskning.

Kristiansen, H., 1979. Degradation of Concrete and Asbest Cement Pipes. Proceedings of the Water Research Centre's Conference at Keble College, Oxford, England, Sept. 1978.

Tornes, 1986. Personlig meddelelse.

Analysis of water samples from the asbestos cement pipes — mean values The rate of extraction of calcium for the pipe material is calculated.

Year	Water flow l/day	Water in			Middle outlet				End outlet			
		pH	Ca mg/l	Mg mg/l	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Extraction rate g Ca/m ² year	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Extraction rate g Ca/m ²
<i>Autoclave-cured pipe.</i>												
1967	229	6.5	2.9	—	10.3	10.4	—	166.0	10.7	14.8	—	132.0
1968	202	6.5	2.8	—	9.8	8.5	—	111.5	10.4	11.6	—	86.0
1969	185	6.6	3.2	—	9.5	9.2	—	107.7	10.2	13.5	—	92.3
1970	187	6.6	3.4	0.57	9.9	8.9	0.35	99.4	10.3	12.7	0.28	84.2
1971	174	6.4	3.4	0.49	9.7	9.0	0.34	94.0	10.2	13.0	0.24	80.5
1972	208	6.6	3.4	0.49	9.5	8.4	0.35	101.0	10.1	12.1	0.27	88.0
1973	300	6.5	3.9	0.50	8.7	7.5	0.36	103.0	9.9	10.6	0.29	95.7
1974	259	6.7	3.8	0.51	9.2	8.2	0.36	109.4	9.9	11.0	0.29	88.8
<i>Water-cured pipe.</i>												
1967	256	6.5	2.9	—	10.1	5.4	—	62.0	10.4	6.9	—	49.5
1968	206	6.5	2.8	—	9.7	7.0	—	83.6	10.2	10.0	—	71.6
1969	191	6.6	3.2	—	9.1	7.1	—	72.0	9.9	10.5	—	67.0
1970	198	6.6	3.4	0.57	9.8	7.3	0.43	92.0	10.3	10.9	0.34	80.2
1971	178	6.4	3.4	0.49	9.6	8.6	0.37	90.5	10.3	13.0	0.32	82.8
1972	208	6.4	3.4	0.49	9.7	8.4	0.39	101.0	10.3	12.2	0.30	89.0
1973	307	6.5	3.9	0.50	8.8	7.4	0.40	101.8	9.9	10.2	0.34	92.4
1974	297	6.7	3.8	0.51	9.5	8.5	0.42	131.6	10.1	12.1	0.37	115.9

Tabell 1. Vannkvalitetsendring i AC-rør (Oslo).

Utløsning av kalsium i g Ca pr. m² og år for hver rørsesjon.

Rørtype	Autoklavherdet				Vannherdet						
	Seksjon	0-6	6-12	12-18	18-24	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24
1970		121,0	84,0	67,6	76,0	167,0	50,6	57,4	97,5	73,4	35,4
1971		136,0	54,0	72,5	60,7	168,0	36,2	66,8	65,8	129,2	30,0
1972		134,0	65,3	88,7	63,3	165,0	50,2	87,7	82,3	82,3	68,4
1973		141,4	67,0	104,4	72,4	180,7	41,9	82,3	78,4	94,4	78,2
1974		177,6	46,4	72,6	66,3	223,2	70,0	99,8	120,6	80,7	100,0
Middel for 1970-73		133,1	67,0	88,3	68,1	170,2	44,7	73,6	81,0	94,8	53,0

Tabell 2. Kalsiumutløsning fra rørveggen (g Ca pr m² og år) (Oslo).

	Innveid mg	Glødetap 600°C		Glødetap 1000°C		Utløst i syre + SiO ₂ %	Løst i syre							
		mg	%	mg	%		mg Ca	% CaO	mg Mg	% MgO	ug Fe	% Fe ₂ O ₃	mg Mn	% MnO ₂
Autoklavherdet 1. halvdel	557,9	154,5	27,7	11,5	2,1	24,8	21,6	5,4	6,63	2,0	80	20,5	41,7	11,9
Autoklavherdet 2. halvdel	548,3	117,2	21,0	11,7	2,1	13,4	18,6	4,7	4,17	1,3	180	47,0	9,4	2,7
Vannherdet 1. halvdel	569,7	155,6	27,6	12,9	2,3	27,7	19,8	4,9	3,37	1,0	80	20,1	40,0	11,2
Vannherdet 2. halvdel	563,6	183,2	32,5	21,9	3,9	17,1	42,0	10,4	6,50	1,9	70	17,7	21,7	6,1

Tabell 3. Analysedata for utfelt slam i rørene (Oslo).

Analysis of pipe samples.

Material	Amount — per cent				
	Loss at 600 °C	Calcium CaO	Magnesium MgO	Loss at 1000 °C	
Water-cured					
Inside 0.5 mm	14.8	33.8	13.5	17.4	
2nd 0.5 mm	14.7	26.9	15.2	5.8	
3rd 0.5 mm	12.8	30.4	12.5	3.2	
4th 0.5 mm	11.8	37.3	9.2	0.8	
5th 0.5 mm	11.8	51.4	8.2	3.2	
Remaining	12.7	53.1	6.4	3.4	
Autoclave-cured					
Inside 0.5 mm	5.6	12.0	14.8	10.0	
2nd 0.5 mm	7.5	12.2	13.2	5.4	
3rd 0.5 mm	7.8	21.9	9.4	5.7	
4th 0.5 mm	8.2	35.6	9.0	4.0	
Remaining	11.0	46.5	6.7	2.8	

Tabell 4. Analyse av rørtverrsnittet (Oslo).

pH		6.6
Calcium	mg Ca/l	3.4
Magnesium	mg Mg/l	0.50
Sodium	mg Na/l	1.4
Potassium	mg K/l	0.45
Chloride	mg Cl/l	1.7
Sulphate	mg SO ₄ /l	7.0
Nitrate	mg NO ₃ /l	0.9
Alkalinity	ml N/10 HCl/l	0.8
Permanganate value .	mg O/l	3.1
Organic carbon	mg C/l	3.0
CO ₂ — total	mg CO ₂ /l	5.4
CO ₂ — bound	mg CO ₂ /l	3.5
CO ₂ — free	mg CO ₂ /l	1.7

Tabell 5. Vann brukt i forsøket (Oslo).

Analysis (mean values, N=10) of Langevatn lake water.

Item	Amount
pH	6.0
Conductivity 20°C, 10 ⁶ ohm ⁻¹ cm ⁻¹	35
Colour, mg Pt/l	8
Turbidity, J.T.U.	0.5
Permanganate value, mg O/l	0.5
Alkalinity, ml 0.1 NHCl/l	0.4
Chloride mg Cl/l	8.0
Sulfate mg SO ₄ /l	5.0
Calcium mg Ca/l	1.1
Magnesium mg Mg/l	0.7
Iron mg Fe/l	0.05
Manganese mg Mn/l	0.04

Tabell 6. Vannkvalitet Langevatn (IVAR).

Year	Calcium content in water mg Ca/l				Water flow l/s	Solution of Ca from the pipe material mg Ca/m ² year
	Inlet St. 1	Outlet St. 5	Diff.			
1960	2.02	5.78	3.76	400	590	
1961	1.69	3.80	2.11	400	330	
1962	1.52	2.74	1.22	420	200	
1963	1.38	2.27	0.89	450	150	
1964	2.10	3.00	0.90	450	160	
1965	1.64	2.46	0.82	500	160	
1966	1.40	1.90	0.50	550	105	
1967	1.28	1.82	0.54	600	120	
1968	1.20	1.65	0.45	650	110	
1969	1.20	1.54	0.34	700	92	
1970	1.00	1.30	0.30	750	87	
1971	1.10	1.30	0.20	800	62	
1972	0.95	1.15	0.20	900	69	

Tabell 7. Kalsium utløsning fra rørveggen (IVAR).

Analysis of the slime layer inside the pipeline.

Item	Amount per cent
Acid soluble:	
Fe ₂ O ₃	39.4
Al ₂ O ₃	0.12
MnO ₂	9.85
CaO	0.19
MgO	7.15
Na ₂ O	0.11
K ₂ O	0.0
CuO	0.17
Acid insoluble	43.0
Total	99.99

Tabell 8. Analysedata for utfelt slam i ledningen (IVAR).

Snitt nr.	Kalsium %	Magnesium %	Jern %
1	1,4	6,0	2,5
2	7,0	1,6	6,7
3	0,9	6,5	2,1
4	1,5	6,1	2,0
5	1,0	3,6	1,1
6	2,2	4,8	1,9
7	3,9	2,8	2,7
8	5,7	2,0	3,8
9	7,4	1,2	22,6
10	10,5	0,6	1,3

Tabell 9. Analyse av rørtverrsnittet (Premo rør, IVAR).

Kommune	Konduktivitet mS/m	Tot.alkalitet mmol/l	pH	Kalsium mg Ca/l	Kalsium- utløsning g Ca/m ² år
Stavanger	5,0 - 6,1	0,06 - 0,21	7,3 - 10,0	1,0 - 4,0	90 - 160
Randaberg	5,4 - 5,7	0,1 - 0,2	8,7 - 9,6	2,5 - 3,0	180
Sola *	4,9 - 5,2	0,05 - 0,12	7,4 - 8,7	1,0 - 2,0	190
T	5,2 - 5,4	0,13 - 0,14	9,3 - 9,4	2,0 - 2,5	320

* AC-ledning undersøkt er innvendig belagt med asfalt

Tabell 10. Vannkvalitet på ledningsnett (AC-rør, IVAR).

Year	Water flow l/s	Calcium content in water mg Ca/l			Solution of Ca from the pipe material g Ca/m ² year
		Inlet	Outlet	Diff.	
1962	30	1.6	14.0	12.4	1250
1963	30	1.4	12.6	11.2	1100
1964	30	2.1	11.0	8.9	900
1965	40	1.6	8.0	6.4	860
1967	45	1.3	5.0	3.7	560
1972	60	1.0	3.7	2.9	580

Tabell 11. Vannkvalitet på ledningsnett (AC-rør, IVAR/KLEPP).

Vannkvalitet						Beregnet utløsnings- hastighet g Ca/m ² år	Alder rør (år)	Beregnet tøring (mm rør/år)	Vannverk (referanse)
Inn i røret			Ut av røret						
pH	Ca (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	pH	Ca (mg/l)	HCO ₃ ⁻				
7,9	8	12,8	9,3	11,1	21,6	66	9-18	0,15	Eidsberg (dette arbeidet): Gjennomsnittsverdi fra prøvep.nr. til prøvep.nr.: 9-14 10-13 13-16 14-8 13-7
7,9	9	14,0	8,7	10	18,9	107	15	0,25	
7,8	8	14,6	9,4	10	20,7	340	15	0,79	
9,4	10	20,7	10,1	12	29,9	33	9	0,08	
8,7	10	18,9	9,8	14	27,5	25	15	0,06	
9,4	10	20,7	9,7	11	21,4	21	13	0,05	
4,8	<1,0	1,8	5,8	2,4	8,4	161	13-25	0,37	Grimstad (dette arbeidet): Gjennomsnittsverdi fra prøvep.nr. til prøvep.nr.: 4-5 11-13 11-9 4-11 11-12
5,8	<1,0	7,3	7,1	3,0	7,9	311	13	0,7	
7,3	2,0	7,3	9,7	4,0	14,0	13**	19	0,03	
7,3	2,0	7,3	9,9	4,0	15,3	5**	21	0,01	
5,8	<1,0	7,3	7,3	2,0	7,3	168**	21	0,39	
7,3	2,0	7,3	8,7	4,0	9,8	128	23	0,29	

** Beregningene er influert av et stykke støpejernsrør med innvendig sementmørtelforing.

Tabell 12. Vannkvalitet og kalsium utløsning fra rørveggen (AC-rør, Eidsberg og Grimstad).

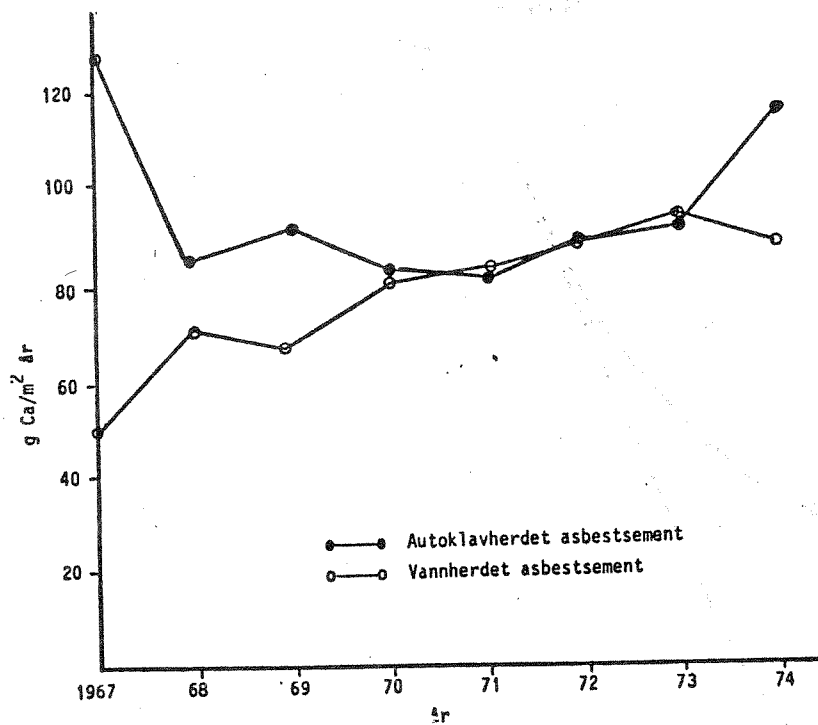


Fig. 1. Utløsning av kalsium fra rørveggen (Oslo).

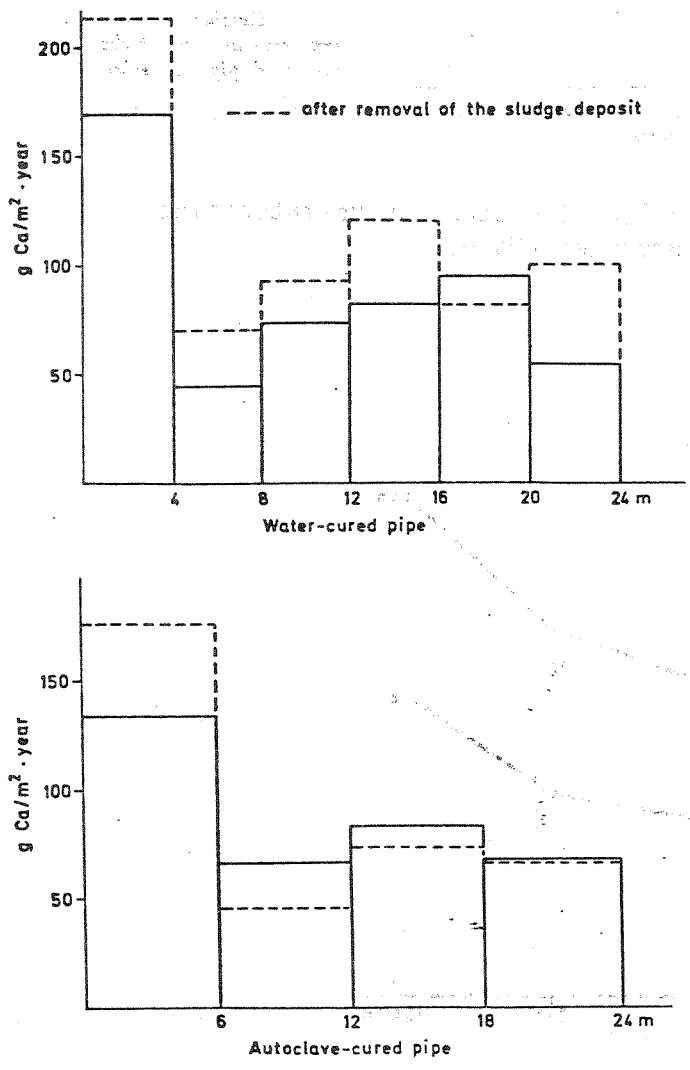


Fig. 2. Utløsning av kalsium fra de forskjellige rørsesjonene (Oslo).

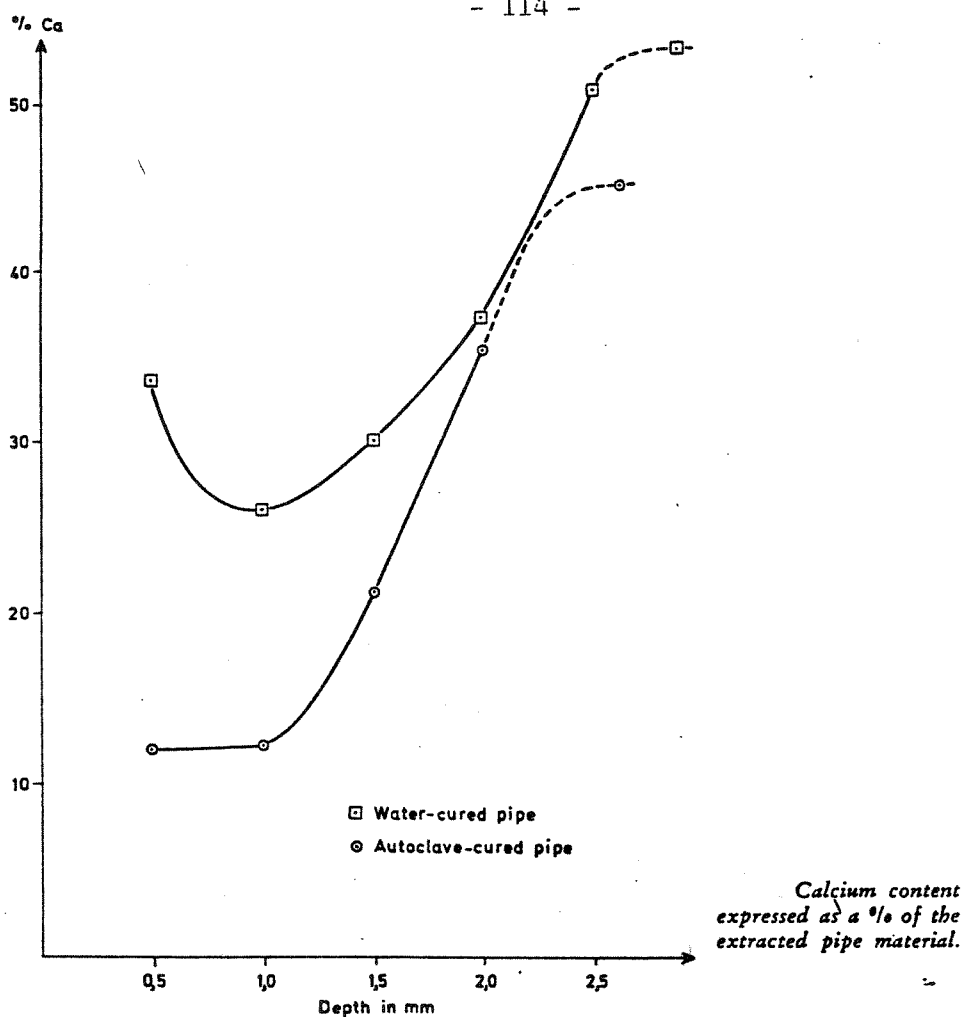


Fig. 3. Kalsium innholdet i prosent av rørmaterialet innover i rørveggen (Oslo).

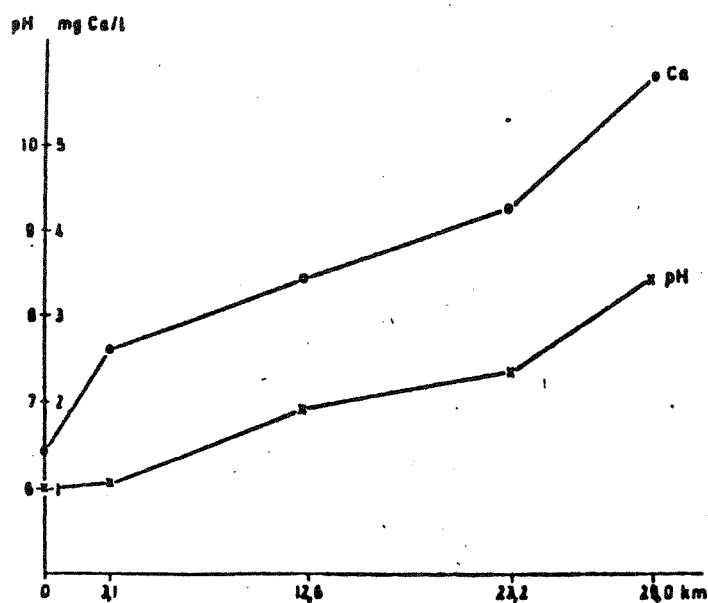


Fig. 4. Kalsium og pH endring utover langs ledningen (IVAR).

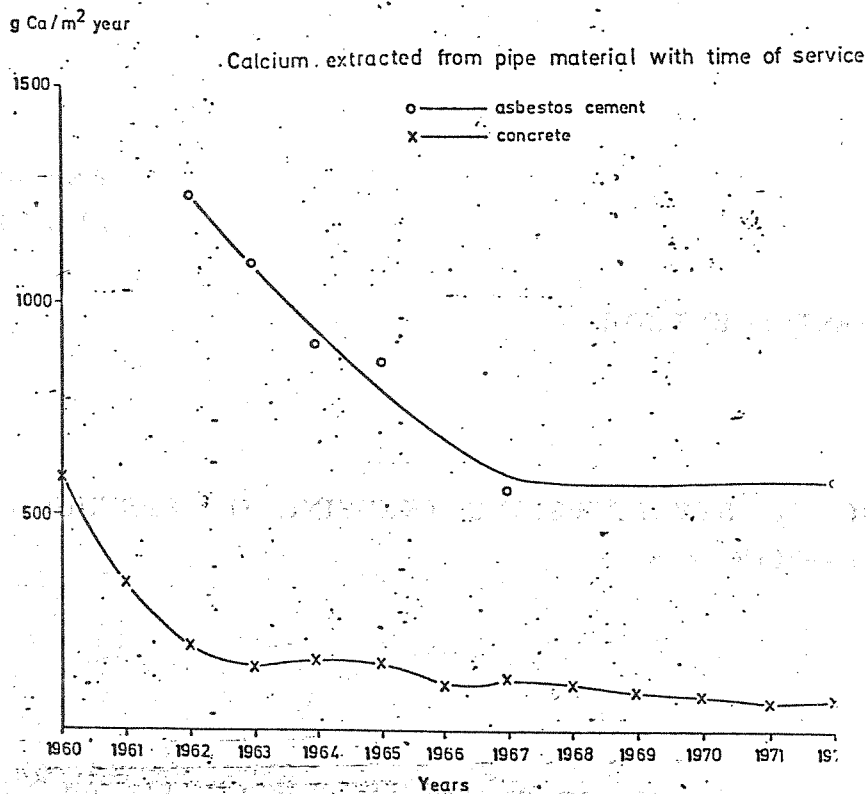


Fig. 5. Kalsium utløsning som funksjon av tiden (IVAR).

AAB/LIS

O-85208

24.6.86

LEVETID FOR ASBESTSEMENTRØR

Prosjektnotat 14

TETTHETSPRØVING OG STYRKETESTING (KNUSING OG SPRENGNING) AV AC-RØR VED TA-ESCO A/S

1. Generelt

- 1.1. Det forutsettes at arbeidet som utføres av TA-ESCO A/S for NIVA gjennomføres i henhold til gjeldende lover og regler (arbeidsmiljøloven, forskrifter om asbest o.l.).
- 1.2. Tilkapping av rørprøvene som skal testes, foretas normalt av kommunen/vannverket som har sendt inn prøven. Tilkapping utføres av TA-ESCO dersom dette ikke er foretatt ved levering til fabrikk.
- 1.3. Utfylt dataskjema følger rørprøvene ved levering (ett skjema fra hver lokalitet det er gravet opp rørprøve). TA-ESCO kontrollerer at leveransen er i overensstemmelse med det som fremgår av skjemaet.
- 1.4. Før rørene styrketestes skal Aaby varsles i god tid slik at rørene kan undersøkes før testingen begynner.
- 1.5. For å sikre best mulig kvalitet på resultatene bør en og samme person utføre alle trykkprøvingene (indre vanntrykk) og en og samme person utføre alle knustestene. Aslesen er ansvarlig for TA-ESCO A/S at testene gjennomføres med høyeste grad av nøyaktighet.
- 1.6. Fra hver lokalitet det sendes inn rørprøver for styrketesting, er det 3 parallelle rørprøver. Hver enkelt prøve er merket, men det er ikke differensiert mellom de 3 parallelle prøvene. Ved TA-ESCO merkes disse prøvene A, B og C respektive (både på selve rørprøven og på merkelappen som følger prøven).

1.7. Til rapportering av testresultatene benyttes eget rapporteringsskjema som utarbeides av Aaby. Skjemaene sendes Aaby straks testen er gjennomført. Det henstilles til at alle forhold som kan være av interesse ved tolkning av resultatene rapporteres.

1.8. Før styrketesten utføres skal prøvene ha vært neddykket i vann i 48 timer.

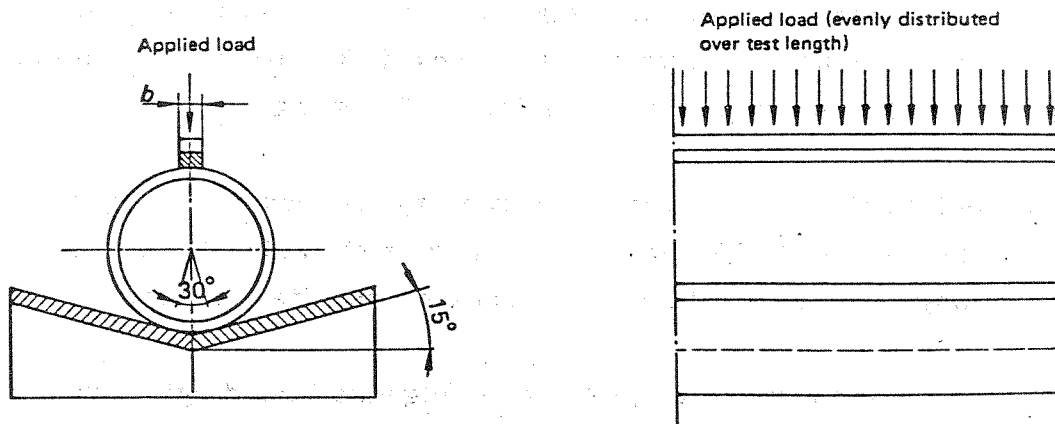
1.9. Etter avsluttet test pakkes rørprøvene i poser. Dersom rørprøven ved testen har delt seg i to eller flere deler (eller om det foreligger mulighet for det under transport), skal rørprøven pakkes i egen pose.

2. Test for knusing

2.1. Trykk-celle som registrerer brudd-last utstyres med slepeviser.

2.2. Rørprøvens lengde $L = 300$ mm.

2.3. Rørprøven belastes som følgende figurer viser.



Prøvingslasten påføres jevnt stigende slik at brudd oppstår tidligst etter 15 sek. og ikke senere enn etter 30 sek.

Øvre og nedre anleggsflater kan lages av metall eller hard ved, men må ha en stivhet som sikrer en jevn fordeling av lasten. Øvre anleggsflate skal ha en bredde $b = 35$ mm. Mellom røret og anleggsflatene benyttes 15 mm tykke gummilister med hardhet 60 ± 5 IRH.

Vannverkseier har merket rørprøvene (rørets topp) slik at det skal fremgå hvordan røret lå i grøfta. Rørets topp skal vende opp mot øvre anleggsflate.

3. Tetthetskontroll og test mot brudd ved indre vanntrykk

3.1. Standard flensemuffer for AC-rør (S-8170-3 Heinec flensemuffer) benyttes. Ved montering skal prøven ikke påføres aksial spenninger. For mest mulig jevn belastning på rørprøven benyttes moment-nøkkel ved tildraging av boltene.

3.2. Rørprøvens lengde $L = 500$ mm.

3.3. Manometer som viser vanntrykket, utstyres med slepeviser.

3.4. Ved tetthetsprøving påføres et vanntrykk tilsvarende det dobbelte av ledningens nominelle driftstrykk (maks. dimensjonerende driftstrykk fra fabrikk). Prøvetrykket holdes i 30 sekunder. Under testen kontrolleres rørprøven for lekkasjer/"svetting".

3.5. Ved testing mot brudd økes vanntrykket jevnt fra trykket som ble benyttet ved tetthetsprøvingen (jfr. pkt. 3.4) slik at brudd oppstår tidligst etter 15 sek. og ikke senere enn etter 30 sek.

3.6. Det er liten sannsynlighet for at følgende bruddtrykk overstiges:

Diameter (mm)	Bruddtrykk (kg/cm^2)
100	80
150	75
200	70
250	60

O-85208

AAE/GUM

LEVETID FOR ASBESTSEMTRØR

24.03.87

Prosjektnotat nr. 15

SAMARBEIDSPROSJEKT MELLOM NIVA OG NOEN UTVALGTE KOMMUNER

Innledning

Prosjektet Levetid for AC-rør forutsetter innsamling av data og rørprøver for testing fra vannverk med AC-rør på nettet. Forslag til kriterier for valg av vannverk og prosedyre for gjennomføring av samarbeidsprosjektet er redegjort for i Prosjektnotat nr. 2 (PN2). Utkast av brev til vannverks-eiere med invitasjon til deltakelse i prosjektet (vedlegg A) og PN2 ble lagt fram for prosjektets rådgivende gruppe på møte 25.06.85. Det kom ikke fram prinsipielle innvendinger mot gjennomføring av samarbeidsprosjektet som foreslått. Prosjektet er fram til nå gjennomført i tråd med disse planene.

Prosedyre for gjennomføring

Med utgangspunkt i bl.a. en liste over kommuner som man visste hadde problemer med sitt AC-rørnett (Problemnotat av 12.02.85) ble det tatt telefonisk kontakt med 30 potensielle samarbeidskommuner for å orientere om prosjektet. Skriftlig orientering om prosjektet ble sendt til 25 av disse (vedlegg A). Hvilke kommuner dette gjelder er vist i vedlegg B. De resterende fem kommunene (Larvik, Våler, Tinn, Tvedestrand og Karmøy) ønsket av ulike grunner ikke å delta i prosjektet. Etter gjennomgang av den skriftlige orienteringen var følgende 15 kommuner positive til deltakelse:

Strand, Eidsvoll, Sandefjord, Andøy, IVAR (6. kommuner), Bergen, Tjøme, Ørland, Hareide.

For registrering av grunnlagsdata for de enkelte vannverk, ble registreringsskjema sendt til utfylling (PN7). Følgeskrivet til denne utsendelsen er vist i vedlegg C. Pr. 01.04.87 deltar følgende kommuner i samarbeidsprosjektet:

Strand

Eidsvoll

Sandeford

Eidsberg

Andøy

IVAR (Sola, Stavanger, Klepp, Hå, Randaberg og Time).

Bergen kommune har sagt seg villig til å delta men pga. kapasitetsproblemer internt i kommunen har de foreløpig ikke hatt anledning til å grave opp rørprøver.

Etter å ha mottatt utfylt registreringsskjema fra kommunene, har NIVA utarbeidet forslag til program for gjennomføring av undersøkelsen ved hvert vannverk. Programforslaget har deretter blitt vurdert, justert og godkjent av den enkelte vannverkseier. Program for Eidsvoll kommune er vedlagt som eksempel (vedlegg D). Detaljert rettleiding til kommunene for gjennomføring av undersøkelsen er vist i vedlegg E.

Metodikk ved tilstandsvurdering av AC-nettet

Et omfattende kompleks av ulike faktorer styrer AC-rørs levetid. Internasjonalt er det gjort lite for kvantitativ bestemming av tærigsgraden på rør som har vært i bruk. Det foreligger ikke noen sikker modell som gir sammenhengen mellom vannkvalitet og grad av tæring. Sementens sammensatte natur og at det ofte dannes beskyttende belegg på røroverflaten ved meget små konsentrasjoner av enkelte stoffer (eks. jern), gjør det vanskelig å finne frem til en slik sammenheng.

Retningsgivende for uttak av AC-rør for testing, har bl.a. vært å finne frem til lokaliteter som gjør det mulig å isolere enkelte parametere som kan virke inn på tæringen. Spesielle forhold ved prioritering av lokaliteter for uttak av rørprøver for testing, er det redgjort for i vedlegg C. Utover det som er nevnt i vedlegg C er det for vannverk der det har vært aktu-

elt med uttak av flere rørprøver tatt sikte på å velge ut en lokalitet med meget aggressivt vann (nær inntak) og en lokalitet med mindre aggressivt vann (nær "dead ends") og eventuelt en tredje prøve der vannkvaliteten ligger mellom nevnte ytterpunkter. Fra hver prøvelokalitet er det tatt ut vannprøver for analyse. For å få en indikasjon på vannkvalitetsvariasjonen over døgnet er det tatt ut en prøve tidlig om morgenen og en prøve om ettermiddagen.

Følgende metoder for tilstandsvurdering av rørprøver er vurdert:

1. Styrketesting ved knusing og sprenging.
2. Kalsiumbestemmelse (gradient) gjennom rørtverrsnittet.
3. Strukturanalyse av rørtverrsnittet (polarisasjonsmikroskopi av tynnslip).
4. Måling av porositet.
5. Hardhets måling (Durometer).
6. Visuell bedømming av tykkelse på gråsoner (innvendig tæringsdyp).
7. Visuell bedømming ved bruk av fenolftalin (innvendig tæringsdyp).
8. Analyse av eventuelt beskyttende belegg på innsiden av røroverflaten for å kartlegge hva som styrer tæringsforløpet.

1. Styrketesting. Endring av ledningsanleggets evne til å motstå utvendig jordtrykk og innvendig vanntrykk står helt sentralt ved vurderingen av ledningsanleggets levetid. Det ble derfor tidlig tatt initiativ til å vurdere muligheten av å styrketeste rørprøver. Prosedyre for styrketesting i forbindelse med produktkontroll av nye rør er spesifisert i ISO standarden og i de nasjonale standardene.

ISO standarden beskriver tre ulike tester:

1. Testing med innvendig vanntrykk til brudd.
2. Testing med utvendig linjelast til brudd (knusing).
3. Bjelketesten.

Bjelketesten forutsetter 2 m lange rørprøver og er av praktiske grunner ikke aktuell. For gjennomføring av de to andre testene har det vært tatt følgende kontakter:

- NBI i Trondheim (Bakkejord) kan teste AC-rør for sprenging opp til en utvendig diameter på 250 mm. Rørprøven presses mellom stålplater slik at aksialspenninger oppstår i rørgodset. ISO standarden presiserer at aksialspenninger ikke skal forekomme. Pris pr. utført test kr. 1 500. NBI i Trondheim har utstyr for trykktesting av plastrør.
- NBI i Oslo (Lossius) kan utføre test nr. 2. For å utføre testen vil det anslagsvis gå med kr. 5 000,- i rigg-omkostninger pluss kr. 300,- pr. prøve.
- SINTEF (Avd. nr. 16 for Materialer og Bearbeiding og Avd. nr. 65 for Sement og Betong) har ikke erfaringer/kjennskap til trykkprøving av AC-rør.
- STI har utstyr for gjennomføring av test nr. 2. For dekking av riggomkostninger for test nr. 1 forlanges anslagsvis kr. 10 000. Utstyret som er foreslått for test nr. 2 oppfyller ikke ISO kravene. For testing forlanges kr. 500,- pr. prøve.
- Det har vært tatt kontakt med Veroc Technology A/S (Agnar Gilbu) i Sandefjord. Bedriften er et samarbeidsselskap mellom Owens Corning Fiberglas, USA, Sveitsisk Eteritt fabrikk, Amiantus AG og A/S Jontun Gruppen, og driver med FoU av glassfiberarmert polyester rør (GUP). En rørprøve fra Asktjern-Blaker fellesvannverk ble forsøkt testet med innvendig vanntrykk ved bedriftens laboratorium i Sandefjord. Rørprøvens innvendige tæring gjorde at det ikke var mulig å oppnå tilstrekkelig tettning for å gjennomføre testen og metoden som forøvrig var meget lett og enkel å gjennomføre, måtte forkastes.
- TA-Esco A/S, Kongsberg leverer bl.a. Heinco-flensemuffer (skjøte kupling) for AC-rør. Bedriften har utstyr for gjennomføring av både test nr. 1 og 2. Den 31.5.85 ble utstyret testet med rørprøver fra Asktjern-Blaker fellesvannverk. Viser til vedlegg A der undersøkelsen er rapportert.

TA-Esco A/S har blitt engasjert av NIVA for styrketesting av rørprøvene. For gjennomføring av testprogrammet har det vært nødvendig å produsere eget utstyr (seigjerns flense muffe og seigjerns blindflenser). Utstyr i standard utførelse, som man regnet med å kunne bruke, viste seg ikke å ha nødvendig styrke.

2. Kalsiumbestemmelse gjennom rørtverrsnittet. Undersøkelsen forutsetter dreining av 0,5 mm dype snitt suksessivt utover i rørtverrsnittet. Deretter bestemmes kalsiuminnholdet i sponet fra hvert snitt. Forespørsel om dreining av snitt som beskrevet ble sendt til Veglaboratoriet, STI, NBI, Hemek A/S, Sideros Mek. Verksted, Teknologisk Institutt i Danmark samt to private danske firmaer. Arbeidet forutsetter relativt omfattende tiltak for å hindre innånding av asbest fibre. Ingen av de nevnte firmaene var villige til å gjøre arbeidet for oss. Tilsvarende test er tidligere utført på NIVA. Personalet som eventuelt vil stå for arbeidet nå, har sterke motforestillinger p.g.a. asbest faren. Man valgte derfor ikke å satse på denne typen test.
3. Strukturanalyse av rørtverrsnittet. Metoden er mye brukt i Danmark for å bestemme tæringsangrep på betongkonstruksjoner. Bl.a. blir porositeten og hvilken form kalsium finnes på utover i rørtverrsnittet bestemt. Metoden er tidligere benyttet av Teknologisk Institutt i Danmark ved undersøkelse av en rørprøve fra Asktjern-Blaker fellesvannverk og viser en klar tæringssone i rørveggen. I utgangspunktet var det tenkt at metoden ville kunne supplere metoden med kalsiumbestemmelse (0,5 mm snitt) gjennom rørtverrsnittet.

Strukturanalyse av fire rørprøver fra Sandefjord kommune er nylig utført av firmaet Svend Borgselius A/S i Danmark. Resultatene (rapport av 10.03.87) er betydelig vanskeligere å tolke enn rørprøven fra Asktjern-Blaker fellesvannverk. Tæringssonen er lite markert. På nåværende tidspunkt er det ikke tatt endelig stilling til om flere rørprøver bør undersøkes på denne måten.

4. Porositet. Ved kalsiumutløsning fra rørveggen vil porositeten til materialet øke. Porositeten gir derfor et inndirekte mål på tæringsgraden (summen av utvendig og innvendig tæring). Sammenhengen mellom rørets porositet og styrke vil bli undersøkt.

Tabell 1. Oversikt over deltakende kommuner med noen nøkkeltall for hvert vannverk.

KOMMUNE	Befolk. tilkn. vannv.	AC-rør			Ant. lokal- iteter	L.I. 1)	Vannkilde og vannbehandling 2)
		Tot. (km)	Andel %	Korr.besk. (km)			
1 Strand	7 000	20	33	-	2	-4,4	Asvann 1960-1985. Ny kilde fra 1985. Ingen vannbehandling. L.I. målt i 1982 (Asvann).
2 Fidsberg	5 700	51	49	13 (innv)	3	-1,0	En vannkilde. Fullrensing + alkalisering hele tiden. (Aluminiumsulfat + kalk). CO ₂ forsøk 09.87 - 06.84.
3 Andøy	5 000	47	72	0	1	-3,9	En vannkilde. Ingen vannbehandling. L.I. målt i 1983.
4 Sandefjord	35 000	22	8	11 (innv, utv)	7	-2,8	Lokal vannkilde fra 1960. Farrisvann fra 1968. Alkalisering med kalk. L.I. målt i 1983.
5 Eidsvoll	6 000	40	50	noe	4	-3,0	En vannkilde. Ingen vannbehandling.
6 Klepp	9 300	50	30	0	5		Langevann fram til 1984. Hagavann ny kilde. Kommunene er tilknyttet IVAR vannverket med Langevann som hovedvannkilde. Siden 1979 vann 1976-84. Hagavann ny kilde. NaOH.
7 Time	9 000	25	18	noe	2		Asvann fram til 1981. Langevann 1981-84. Hagavann ny vannkilde.
8 Hå	9 000	20	18	0	2		Vannvann fram til 1976. Langevann 1976-84. Hagavann ny kilde.
9 Sola	14 300	52	45	40 (innv)	4	-3,8	Langevann fra 1960.
10 Stavanger	90 000	12	2	0	4	-1,5	Langevann fra 1960.
11 Randaberg	7 000	26	51	0	2	-2,5/+1,9	Langevann fra 1960.
12 Time	600	12	80	0	2	-1,3	En vannkilde (Undheim v.v.). Ingen vannbehandling.
SUM	197 900	377	42		38		

1) L.I. = Langliers indeks. Basert på vannprøver tatt i 1986 dersom ikke annet er nevnt under "Vannkilde og vannbehandling".
 2) Siling og desinfisering er ført opp som "ingen vannbehandling".

5. Hardhetsmåling. Utstyr for hardhetsmåling (Durometer, Shore D) er innkjøpt. Ved kalsiumutløsning vil røroverflaten bli mykere. Instrumentet registrerer materialets motstand mot inntrengning av en 2,5 mm lang spiss av stål. Utstyret som er meget enkelt å betjene gir et indirekte mål på tæring. Hardheten vil kunne vurderes opp mot andre måter å bestemme tæringsdypet på.

6/7. Visuell bedømming av tæringsdyp. Tæring av rørtverrsnittet vises tydelig ved at den tærede sone får en lysere gråtone sammenlignet med AC som ikke har vært påvirket av aggressivt vann. Fenoftalin gir fiolet farveutslag ved pH over 8,3. For rørmateriale som ikke er påvirket av aggressivt vann vil porevannets pH være høyere enn 8,3. Ved påføring av fenoftalin på rørtverrsnittet vil upåvirket materiale farges fiolet. Metoden gir et mål på tæringsdypet.

Fremdrift pr. 15.03.87

Oversikt over deltakende kommuner med noen nøkkeldata fra de enkelte vannverk er vist i tabell 1.

Tilsammen er det gravet opp rørprøver fra 36 forskjellige lokaliteter. I tillegg er det sendt inn prøver av to rør som tidligere ikke har vært i bruk. Kommunene ble bedt om å sende inn 3 parallelle prøver fra hver lokalitet for knustest og 3 parallelle prøver for sprenging. Pga. begrensninger ved utstyret for sprengtesten vil bare rør med $D \leq 250$ mm kunne testes på denne måten. Totalt for stryketesting foreligger det 192 enkeltprøver hvorav 86 for sprengtesting og 106 for knustesting. Dimensjonsfordelingen for de innsendte prøver tilsvarende landsgjennomsnittet.

Tabell 2. Dimensjonsfordeling av innsendte rørprøver.

Diameter (mm)	% av totalen			
	100	150	200	$D \geq 250$
Landsgjennomsnitt	24	38	17	21
Innsendte rørprøver	24	37	8	31

Det har vært foretatt dimensjonskontroll av rørprøvene. Følgende dimensjoner er målt:

1. Lengde på to steder; topp og bunn av røret.
2. Utvendig diameter; horisontalt og vertikalt mål på begge ender av minst en rørprøve fra hver lokalitet.
3. Godstykkelser; topp og bunn på begge ender av minst en rørprøve fra hver lokalitet.

Dimensjonskontrollen er foretatt ved TA-Esco i Kongsberg. Samtidig ble alle parallelle prøver (3 eller 6) fra hver lokalitet visuelt vurdert under ett for å karakteriseres utvendig tæring (tæringsgrad, farge, mønster). Skjema som ble brukt i denne sammenheng er vist i figur 1.

RØRPRØVE

LITVENDIG	X	FARGE	% AREA	BESKRIVELSE
	EKSFAKSET			
	FLEKKER			
	OMRÅDER			
LITVENDIG	LANGE	GRENSE Topp		
	DEL	BUNN		
	NR	NR	NR	NR
	NR	NR	NR	NR
	NR	NR	NR	NR
	NR	NR	NR	NR
	NR	NR	NR	NR
	NR	NR	NR	NR
	NR	NR	NR	NR
	NR	NR	NR	NR
INNVENDIG	FARVE PÅ OVERFLATE			
	ER DET INNVENDIG BELEGG			
	FARGE ETTER SKRANS			
	TÆRING / TÆRINGSGRAD			
	TÆRINGSGRAD			
INNVENDIG	HARDHET			
	1	2	3	4
	5	ANMERKNINGER		
	Topp			
SIDE				
BUNN				

* FRA 1-5 ; 1 = IKKE TÆRET

Fig. 1. Skjema i bruk ved vurdering av rørprøvens utseende og tæring.

I tillegg ble en prøve fra hver lokalitet plukket ut og innvendig og utvendig hardhet bestemt. Pga. at utvendig tæring varierer fra prøve til

prøve ble 3 - 5 spesielle områder plukket ut og hardhetsbestemt. Siktemålet var å måle hardheten av områder med maksimal og minimal tæring, samt områder med avvikende farve. Under disse målingene var rørenes fuktighetsgrad ikke definert. Hardheten varierer med fuktighetsgraden av rørmaterialet ($\pm 5\%$), slik at resultatene fra hardhetsmålingene ved TA-Esco A/S sier mest om den relative forskjell mellom utvendig og innvendig hardhet.

Videre ble utvendig tæringsgrad for de ulike feltene skjønnsmessig vurdert ved å skrape/hugge i materialet med en kniv. Tykkelse på gråsone (innvendig tæring) ble også målt.

Det bemerkes at rørets farve (innvendig og utvendig) også forandrer seg med vanninnhold slik at farveangivelse (figur 1) har begrenset verdi.

Før gjennomføring av selve sprengtesten ble samtlige rørprøver tetthets-testet ved 30 bar. Etter at brudd er oppnådd ved sprengtest/knustest er bruddmønsteret registrert.

Pr. 15.03.87 er det foretatt 50 tester for sprenging og 42 knustester.

Pga. lang leveringstid for testutstyret, noe motstand fra bedriftens ansatte til å ha AC-produkter i produksjonslokalene og at arbeidet med rørprøvene naturlig nok har måttet tilpasses øvrig produksjonen ved fabrikk, har fremdriften ligget noe etter det man hadde håpet. Det skal bemerkes at bedriftens ledelse til enhver tid har vært meget positive og hjelpsomme ovenfor prosjektet.

Porositeten av en rørprøve fra hver lokalitet er bestemt. Først ble det gjort noen innledende forsøk for å se på hvordan graden av vannopptak varierte med tiden. For 8 tilfeldig valgte rørprøver øket egenvekten for samtlige rørprøver mindre enn 1 % fra den tredje til den fjerde dagen nedsenket i vann. Det ble derfor bestemt at for måling av vannopptak var det tilstrekkelig at rørprøven ble nedsenket i vann i 72 timer før den ble satt i tørkeskap. NS 3029 (prøvingsmetoder for betongrør) §3.2, Absorpsjonsprøving, forutsetter at prøven tørkes ved 105°C i 72 timer i ventilert tørkeovn. Denne prosedyren ble også valgt for AC-rørprøvene. Prøv-

enes volum ble målt ved å registrere den fortrenkte væskemengde ved å senke den "vannmettede" rørprøven ned i et kar fylt med vann. Rørets porositet (P) ble så beregnet:

$$P = \frac{\Delta W}{V}$$

der ΔW er vektreduksjonen ved tørking av rørprøven og V er prøvens volum.

Før rørprøven ble satt for tørking, og etter 72 timer i tørkeskap, ble innvendig hardhet bestemt. For hvert rør ble det foretatt 7 enkeltmålinger hvorav de to laveste ble forkastet. Middelen av de resterende 5 målingene gir rørets hardhet. Det har vist seg at dersom sirkelbuen til foten av hardhetsmåleren ikke er parallell med rørprøvens innvendige sirkelbue, vil den registrerte hardhet bli for lav.

Gjenstående undersøkelser

Ta-Esco A/S vil trolig bli ferdig med styrketesting av rørprøvene i løpet av mai. Resultatene fra styrketestene, hardhetsmålingene, porositetsmålingene og målingene av tæringsdyp vil danne basis for eventuelt hvilke rørprøver som bør sendes til Danmark for strukturanalyse og hvilke rørprøver der innvendig belegg bør undersøkes nærmere.

Testresultater blir, etterhvert som de foreligger, ført inn i et eget dataskjema for hver lokalitet det er tatt ut rørprøve. Andre data av interesse (lednings alder, vannkvalitet osv.) vil i tillegg tas med i skjemaet. Delvis utfylt dataskjema fra Strand (RI-100) er vist i figur 2. EDB vil bli benyttet ved endelig presentasjon av dataene og i forbindelse med modelltestingen.

RØRPRØVE		STRAND R=100	VARIABEL				MIDDELTEMP (°C)		8.5	
2.1	PRODUKSjonsLAND		4.2	TEMP. PRØVEDAGEN (°C)						
2.2	PROD. PROSSES		4.3	MIDDELTRYKK (kN)						
2.3	HELD. PROSSES	1A111	4.4	TRYKK. TILVÆKST (kN)						
2.4	KØRR. BESP.	101	4.5	MIDDELHAST. (m/s)						
2.5	ALDER (ÅR)	26	4.6	HAST. PRØVEDAGEN (m/s)						
2.6	DIMENSJON	100	4.7.1	4.7.2	4.7.3	4.7.4	4.7.5	4.7.6	DATO	
2.7	MAKS. ÅRS TRYKK (PN)	12.5	5.2	5.1	2.3	5/100			1/14-21	
2.8	KØLLINGSSTYDE	G18	*) NÅRINGS (ASVIND) PÅM. TIL 4-85 - ANNA - LØSE AV BÅVANN 3) M1 12/10 HCL 1.8							
3.1	LEGGEDYPP (kN)	1.35	*) I 85 ANNOTA. LØSETE ANSKENNE GIB. KØLLINGS TOLLINGS							
3.2	AV. GEFJEBREDD (kN)	0.5								
3.3	EGGAV. OMT. HÅSER (kN)	20								
3.4	C ₈	1.7								
3.5	TEPPICE L. 12+ LASTES D _{ur} (kN/m ²)	10	3.8 RUNDHÅNDELSTENIGE F = 1.1							
3.6	Ø = 170.3/H	1.22	3.9 KEDRINGS FUNDAMENTET HØRRE PÅ GEFJEBREDDEN. GIB. TØRRE LØSETE SOM OMFYLLINGSSTOFF							
RØRPRØVE		A	B	C	D	E	F	MIDDEL	ST. AVV. VAR.	
5.1	GEOSTRICK (mm)	13.1	13.3					13.2		
5.2	ØV. DIA. (mm)		127.6					127.6		
5.3	LEGGEDYPP (kN)	301	497	500	300	301	502			
5.4	KROSSLØS (kN)				18.5	20.0	18.0	18.8	10	0.7
5.5	SPRINGS. TIL (kN)	46	48.5	46				46.8	1.4	1.4
5.6	KØLLINGSSTYDE (°)				4.8		4.5	46.5		
5.7	INDV. H. VÆT	51	52	53	54	55	56	57	58	59
5.8	INDV. H. TØRRE	69	67	68	69	70	71	72	73	74
5.9	INDV. H. ES.CO	80	81	82	83	84	85	86	87	88
5.10	ØV. HÅSER H. VÆT/TØRRE	80/108	81/108	82/110	*) ALM. ØV. TØRRE 3) HÅLINGE 4/11-86					
5.11	ØV. HÅSER H. VÆT/TØRRE	81/108	82/108	83/108	*) ALM. ØV. TØRRE 3) HÅLINGE 4/11-86					

*) MIN. Ø 5. mm, D 6. 100 mm, B = 0.1300, 100 x 0.2 600, B = Ø + 500

Fig. 2. Skjema i bruk for sammenstilling av data for hver rørprøve-lokalitet.



Postadresse
Postboks 333 Blindern
0314 Oslo 3

Postgiro 5 19 67 12
Bankgiro 6094.05.11421
Telegramadresse Niva, Oslo

Brækkeveien 19
Telefon (02) 23 52 80
Telex 74190 niva n

Deres ref.

Deres brev av

Vår ref. **AAB/GUM**

Dato

Sak: O-85208

Jnr. 2291/85

BEREGNING AV GJENVÆRENDE LEVETID FOR ASBESTSEMENT LEDNINGER. SAMARBEIDSPROSJEKT MELLOM NIVA OG NOEN UTVALGTE KOMMUNER

Vi viser til telefonsamtalen med Dem den der det ble gitt uttrykk for at kommunen ønsker å vurdere deltakelse i samarbeidsprosjektet om tæring på asbestsementledninger.

Vi regner med at 5 - 6 000 km asbestsementledninger er i bruk som vannledninger i Norge i dag. Dette utgjør ca. 20 % av total lengde vannledninger.

Overflatevannet i Norge er vanligvis bløtt og surt og tærer på asbestsementledninger. Tæringshastigheter i størrelse 0,2 - 0,4 mm/år på innsiden av asbestsementrør er registrert. En stor del av rørene er trolig tildels også alvorlig angrepet fra utsiden.

Tæring på asbestsementledninger vil få alvorlige økonomiske konsekvenser i nasjonal sammenheng. Det kan vise seg nødvendig med årlige investeringer på 200 - 300 mill. kroner for utskifting av gamle asbestsementledninger i åra som kommer. På denne bakgrunn har NTNFs Program for VAR-teknikk engasjert NIVA for å kartlegge restlevetiden for asbestsementledningene.

I samarbeid med en del utvalgte kommuner ønsker NIVA å lage en veileder som kombinert med enkle undersøkelser skal kunne gi den enkelte vannverkseier bedre grunnlag for å beregne restlevetiden på lednings-

nettet og planlegge rehabiliteringstiltak eventuelt behandling av råvannet. Dette vil være et viktig virkemiddel for å unngå utskiftning der det ikke er nødvendig. For å skaffe grunnlagsdata til veiledningen tar vi derfor nå kontakt med et utvalg vannverkseiere som vi vet har asbestementledninger på nettet og oppfordrer dem til å delta i prosjektet.

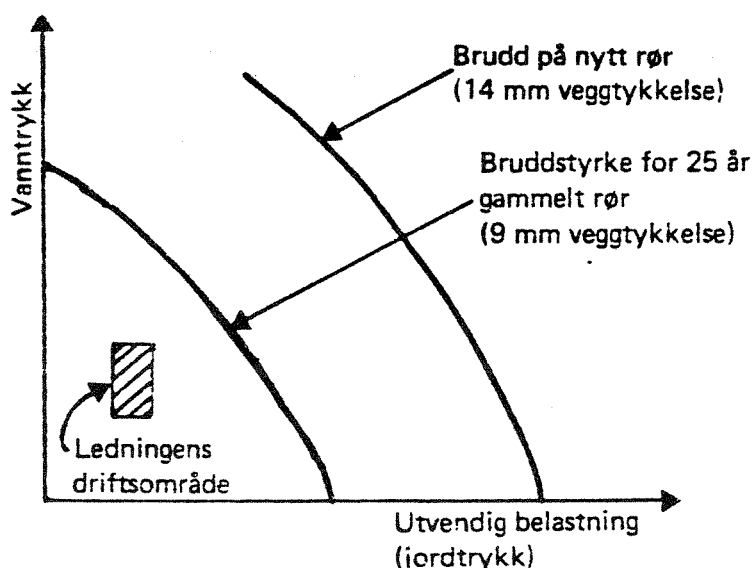
Vi har idag ikke tilstrekkelig kunnskap om de forskjellige faktorene som styrer vannets tæring på asbestementledningene. Det samme gjelder også for hvordan tæringsforløpet virker inn på rørets styrke. Gjennom å undersøke styrken på rørprøver ved testing i laboratorie samtidig som tæring på forskjellige andre måter vil bli målt, vil vi få et bedre grunnlag til å bestemme graden av tæring. Videre vil vi ved registrering av vannkvalitet, vannhastighet, vanntrykk og andre faktorer analysere årsaksforholdene mere direkte.

Et ledningsanleggs levetid er direkte knyttet til anleggets økonomi. Levetiden til et ledningsanlegg kan defineres som det tidspunkt da vedlikeholdskostnadene til reparasjoner m.m. samt de indirekte kostnadene på grunn av avbrudd i forsyningen, overstiger kostnadene med gjennomføring av mer omfattende tiltak. For maksimalt utbytte av veilederen, vil det derfor være nødvendig med en oppfølging av lekkasje, bruddutviklinger og driftsutgiftene ved vannverket.

For de vannverk som deltar i prosjektet vil det bli foretatt en tilstandsvurdering av den aktuelle del av ledningsnettet. Hva deltakelse i prosjektet innebærer for den enkelte vannverkseier er vist i vedlegg 1; "Orientering til vannverkseier om deltakelse i prosjektet".

Sett på bakgrunn av prosjektets totale økonomi vil det være nødvendig at de vannverk som ønsker å delta, selv dekker kostnadene for testing, analysering og individuell tilstandsvurdering av ledningsanlegget. Kostnadene forbundet med å være med i prosjektet vil være avhengig av hvilket ambisjonsnivå man velger. Som minimum regner vi med at vannverkseier må ut med kr. 10 000. For optimalt utbytte må det regnes med 15 - 20 000 kr. Endelig økonomisk ramme vil bli avtalt med de enkelte vannverkseiere underveis. Kort beskrivelse av nødvendige tester for tilstandsvurdering av ledningsanlegget er redegjort for i vedlegg 2.

Innledende forsøk med styrketesting av rørprøver fra Asktjern/Blaker fellesvannverk er allerede utført ved TA-ESCO i Kongsberg. Kort orientering om teorien bak forsøkene og testresultatene er gitt i vedlegg 3: "Testing av asbestsementrør's styrke". Som det fremgår er ledningens sikkerhet både mot knusing (utvendig belastning) og brudd ved innvendig vann-trykk redusert til under det halve sammenlignet med nytt rør. Før ledningen ble skiftet ut ble det registrert en bruddhyppighet på 4,5 brudd pr. år pr. km ledning. Testresultatene er illustrert i figuren nedenfor.



Gyldigheten og nytteverdien av konklusjonene man finner frem til ved gjennomføring av prosjektet "Levetid for asbestsementrør" vil være avhengig av omfanget av datagrunnlaget. Vi håper derfor at flest mulige vannverkseiere finner prosjektet interessant og ønsker å delta. I så fall og eventuelt for ytterligere informasjon ber vi om at det blir tatt kontakt med Lars Aaby (NIVA, tlf. 23 52 80) innen 20. august 1985.

Med vennlig hilsen
NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

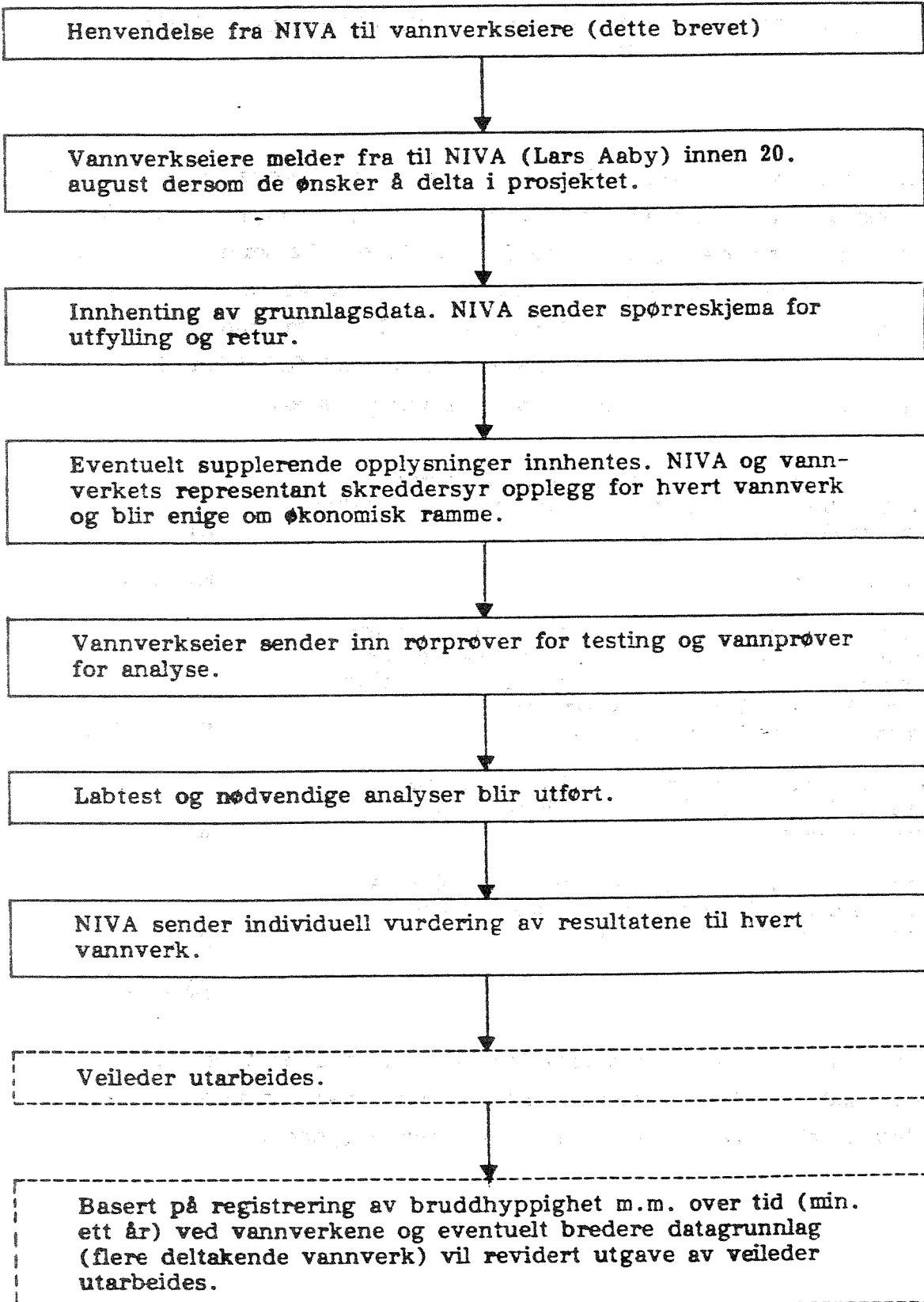
Oddvar Lindholm

Oddvar Lindholm

Lars Aaby

Lars Aaby

ORIENTERING TIL VANNVERKSEIER OM PROSJEKTET



Vedlegg 2

NØDVENDIGE TESTER FOR TILSTANDSVURDERING AV LEDNINGSNET-
TET

For deltakelse i prosjektet forutsettes det at vannverkseier graver opp rørprøver fra nettet og sender de inn for testing av styrke. Det ideelle vil være at rørprøver graves opp fra to steder, begynnelsen og slutten av ledningsstrekningen som skal vurderes. Omfanget av undersøkelsen vil variere noe fra vannverk til vannverk. I det følgende er det gjort rede for hva vi mener bør inngå som minimum ved full deltakelse i prosjektet. Kostnadene er basert på oppgraving ett sted.

- | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1. Laboratorietesting av rørprøver. Rørprøver (3 parallelle prøver) testes mot brudd ved indre vanntrykk og knusing. | Kr. 3 000,- |
| 2. Vannanalyser. | Kr. 1 000,- |
| 3. Vurdering av innvendig belegg. Det er registrert avsetning av belegg på oppgravde rør. Denne beleggdannelse kan virke inn på tærings-hastigheten. Preparering og analysering (jern og mangan) av belegget | Kr. 2 000,- |
| 4. Direkte måling av tæring ved å bestemme kal-siuminnholdet ved å dreie ut lagvis (0,5 mm) fra rørveggen. | Kr. 2 000,- |
| 5. Individuell vurdering. Honorar i forbindelse med individuell vurdering av analyseresul-tatene for hvert vannverk | <u>Kr. 2 000,-</u> |
| | <u>Kr. 10 000,-</u> |

For optimalt utbytte av undersøkelsen (oppgraving på to steder) må det regnes med 15 - 20 000 kroner. Endelig økonomisk ramme vil bli fastsatt for hvert enkelt vannverk før undersøkelsen begynner.

TESTING AV ASBESTSEMENTRØRS STYRKE

EKSEMPEL FRA ASKTJERN/BLAKER FELLESVANNVERK

Laboratorieforsøk med asbestsementrør utsatt for både indre vanntrykk (p) og utvendig belastning (w) viser at det er en sammenheng mellom de aktuelle krefter ved brudd. Sammenhengen er gitt ved ligningen (parabel):

$$w = W \sqrt{\frac{P - p}{P}}$$

der P (N/mm^2) er vanntrykk ved brudd uten utvendig belastning ($w = 0$) og W er utvendig belastning ved knusing uten innvendig vanntrykk ($p = 0$).

Videre har man funnet at jordtrykket ved brudd (W jord) uten innvendig vanntrykk ($p = 0$) tilsvarer utvendig belastning (W) fra laboratorietest multiplisert med en belastningsfaktor F . F varierer med grøfteforholdene.

Innledende forsøk med testing av 150 mm asbestsementrør fra Asktjern/-Blaker fellesvannverk er gjort i samarbeid med TA-Esco i Kongsberg. 5 rørprøver (50 cm) er testet mot brudd med indre vanntrykk og 5 rørprøver (30 cm) for knusing. Resultatene er vist i nedenforstående tabeller:

Tabell 3.1. Testing med vanntrykk P ($w = 0$).

Prøve	Brudd-trykk kp/cm ²
1	29
2	30
3	32
4	35
5	37

Middelverdi av 5 prøver $P = 32,6 \text{ kp/cm}^2$.

Standard avvik $3,4 \text{ kp/cm}^2$.

Størst verdi i forhold til middelverdi: + 13 %.

Minst verdi i forhold til middelverdi: - 11 %.

Tabell 3.2. Testing med utvendig last W ($p = 0$).

Prøve	Brudd-last kp/cm^2
1	1 250
2	1 300
3	1 500
4	1 600
5	1 700
Ubrukt rørprøve	2 800

Middelverdi av 5 prøver $W = 1470 \text{ kp}$.

Standard avvik 190 kp .

Størst verdi i forhold til middelverdi: + 15 %

Minst verdi i forhold til middelverdi: - 15 %

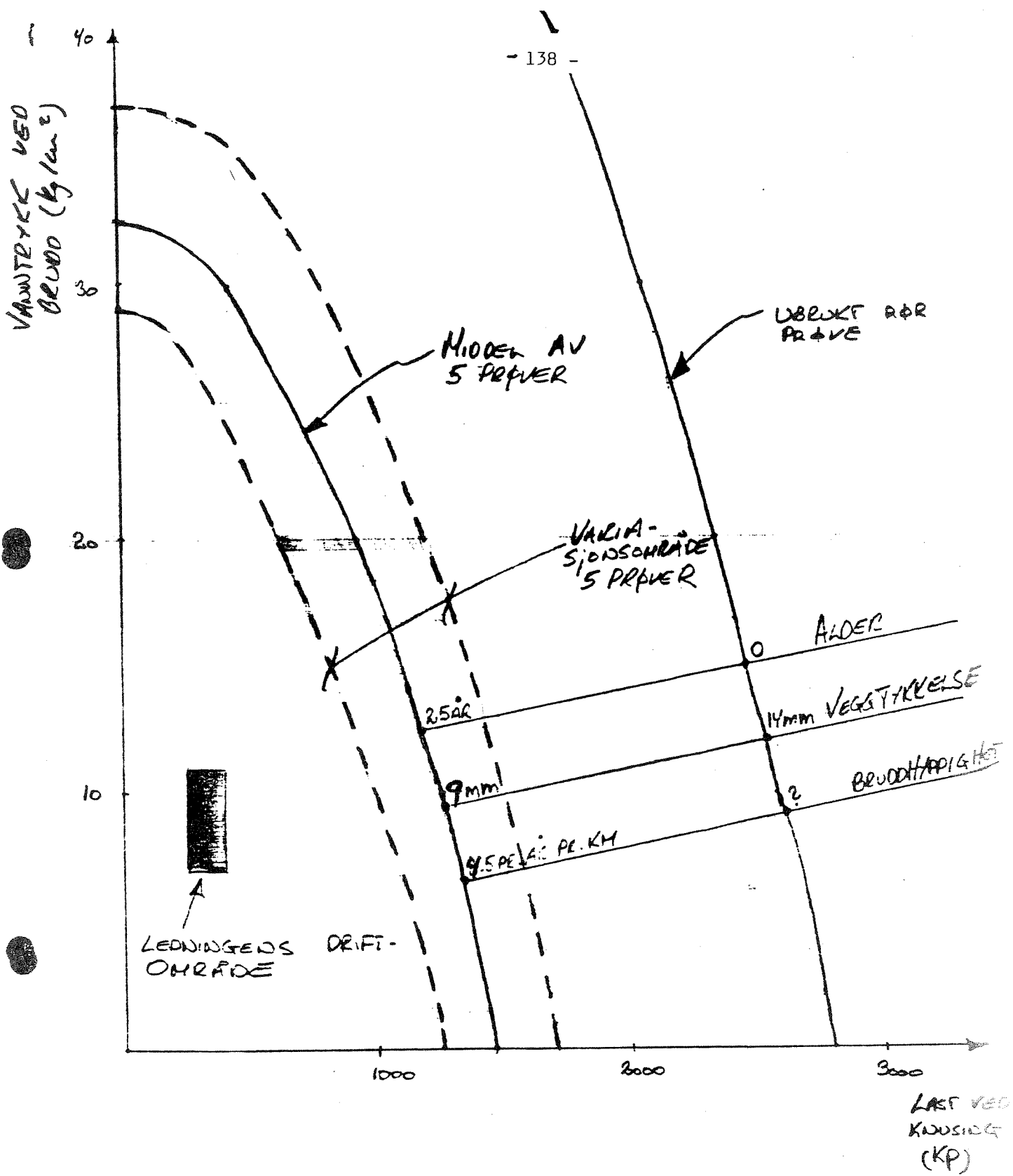
Groptæring i ulik grad på utsiden av rørprøvene er noe av årsaken til spredningen av resultatene.

Styrkekurven for ubrukt rør og kurven som representerer middelverdiene ved laboratorie testen av rørprøver fra Asktjern/Blaker fellesvannverk er vist på vedlagte figur. Variasjonsområdet for prøveresultatene er skravert. I tillegg er ledningens driftsområde (leggedyp: $1,5 - 2,5 \text{ m}$, trafikklast for 6 tonns kjøretøy, vanntrykk: $70 \text{ m} - 90 \text{ m}$ pluss 25 % tillegg for trykkstøt) lagt inn på figuren.

I forslag til ny ISC (160) standard defineres en sikkerhetsfaktor mot knusing ved utvendig belastning og en sikkerhetsfaktor mot brudd ved indre vanntrykk for ledningen som den ligger i bakken. Sikkerhetsfaktoren for nytt rør og slik røret er idag er beregnet:

Sikkerhetsfaktor

	Utvendig belast. F	Vanntrykk F
Nytt rør	4,6	5,7
Røret i dag	2,1	2,5



TESTRESULTATER FRA LAB
 FØRSØK MED RØRPRØVER
 FRA ASKTIERN/BLAKER FELLES-
 VANVERK, SØRUM KOMMUNE

VEDLEGG B - 139 -

AAB/GUM
03.07.85

INVITASJON TIL DELTAKELSE I SAMARBEIDSPROSJEKTER MELLOM NIVA OG NOEN
UTVALGTE KOMMUNER.

1. Eidsvoll kommune
v/Kommuneingenør Anders Røslie
Eidsvollbakken
2008 Eidsvoll

Dato for tlf. 07.06.85 Sendt: 03.07.85 Tlf. (06) 96 40 10

2. Strand kommune
v/Avdelingsingeniør Evensgård
4100 Jørpeland

Dato for tlf. 07.06.85 Sendt: 03.07.85 Tlf. (04) 44 74 00

3. Asktjern/Blaker Fellesvannverk
v/Vannverksformann Roll Hansen
1920 Sørumsand

Dato for tlf. 02.07.85 Sendt: 03.07.85 Tlf. 72 70 84

4. Brunlans kommune
v/Avd.ing. Nordstrøm
Sigurdsgt. 1
3250 Larvik

Dato for tlf. 02.07.85 Sendt: 03.07.85 Tlf. (034) 86 250

5. Sandefjord kommune
v/Drift og Anleggssjef Hellem
Postboks 2025
3201 Sandefjord

Dato for tlf. 02.07.85 Sendt: 03.07.85 Tlf. (034) 68 100

6. ISIS
v/Arne Aven
5840 Hermansverk

Dato for tlf. 04.07.85 Sendt: 10.07.85 Tlf.

7. Sør-Odal kommune
v/kom.ing. Yri
Postboks 158
2101 Skarnes

Dato for tlf. 09.07.85 Sendt: 10.07.85 Tlf. (066) 61 611

8. Hå kommune
v/kom.ing. Moi
4360 Varhaug

Dato for tlf. 09.07.85 Sendt: 10.07.85 Tlf. (04) 43 00 11

adr.forts.

-
18. Andøy kommune
 v/tekn. sjef Yngve Fredheim
 8480 Andenes
- Dato for tlf. 10.07.85 Sendt: 10.07.85 Tlf. (088) 41 511
-
19. Grimstad kommune
 v/tekn.sjef Arne Gunnerud
 4890 Grimstad
- Dato for tlf. 10.07.85 Sendt: 10.07.85 Tlf. (041) 42 022
-
20. Tjøme kommune
 v/kom.ing. A. Kvålen
 3145 Tjøme
- Dato for tlf. 10.7.85 Sendt. 10.7.85 Tlf. (033) 90 072
-
21. Frogn kommune
 v/kom.ing. Nesvoll
 Postboks 10
 1441 Drøbak
- Dato for tlf. 10.07.85 Sendt: 10.07.85 Tlf. 93 03 60
-
22. Høbøl vannverk A/L
 v/Arne Agnalt
 1827 Høbøl
- Dato for tlf. 11.07.85 Sendt: 11.07.85 Tlf. 92 10 18
-
23. Hareid vassverk
 v/Vassverkformann Dalsøren
 5050 Hareid
- Dato for tlf. 11.07.85 Sendt: 11.07.85 Tlf. (070) 91 195
-
24. Bergen kommune
 v/Overing. Prestegård
 Kommunalavd./Teknisk utbygging
 Bergen Rådhus
 Postboks 805
 5001 Bergen
-
25. Trondheim kommune
 v/Seksjonsleder F. Bjørgum

adr.forts.

9. Klepp kommune
v/kom.ing. O. Gaarde
Rådhuset
4060 Kleppe

Dato for tlf. 09.07.85 Sendt: 10.07.85 Tlf. (04) 42 00 00

10. Porsgrunn kommune
v/Byingeniør Krogstad
Rådhuset
Postboks 128
3901 Porsgrunn

Dato for tlf. 09.07.85 Sendt: 10.07.85 Tlf. (035) 54 000

11. Time kommune
v/tekn. sjef Aavitsland
4340 Bryne

Dato for tlf. 09.07.85 Sendt: 10.07.85 Tlf. (04) 48 10 88

12. Sola kommune
v/tekn.sjef O. Goa
4050 Sola

Dato for tlf. 09.07.85 Sendt: 10.07.85 Tlf. (04) 64 17 77

13. Brønnøy kommune
v/driftsjef Lien
8900 Brønnøysund

Dato for tlf. 09.07.85 Sendt: 10.07.85 Tlf. (086) 2433?

14. Frosta Vannverk A.L
v/Einar Hyndøy
7673 Frosta

Dato for tlf. 09.07.85 Sendt: 10.07.85 Tlf. (07) 80 72 51

15. Ørland kommune
v/tekn.sjef Kongsås
7130 Brekstad

Dato for tlf. 10.07.85 Sendt: 10.07.85 Tlf. (076) 24 404

16. Eidsberg kommune
v/tekn.sjef Ottar Hansen
1850 Mysen

Dato for tlf. 10.07.85 Sendt: 10.07.85 Tlf. 89 25 55

17. Randaberg kommune
v/kom.ing. Olav Selvåg
4070 Randaberg

Dato for tlf. 10.07.85 Sendt: 10.07.85 Tlf. (04) 59 70 11



Postadresse
Postboks 333 Blindern
0314 Oslo 3

Postgiro 5 19 67 12
Bankgiro 6094.05.11421
Telegramadresse Niva, Oslo

Brekkeveien 19
Telefon (02) 23 52 80
Telex 74190 niva n

AAB/LIS
Sak:85208
Jnr:3112/85

BEREGNING AV GJENVÆRENDE LEVETID FOR ASBESTSEMENTLEDNINGER. SAMARBEIDSPROSJEKT MELLOM NIVA OG NOEN UTVALGTE KOMMUNER. INNHEMING AV GRUNNLAGSDATA.

Med utgangspunkt i tidligere oversendte orientering fra NIVA er det fra kommunen/vannverkets side fremsatt ønske om deltakelse i nevnte prosjekt. Som første ledd i vannverksundersøkelsen ber vi om at vedlagte registreringsskjema blir fylt ut og returnert til oss sammen med supplerende informasjon som beskrevet. Vi håper at innsamling av data raskt kan gjøres unna slik at vi slipper eventuelle problemer med snøen når tiden er inne til oppgraving av rørprøver for testing. Selv om vi ønsker raskt retur av registreringsskjemaet ber vi om at det blir brukt en del tid til samling av de nødvendige data. Best mulig bakgrunnsdata nå vil spare tid senere og danne grunnlag for et prosjektresultat med høy kvalitet.

Før arbeidet med registreringsskjemaet påbegynnes ber vi om at vannverkseier selv velger ut den delen av ledningsanlegget som skal undersøkes. I forbindelse med dette valget bør ledningsanlegg der en eller flere av følgende forhold inngår, prioriteres:

1. Ledningsanlegg der det tidligere (for mer enn 5 år siden) er gravet opp rørprøver, man har tatt vare på rørprøven og oppgravingen kan lokaliseres og tidfestes. Ved å sammenligne nevnte rørprøve med rørprøve som graves opp "nå" og ubrukt rørprøve (fra lager) vil sammenhengen mellom tæring og alder direkte kunne vurderes.
2. Ledningsanlegg med trykkreduksjon/trykkøkning på nettet. Rørprøve før og etter trykkreduksjonen/trykkøkningen gjør det mulig å studere sammenhengen mellom trykk og tæring.
3. Ledningsanlegg med dimensjonsendring/avgrening. Rørprøve før og etter dimensjonsendringen gjør det mulig å studere sammenhengen mellom vannhastighet og tæring.
4. Ledningsanlegg der vannkvaliteten og vannføringen har vært mest mulig konstant over tid.

5. Ledningsanlegg der vannføringen kan måles nøyaktig. Her vil kalk-utløsningen, som er et mål på tæringshastigheten, kunne registreres nøyaktig ved vannanalyser.
6. Ledningsanlegg der grunnforholdene og grøfteutførelse er mest mulig jevne langs traseen.

For å redusere antall tilfeldige og vanskelig kvantifiserbare variable bør ledningsanlegg der følgende forhold gjør seg gjeldene, unngås:

- trykkstøt
- varierende grunnforhold (og omfyllingsmasser)
- tele.

I tillegg til at registrerings-skjemaet med vedlegg returneres, anmoder vi om at eventuelle plandokumenter, rapporter fra spesielle undersøkelser o.l. som kan gi relevant bakgrunnsinformasjon om vannkvalitet, vannføring m.m. vedlegges.

Vi gjør oppmerksom på at tilsvarende skriv som dette er sendt til 15 andre vannverk som deltar i prosjektet.

Til slutt må vi bare beklage at enkelte av spørsmålene i registrerings-skjemaet trolig vil bli vanskelige å besvare på grunn av manglende bakgrunnsdata om vannverket. I noen grad kan det kanskje også skyldes for høyt ambisjonsnivå fra vår side. Dersom datagrunnlaget for et spesielt spørsmål helt mangler ber vi om at dette blir anmerket i registrerings-skjemaet. På en annen side ber vi om at spørsmålet blir besvart selv om ikke datagrunnlaget er hundre prosent fullstendig. Bruk av faglig skjønn vil i denne sammenheng bli nødvendig. I alle tilfelle, dersom noe er uklart, ta kontakt med oss (Lars Aaby, tlf. 235280). Lykke til!

Med vennlig hilsen
NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Lars Aaby

Vedlegg: Registrerings-skjema og skjema for vannanalyser.

VEDLEGG D

144

Sak: 85203
Jnr: 1139/86

04.04.86

SAMARBEIDSPROSJEKT - LEVETID FOR AC-RØR

Viser til Deres brev av 05.02.86 og diverse telefonsamtaler.

Vedlagt følger kartutsnitt som viser hvor vi mener det er riktig å ta ut rørprøver og vannprøver. Vi vil foreslå følgende undersøkelsesprogram:

- | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1. Testing av rørprøve R1 og R3 (styrketesting ved knusing, Ca-registrering innover i rørvegg og hårdhetsmåling). | kr. 7.200,- |
| 2. Testing av rørprøve R2 (som R1 + analyse av innvendig belegg). | kr. 5.600,- |
| 3. Testing av rørprøve R4 (som R2 + styrketesting ved innvendig vanntrykk). | kr. 5.100,- |
| 4. Vannanalyser. | kr. 1.600,- |
| 5. Vurdering av resultatene | kr. 2.000,- |
| Sum | <u>kr. 21.500,-</u> |

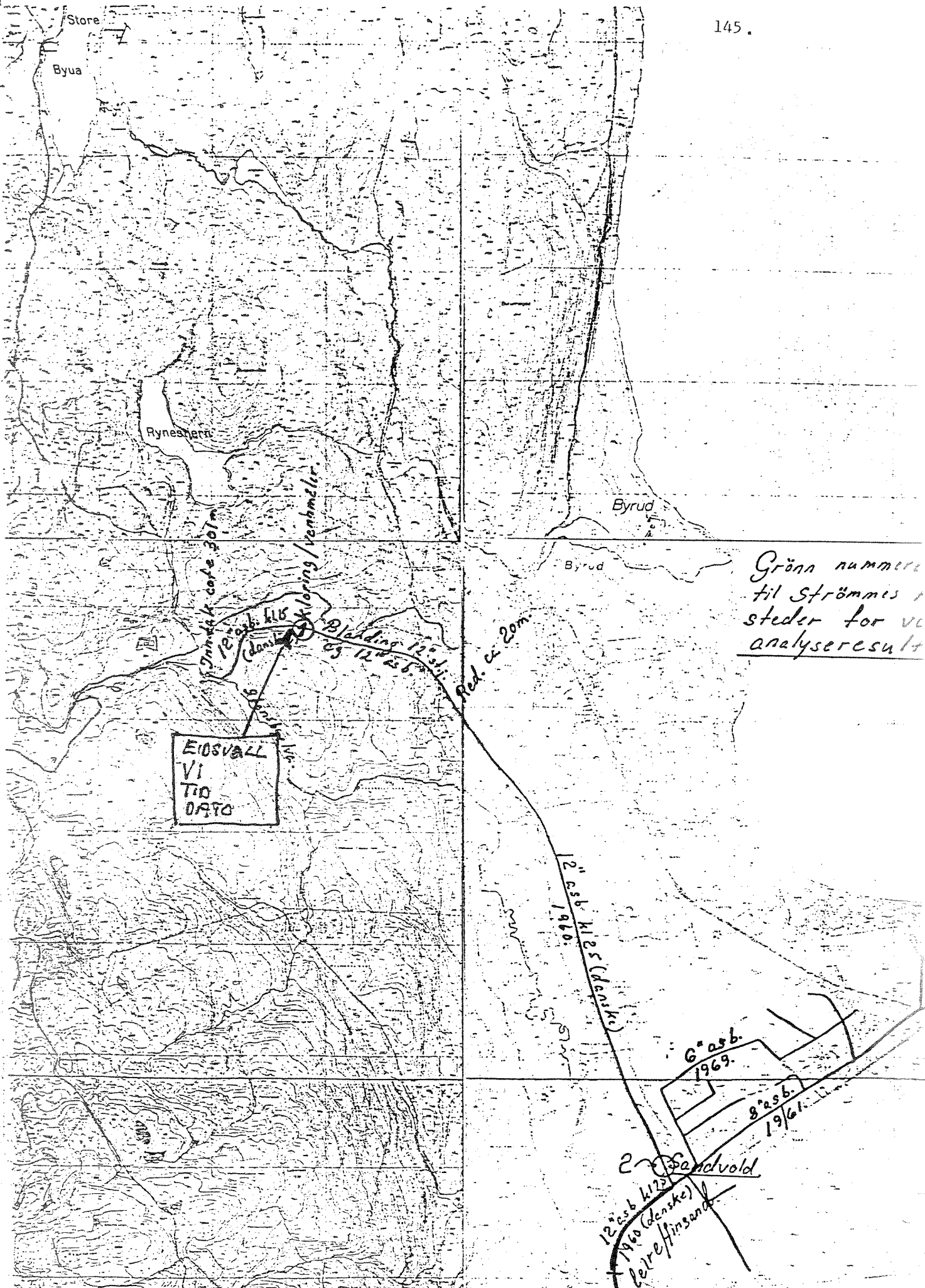
Styrketesting av rør som ikke har vært i bruk (fra lager) er inkludert i kostnadene.

Vi håper at denne kortfattede beskrivelse gir nødvendig grunnlag for kommunen til å ta stilling til omfanget av undersøkelsen.

Nærmere orientering om uttak av rørprøver, forsendelse osv. vil vi komme tilbake til straks vi har blitt enig om program for undersøkelsen.

Med vennlig hilsen
NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Lars Aaby



Grønn nummer
 til Strømmes
 steder for
 analyseresultat

EIDSVOLL
V2
110
DATO

EIDSVOLL
R2, 400
DATO

EIDSVOLL
R1, 400
DATO

LEARNING KAPLET
UT SOMMELEN
1979

Forslag til sted for oppgraving
rørprøve, trykktesting m.m.
Vedlagt utsnitt av kart i M-1:1000.

Sand
Lutsrud

16. asb. kl. 25
1968.

Gjennomgøende er det nytt stedlige masser
av fylling, og hvor forholdene for vart
vanskelige er det nok blitt en del smelting
av humuskaldige omtyllingsmasser

vanskelige grunnforhold, stedsvis grunnvann med vann
16. asb. kl. 25 (danske) 1969

4. asb. kl. 15 (Hollandske)
1969.
Dekken

4. asb.
1970

Smestad

EIDSVOLL
V3
110
DATO

EIDSVOLL
R3, 400
DATO

16. asb. kl. 25 (danske) 1970.
Noe mer leirholdig
punktet med fell

Norma

EDSUOLL
V4
EID
DATO

EDSUOLL
RY, 100
DATO

14

13

4.3.6
8.6.8

6.5.61
1953

8.5.11
1950

8.5.11
1950

Hasb

6.5.61
1953

6.5.61
1953

6.10.73
1973

6.5.61
1953

6.5.61
1953

6.5.61
1953

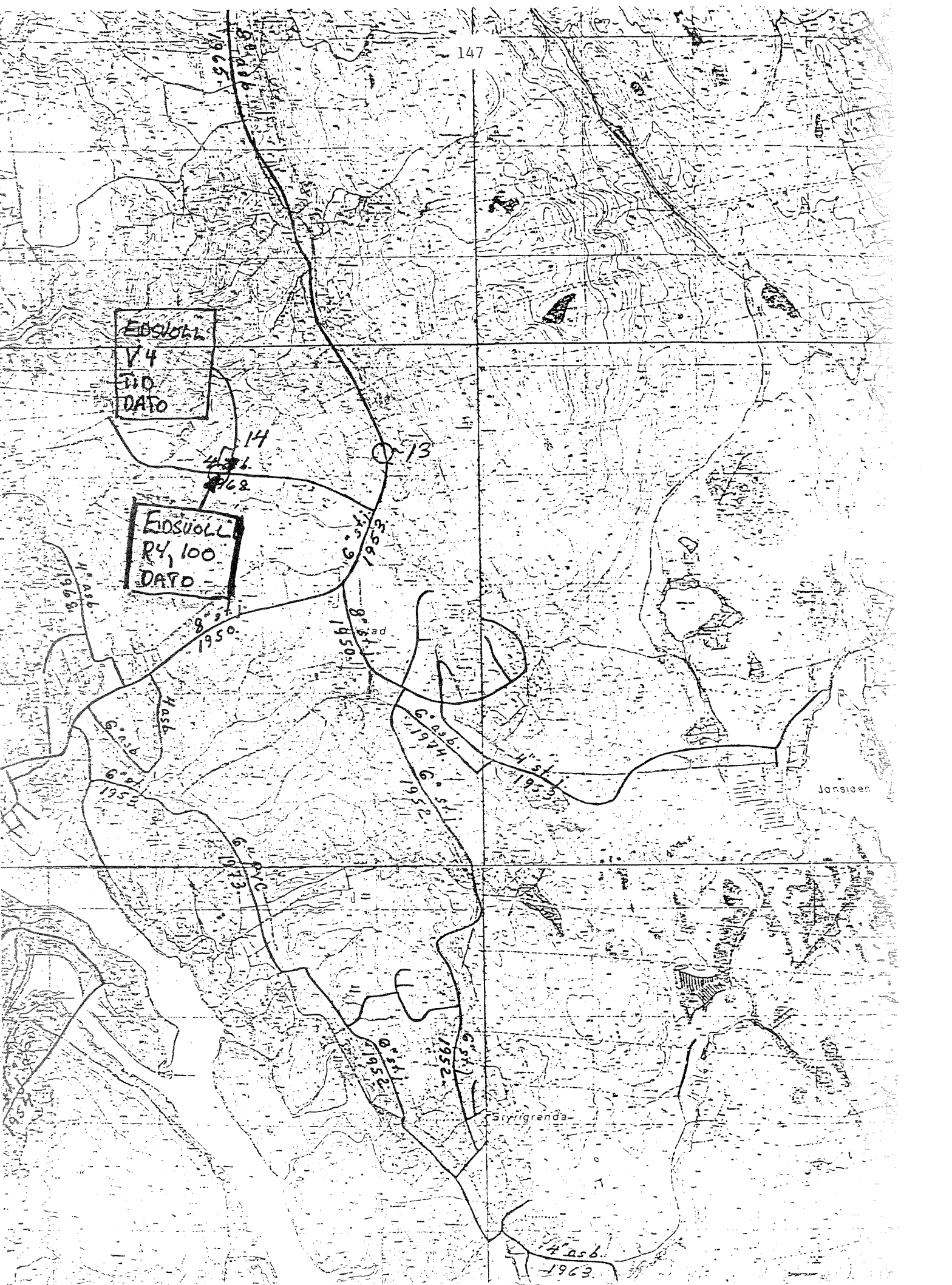
6.5.61
1953

6.5.61
1953

Syrriganda

Jansien

4.5.63
1963



VEDLEGG E

148.

AAB/LIS
Sak:85208
Jnr:1917/86

27.5.86

SAMARBEIDSPROSJEKT - LEVETID FOR AC-RØR INNSENDING AV VANN- OG RØRPRØVER

Viser til forslag til program for undersøkelsen. Kommunen har telefonisk gitt beskjed om at nevnte program kan følges.

Vedlagt følger detaljert oppskrift på gjennomføring av undersøkelsen. Vi ber om at materialet blir studert før arbeidet med uttak av prøver påbegynnes. Dersom det er spørsmål ber vi om at det blir tatt kontakt.

Siktemålet med dette prosjektet er å gi en tilstandsvurdering av den del av ledningsnettets som blir undersøkt. Årsaksforholdene, med fokusering på innvendig tæring, vil også bli vurdert. Utvendig tæring er ofte ujevn sammenlignet med innvendig tæring. Kartlegging av årsaksforholdene for utvendig tæring er mer komplisert og er i første omgang ikke inkludert i programmet for undersøkelsen. Dette til tross er vi av den oppfatning at for ledningsanlegg som ligger under grunnvannstand og for ledninger med jevn utvendig korrosjon bør det tas ut grunnvannsprøve og jordprøve (jfr. "Orientering ved uttak av rørprøver, jordprøver og grunnvannsprøver", pkt. 11 og pkt. 12). Analyseprogram vil kunne fastsettes når omfanget av utvendig korrosjon er mer klarlagt.

Med vennlig hilsen
NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Lars Aaby

Vedlegg

ORIENTERING VED UTTAK OG FORSENDELSE AV RØRPROVER,
JORDPROVER OG GRUNNVANNSPROVER
(Samarbeidsprosjekt - Levetid for AC-rør)

1. Det forutsettes at "Forskrifter om asbest" følges ved håndtering av AC-rør.
2. Lokalitet for uttak av rørprover er vist på kartutsnitt. Kartutsnittet er tidligere sendt kommunen/vannverket.
3. Ved oppgraving av rørprover skal ledningens topp markeres (vannfast tusj) på hver rørprøve.
4. Rørprover som skal testes må kappes i nøyaktig lengde:
10 cm for registrering av kalsium (Ca)
30 cm for knustest
50 cm for sprengning (Innvendig vanntrykk).
Snittflaten må være jevn og 90° på lengderetningen.
5. For styrketesting kappes og sendes fra hver lokalitet normalt 3 parallelle prøver à 30 cm for knusing og 3 parallelle prøver à 50 cm for sprengning. For rørdimensjoner over og lik D = 300 mm sendes bare rørprover for knusing (30 cm). Rørprøvene skal ikke være tatt fra det aktuelle rørs spissende dersom denne er dreiet ned (spissende for muffeskjøt).
For registrering av Ca sendes normalt bare 1 prøve (10 cm). Denne rørprøven skal være tatt fra rørets spissende.
6. Dersom det finnes på lager skal ubrukt rørprøve (3 parallelle) med samme dimensjon, trykkklasse og produsent kappes, merkes og sendes på tilsvarende måte som for rørprover fra bakken. Det er ønskelig men ingen betingelse at ubrukt rørprøve og rørprøve fra bakken ble levert samtidig fra produsent.
7. For hver lokalitet fylles det ut et eget dataskjema; "DATASKJEMA FOR RØRPROVER". Utfyllt dataskjema sendes til:
NIVA
v/Lars Aaby
Postboks 333, Blindern
0314 Oslo 3
8. Hver eneste rørprøve merkes som anvist på tidligere oversendte kartutsnitt og på dataskjemaet. Rørprøvene merkes både med bestandig tusj på selve rørprøven og med egen merkelapp som bindes fast til rørprøven. Rørprøvens topp som den ligger i bakken markeres også (ref. pkt. 3).
9. Rørprøven pakkes forsvarlig for å unngå skader under transport og leveres/sendes til:
TA-ESCO A/S
v/Aslesen
Postboks 85
3601 Kongsberg
Tlf: 03 - 732394
Kopi av utfyllt dataskjema legges ved rørprøven ved forsendelsen. Det er ønskelig med forhåndsvarsel til Aslesen når forsendelsen forventes å ankomme TA-ESCO A/S.
10. Rørene er som regel merket ved levering fra fabrikk. Dette merket kan gi informasjon om rørets styrke. Vi ber om at de oppgravde rørene blir undersøkt og eventuell merking rapportert på dataskjemaet.
11. I de tilfelle ledningen ligger under grunnvannsstand tas det ut vannprøve for analyse. Det henvises til "Orientering ved uttak og forsendelse av drikkevannsprøver", pkt. 2 og pkt. 7. Grunnvannsprøven merkes som rørprøven fra samme lokalitet (jfr. pkt. 8 dette skriv) med tilføyelse GRUNNVANN.
12. Dersom ledningen er utsatt for jevn utvendig bæring (ikke flekkvis) tas det ut en jordprøve på ca. 0,5 kg. Det er viktig at mest mulig av jordprøven som tas ut har vært i direkte kontakt med den bærende røroverflaten. Jordprøven sendes sammen med grunnvannsprøven og merkes som rørprøven fra samme lokalitet (jfr. pkt. 8 dette skriv) med tilføyelse JORDPROVE.

ORIENTERING VED UTTAK OG FORSENDELSE AV DRİKKEVANNSPROVER
(Samarbeidsprosjekt - Levetid for AC-rør)

1. For å unngå kvalitetsendring gjennom stikkledninger er det ønskelig at vannprøvene blir tatt fra brannventiler på hovedledninger. Vannet bør renne min. 2 minutter før prøven blir tatt.
2. 1 i prøveflasker benyttes ved uttak av vannprøver. Flaskene må være rene. Skyll prøveflasken 3 - 4 ganger med vannet som det skal tas prøve av før flasken fylles.
3. Lokalitet for uttak av vannprøver er vist på kartutsnitt. Kartutsnittet er tidligere sendt kommunen/vannverket.
4. Vannkvaliteten vil variere over døgnet. Normalt tas det sikte på uttak av to vannprøver fra samme lokalitet, en prøve kl. 0600 og en prøve kl. 2000.
5. Samtidig med uttak av vannprøve måles vanntrykket, vanntemperaturen og vannføringen i ledningen anslås.
6. Prøveflasker merkes som angitt på nevnte kartutsnitt og vedlagt "Dataskjema for drikkevannsprøver". Dataskjemaet fylles ut og skal følge vannprøven ved levering til laboratoriet. Kopi av dataskjemaet sendes separat til:
Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA)
v/ Lars Aaby
Postboks 333, Blindern
0314 OSLO 3
7. Det er ønskelig at vannprøvene sendes/leveres så raskt som mulig (helst samme dag) til laboratoriet. Ved postforsendelser benyttes adressen over (pkt. 6) og ved direkte levering til vårt laboratorie benyttes adressen:
Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA)
v/ Lars Aaby
Brekkeveien 19
0883 OSLO 8
(Tlf. 02 - 23 52 80)

O-85208
AAB/LIS
23.5.86
Rev.dato
13.6.86

DATASKJEMA FOR RØRPRØVER
(Samarbeidsprosjekt - Levetid for AC-rør)

Det fylles ut eget skjema for hver lokalitet. Utfylt skjema følger rørprøvene ved levering til:

TA-ESCO A/S v/Aslesen
Postboks 85, 3601 Kongsberg
Tlf: 03 - 732394

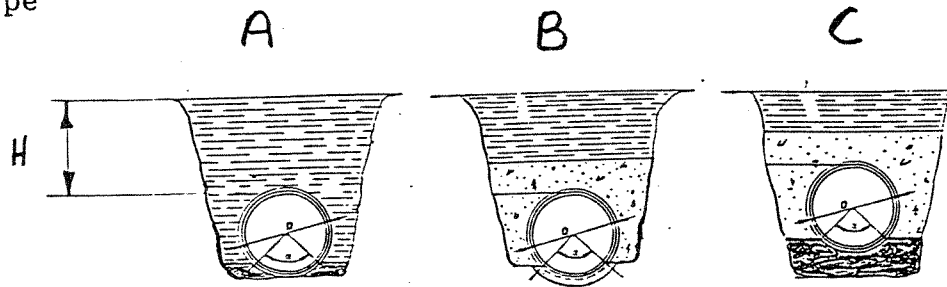
Kopi av dataskjema sendes til:

NIVA v/Lars Aaby
Postboks 333, Blindern, 0314 Oslo 3.
Tlf: 02 - 235280

Vannverk/kommune		EIDSVOLL
Kontaktperson		
Er rørprøvens topp som den lå i bakken avmerket på rørprøven		
Rørprøvene er merket på følgende måte	EIDSVOLL, 24, 100	
Antall rørprøver (brukte) á 30 cm som sendes		3
Antall rørprøver (brukte) á 50 cm som sendes		3
Antall rørprøver (brukte) á 10 cm som sendes		1
Antall rørprøver (ubrukte/fra lager) á 30 cm som sendes		
Antall rørprøver (ubrukte/fra lager) á 50 cm som sendes		
Har brukte og ubrukte rørprøver samme trykk-klasse og er de produsert i samme land		
Rørprodusent/land		
Anleggsår		
Dimensjon		
Trykk-klasse		
Røret har følgende fabrikkmerke påstempelt		

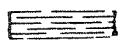
Ledningens fall	
Fungerer ledningsgrøfta som drengroft	
Ligger rørledningene under grunnvannsnivå	
Avstand mellom bakke- og grunnvannsnivå	
Tas det ut grunnvannsprøve	
Tas det ut jordprøve	
Ledningens leggedyp	H =

Angi grøftetype
(sett ring)

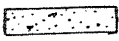


Type masser

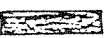
Massebeskrivelse



Stedlige masser



Omfyllingsmasser



Fundamenteringsmasser

Koplingstype - enkel skisse

Spesielle merknader

DATASKJEMA FOR DRIKKEVANNSPRØVE
(Samarbeidsprosjekt - Levetid for AC-rør)

Utfylt skjema følger vannprøver ved levering til laboratorie. Kopi av skjema sendes separat til:

NIVA v/ Lars Aaby
Postboks 333, Blindern, 0314 OSLO 3
(Tlf. 02 - 23 52 80)

Navn	Prøveflaske merket med		Vann-trykk (m)	Vann-temp. (°C)	Vann-mengde (l/s)	*Analyseparam.	Anmerkninger. (Bruk eventuelt baksiden av skjemaet).
	Prøvested	Dato					
ESNSVOLL	V1					1	
— " —	V1					2	
— " —	V2					2	
— " —	V2					2	
— " —	V3					2	
— " —	V3					2	
— " —	V4					2	
— " —	V4					2	

* 1. pH, Ca, alk, Mg, Na, K, Fe, Mn, ledn. evne, COD, Cl, SO₄
2. pH, Ca, alk, ledn. evne

dato _____ signatur _____

rapporter utgitt av NIVA

- 1/78 Tiltak i eksisterende avløpssystem. Delrapport 1.
C2-31 Kjell Øren. November 1978
- 1/79 Kjemisk felling med kalk og sjøvann. Del 2
C2-34 O-40/71 A Lasse Vråle. Juli 1979
- 2/79 Driftsresultater fra norske simultanfellingsanlegg.
C2-28 Lasse Vråle, Eilen A. Vik. Juli 1979
- 3/79 Slamavvanning med filterpresser. Del 1
O-78102 Bjørn-Erik Haugan. November 1979
- 4/79 Slamavvanning med filterpresser. Del 2
O-78102 Bjørn-Erik Haugan. September 1979
- 5/79 Sigevann fra søppelfyllplass.
C2-26 Torbjørn Damhaug, Arild Eikum,
Ole Jakob Johansen. August 1979
- 6/79 Vannforurensning fra veg.
O-79024 Eivind Lygren, Egil Gjessing,
John Ferguson. Desember 1979
- 9/79 Primærfelling med ulike fellingskjemikalier
ved Sandvika renseanlegg.
O-79001 Lasse Vråle. Desember 1979
- 1/80 Bakteriologiske forhold i norske og utenlandske
råvannskilder
O-78029 Jens J. Nygård. Februar 1981
- 2/80 Treatment of Septic Tank Sludge
Research Proposal
F-80413 Arild Eikum. Januar 1980
- 3/80 Industrifyllplass i Arendal-Grimstadregionen
Vurdering av vannforurensning og rensetekniske
tiltak for alternativene Gloseheia og Lundeheia
O-80016 Torbjørn Damhaug, Hans Holtan. Mars 1980
- 4/80 Utprøving av analysemetoder for PAH og kartlegging
av PAH-tilførsler til norske vannforekomster
A3-25 Lasse Berglind. Mars 1980
- 5/80 Mobil avvanning av septikslam
Utprøving av septikbil »HAMSTERN»
O-80019 Bjørn-Erik Haugan. November 1980
- 6/80 Tilføringsgrad
Kontroll og kalibrering av vannmålestasjon
ved Monserud kloakkrenseanlegg. Del 1
O-78107 Lasse Vråle. Oktober 1980
- 7/80 Tilføringsgrad
Forurensningstilførsler og beregning av
tilføringsgrad for Monserud renseanlegg i 1979. Del 2
O-78107 Lasse Vråle. Oktober 1980
- 8/80 Overløp i avløpsnett
Tilstand i dag og mulige tiltak
C2-32 Eivind Lygren. September 1980
- 9/80 Sikring av vannforsyning i Oslo mot
forurensninger ved uhell eller sabotasje
Vurdering av faremomenter. (Sperrert)
O-79084 Egil Gjessing, Jens J. Nygård. September 1980
- 10/80 Important aspects of water treatment in USA
XT-25 Eilen Arctander Vik. Juli 1980
- 11/80 Myrgrøfting, effekt på vannkvalitet
Noen observasjoner fra grøftet myrområde
i Røyken 1971-79
XK-05 Egil Gjessing. September 1980
- 12/80 Driftsundersøkelse av vannbehandlingsanlegg
F-80417 Torbjørn Damhaug. November 1980
- 13/80 Hvirveloverløp
Avskilling av sedimenterbart materiale og
flyttestoffer i overløpsvann
O-79090 Eivind Lygren. Desember 1980
- 14/80 Use of UV and H₂O₂ in water and
wastewater treatment
Research Proposal
F-80415 Arild Schanke Eikum. Desember 1980
- 1/81 Treatment of potable water containing humus by
electrolytic addition of aluminium followed by
direct filtration
Research Proposal
F-80415 Eilen Arctander Vik. Januar 1981
- 2/81 Water research in developing countries
A desk survey about planning and ongoing
research projects
O-80028 Svein Stene Johansen. Januar 1981
- 3/81 VA-teknisk forsøksall Sentralrenseanlegg Vest SRV
Notat
Arild Schanke Eikum, Arne Lundar. Februar 1981
- 4/81 Alkalization/hardening of drinking water
Research proposal
G-314 Egil Gjessing. Februar 1981
- 5/81 Tiltak mot forurensning fra fiskeoppdrett
Behandling av vann i resirkuleringsanlegg for fiskeoppdrett
Forskningsprogram 1981-1984
FP-80802 Arild Schanke Eikum, Eivind Lygren. Mai 1981
- 6/81 Tiltak i eksisterende avløpssystem. Delrapport 2
O-80018 Svein Stene Johansen. Mai 1981
- 7/81 Kalking av tilløp til lille Asketjern for fjerning av humus
Innledende forsøk. O-81065 Eilen Arctander Vik. August 1981
- 8/81 Tilføringsgrad for oppsamlingsnett
Status for eksisterende målinger
O-80055 Lasse Vråle. August 1981
- 9/81 A Water Pricing Study for Western Province,
Zambia. Draft !
O-81022 Svein Stene Johansen. September 1981
- 10/81 Fjerning av humus ved H₂O₂ tilsetning
og UV - bestråling
F-80415 Lasse Berglind. Oktober 1981
- 11/81 Treatment of Septic Sludge
European practice
O-80040 Arild Schanke Eikum. November 1981

- 12/81 **Silgrainsyre som fellingsmiddel for avløpsvann**
Buhrestua renseanlegg. Nesodden
O-80093 Lasse Vråle. Desember 1981
- 13/81 **Analyse av vannbehov i husholdninger, næringsvirksomhet institusjoner og til kommunaltekniske formål**
O-78028-01 Svein Stene Johansen, Kim Wedum. Desember 1981
- 1/82 **Fjerning av nitrogen fra kommunalt avløpsvann ved ammoniakkavdriving**
F-81427 Torbjørn Damhaug. Mars 1982
- 2/82 **Rensing av sigevann fra søppelfyllplasser**
OF-80606 Torbjørn Damhaug. Juni 1982
- 3/82 **Hvirvelkammer og hvirveloverløp**
Regulering av vannføring og rensing av overløpsvann
O-79090 Eivind Lygren, Kim Wedum. Mai 1982
- 4/82 **Avvanning av septikslam i container**
O-81104 Bjarne Paulsrud. August 1982
- 5/82 **Kalibrering og justering av vannføringsmålere**
O-82011 Kim Wedum. Mai 1982
- 6/82 **Vurdering av driftsinstruks og driftsforhold ved renseanlegg rundt Indre Oslofjord**
O-82004 Arne Lundar, Bjarne Paulsrud. August 1982
- 7/82 **Styring av kjemikaliedosering ved kjemiske renseanlegg**
Erfaringer med bruk av ledningsevne som styringsparameter
O-82025 Torbjørn Damhaug, Bjarne Paulsrud. August 1982
- 8/82 **Strålingskjemisk oksydasjon av organisk stoff i vann**
Programforslag. (Sperrret)
F-80415 Kim Wedum. September 1982
- 9/82 **Slamstabilisering under høy temperatur ved bruk av rent oksygen**
F-81430 Bjørn-Erik Haugan. Oktober 1982
- 10/82 **Tørrværsavsetninger i fellessystemrør**
O-82022 Oddvar Lindholm. November 1982
- 11/82 **Treatment of septage**
European practice
O-80040 Arild Schanke Eikum. Februar 1983
- 1/83 **Alkalisering av drikkevann**
Delrapport 1 NIVA/SIFF
F-82441 Eileen A. Vik. Mars 1983
- 2/83 **Industriavløp på kommunale renseanlegg**
Forbehandling av meieriavløp i luftede utjevningsbasseng
Delrapport 1
O-82017 Torbjørn Damhaug. Februar 1983
- 3/83 **Samlet optimalisering av avløpsrenseanlegg og avløpsledningsnett**
O-82124 Oddvar Lindholm. Februar 1983
- 4/83 **Driftskontrollprogram for galvanindustriens renseanlegg**
O-79049 Eigil Iversen. Mars 1983
- 6/83 **Optimalisering av galvanotekniske industrirenseanlegg**
O-82119 Eigil Iversen. Mai 1983
- 7/83 **Utslipp av syre, løst organisk materiale og suspendert stoff fra Hunsfos Fabrikker og Norsk Wallboard juli-oktober 1982**
O-82067 Øivind Tryland. Mars 1983
- 8/83 **Analyseresultater for avløpsvann fra Mosjøen Aluminiumverk april-oktober 1982**
O-82027 Øivind Tryland. Mars 1983
- 9/83 **Vannforurensning ved bruk av kalksalpeter som støvdempingsmiddel på grusveger**
O-81050 Eivind Lygren, Reidun Schei. Juni 1983 (Sperrret)
- 10/83 **Funksjonsprøving nr 2 av membran kammerfilterpresser VEAS Mars 1983**
O-82130 Lasse Vråle. Mars 1983
- 11/83 **Spillvannstap fra oppsamlingsnett**
Delrapport 1
Forurensningsproduksjon fra boligfelt med tett oppsamlingsnett i Sydsbogen, Røyken kommune
O-81041 Lasse Vråle. April 1983
- 12/83 **Spillvannstap fra oppsamlingsnett**
Delrapport 2
Automatisk overvåking av vannforbruk og lekkasje som alternativ metode for beregning av tilførsingsgrad.
Resultater fra undersøkelsene ved Sydsbogen, Buhrestua og Siggerud.
O-81041 Lasse Vråle. Desember 1984
- 13/83 **Spillvannstap fra oppsamlingsnett**
Delrapport 3
Spillvannstapets resipient påvirkning i Siggerudgryta, Ski kommune
O-81041 Lasse Vråle. August 1983
- 14/83 **Spillvannstap fra oppsamlingsnett**
Delrapport 4
Spillvannstapets innvirkning på grunnvannskvalitet.
Buhrestua rensedistrikt, Nesodden kommune.
O-81041 Lasse Vråle. Oktober 1984
- 15/83 **A feasibility study of fishfarming in Jordan**
O-83026 Eivind Lygren, Torbjørn Damhaug. Juni 1983 (Sperrret)
- 16/83 **Driftsanalyse av Bekkelaget renseanlegg**
O-82005 Bjarne Paulsrud, Kim Wedum. Juni 1983 (Sperrret)
- 17/83 **Water Research in Zambia**
A review of the need for water research
O-83014 Svein Stene Johansen. September 1983
- 18/83 **Water Research in Kenya**
A review of the need for water research
O-83014 Svein Stene Johansen. September 1983
- 19/83 **Water research in Tanzania**
A review of the need for water research
O-83014 Svein Stene Johansen, Torbjørn Damhaug. May 1984
- 20/83 **Mikrobiologisk angrep på gummipakninger til vann- og avløpsrør**
Programforslag
O-83033 Kim Wedum. Juni 1983 (Sperrret)

- 21/83 **Slamdeponering ved norske mangansmelteverk**
Fysisk-kjemisk karakterisering av drenevann og virkninger av drenevann på biologiske forhold i resipienten
O-80058 Øivind Tryland, Harry Efraimsen. April 1983
- 22/83 **Sandstangen vannverk**
O-83079 Eilen A. Vik. Juni 1983 (Sperrret)
- 23/83 **Erfaringer med mottak av septikslam på kommunale renseanlegg**
O-82037 Bjarne Paulsrud. Juli 1983
- 24/83 **Miljøgifter i overvann**
O-83063 Oddvar Lindholm. August 1983
- 25/83 **Arealfordeling av korttidsnedbør**
O-83005, F-83450 Oddvar Lindholm. Oktober 1983
- 26/83 **Urbanhydrologi i Sverige**
En litteraturstudie
O-83092 Oddvar Lindholm. November 1983
- 27/83 **Tørrværsavsetninger i fellessystemrør**
Fase II
O-82111 Oddvar Lindholm, November 1983
- 28/83 **Bruk av rent oksygen for luktreduksjon ved renseanlegg R-2, Lillehammer**
O-82083 Bjarne Paulsrud, Bjørn-Erik Haugan. November 1983
- 29/83 **Avsluttende funksjonsprøve for membran-filterpresser ved VEAS, oktober-november 1983**
O-83098 Lasse Vråle, Bjarne Paulsrud. November 1983 (Sperrret)
- 30/83 **Emerging European Wastewater Treatment Technology Preliminary Description**
O-83150 Arild Schanke Eikum. Desember 1983 (Sperrret)
- 31/83 **Treforedlingsindustriens avløpsvann**
Mikrobiell nedbrytning av klorert organisk materiale i blekeriavløpsvann
F-81434 Øivind Tryland, Harry Efraimsen. Desember 1983
- 32/83 **Suspensjoners synkehastighet**
Metode for analyse av finfordelte partiklers synkehastighet i vann
F-81434 Øivind Tryland. Desember 1983
- 33/83 **Silgrainsyre som fellingsmiddel ved SRV, VEAS Slemmestad**
O-82102 Lasse Vråle, P. Sagberg. Desember 1983. (Sperrret)
- 1/84 **Industriavløp på kommunale renseanlegg**
O-82017 Torbjørn Damhaug. Januar 1984
- 2/84 **Luftet lagune for rensing av sigevann**
Delrapport 1. Driftserfaringer
O-83027 Ragnar Storhaug. Februar 1984
- 3/84 **Highway pollution in a Nordic Climate**
O-79024 Eivind Lygren. Mars 1984
- 4/84 **An evaluation of large-scale algal cultivation systems for fish feed production**
O-84002 Torbjørn Damhaug et al. Februar 1984 (Sperrret)
- 5/84 **Matematisk modell av avløpsrenseanlegg**
O-82124/F-83448 Oddvar Lindholm. Februar 1984
- 6/84 **Adsorption in Water Treatment**
Fluoride Removal
FP-83828 Eilen A. Vik. Februar 1984
- 7/84 **Analyse av vannføringsdata**
O-81113 Kim Wedum. Januar 1984
- 8/84 **Renseeffekt i Heistad renseanlegg med og uten tilkopling av industrielt avløpsvann**
O-83093 Øivind Tryland. April 1984
- 9/84 **Hygienisering av slam ved bruk av rent oksygen**
F-81430 Bjarne Paulsrud, Bjørn-Erik Haugan, Gunnar Langeland. Juli 1984
- 10/84 **Slamavvanning med filterpresser ved SRV**
Økonomisk sammenligning av Lasta membran-filterpresser og Rittershaus & Blecher kammerfilterpresser
O-83098 Lasse Vråle, Bjarne Paulsrud. Mai 1984 (Sperrret)
- 11/84 **Separat behandling av slamvann fra avvanning av septikslam**
Biologisk rensing ved bruk av aktivslam
O-83021 Ragnar Storhaug. Juni 1984
- 12/84 **Industriutslipp til vassdrag**
Aveininger for å beskytte resipienten, eksempel fra en tekstilbedrift
OF-81618 Bjørn-Erik Haugan, Kim Wedum. April 1984 (Sperrret)
- 13/84 **Treforedlingsindustriens avløpsvann**
Virkning av peroksyd og UV-bestråling på klororganisk materiale og farge i celluloseblekeriers avløpsvann
F-81434 Øivind Tryland. Mai 1984
- 14/84 **Driftsassistanse**
Vannrenseanlegg, ÅSV A/S Fundo Aluminium
O-83141 Eigil Iversen, Torbjørn Damhaug. Juni 1984
- 15/84 **Ammonium som forurensningsparameter**
O-83035 Kim Wedum. August 1984
- 16/84 **Driftsoppfølging av Biovac renseanlegg for helårsbolig**
O-82101 Bjarne Paulsrud. September 1984
- 17/84 **Kalkfelling på små renseanlegg**
O-83067 Ragnar Storhaug. Oktober 1984
- 18/84 **Hygienisering av slam ved lufttilførsel (Janca-prosessen)**
O-84050 Bjarne Paulsrud, Gunnar Langeland. September 1984
- 19/84 **Utvikling av lukket mærkonstruksjon.**
Prosessøsning og optimalisering
O-84091 Kjell Maroni, Eivind Lygren, Bjørn Braaten. Oktober 1984. (Sperrret)
- 20/84 **Forurensningsproduksjon fra husholdning**
Halvårlig sommerundersøkelse fra Sydslogen i 1983, Røyken kommune.
F-83451 Lasse Vråle. Oktober 1984
- 21/84 **Luftet lagune for rensing av sigevann**
O-83027 Ragnar Storhaug. April 1985
- 22/84 **Avløpsvannmengder tilført påslippene ved SRV i 1983 og 1984**
O-83090 Lasse Vråle. April 1985

- 1/85 **Spesifikk forurensningsproduksjon fra husholdning**
Enkel litteraturstudie
O-84131-01 Lasse Vråle. Mars 1985
- 2/85 **Kritisk analyse av spesifikke forurensningsmålinger**
O-84131-02 Lasse Vråle. Mars 1985
- 3/85 **Treatment of leachate in aerated lagoons**
Lab-scale study
O-84022 Ragnar Storhaug. Juli 1985
- 4/85 **Fiskeoppdrett på Granerudstøa, Nesodden**
O-85233 Bjørn Braaten, Torbjørn Damhaug. Juni 1985
- 5/85 **Oppdrett av ferskvannskreps ved Mesna Bruk A/S**
Forprosjekt
O-85126 Sigurd Rognerud, Stellan Karlson
Torbjørn Damhaug, Gösta Kjellberg. August 1985
- 6/85 **Driftsassistanse - Vannreanseanlegg ved Steens Fornikling A/S**
O-84157 Øivind Tryland. August 1985
- 7/85 **Spillvarmebasert akvakulturanlegg i Tyssedal**
Forprosjekt
O-85226 Kjell Maroni, Erlend Waatevik. September 1985 (Sperrert)
- 8/85 **Driftsassistanse - Avløpsledning**
Høvik Lys A/S
O-85221 Øivind Tryland, Eigil Iversen,
Åse K. Rogne. August 1985
- 9/85 **Teknologi og miljø i oppdrettsnæring**
O-84159/O-84160 Kjell Maroni. Januar 1985
- 10/85 **Rensing av blyholdig avløpsvann.**
Undersøkelser ved Sønnak Batterier A/S
O-85222 Eigil Iversen, Øivind Tryland. September 1985
- 11/85 **Spillvarmebasert oppdrettsanlegg i tilknytning**
til Sauda Smelteverk A/S
O-84167 Kjell Maroni. April 1985 (Sperrert)
- 12/85 **Overføring av avløpsvann fra Bekkelaget rensedistrikt**
til Sentralreanseanlegg Vest, SRV.
Noen vurderinger av VA-tekniske konsekvenser
O-85147 Lasse Vråle. Oktober 1985
- 14/85 **Vann- og avløpstekniske løsninger for Helleberg hytteområde**
Nordstul, Store-Ble, Notodden kommune
O-85292 Lasse Vråle. Oktober 1985
- 15/85 **Fremdriftsrapport for Frogn Vannverk**
Perioden juni-oktober 1985
O-85211 Lasse Vråle. Oktober 1985
- 17/85 **Landbasert fiskeoppdrettsanlegg i Grimstad**
O-85262/Kristoffer Næs, Eivind Lygren, Torbjørn Damhaug,
Kjell Maroni, Bjørn Braaten. November 1985 (Sperrert)

WA rapporter utgitt av NIVA

- 1/86 NIVANETT på mikrodatamaskin
O-85207 Oddvar Lindholm. Januar 1986
- 2/86 Utvikling av resirkuleringsanlegg for fiskeoppdrettsanlegg
O-81068 Eivind Lygren, Kjell Maroni. April 1986
- 3/86 Avfall fra skip på norske strender
O-85174 Tor Moxnes. Mars 1986
- 4/86 Driftsundersøkelse av sølvarefabrikkers renseanlegg
O-82108 Eigil Iversen. Februar 1986
- 6/86 Minivannverk - forsøk i full skala med prototyp
O-84114 Tor Moxnes. Mai 1986
- 7/86 Sanitærbidrag fra yrkesaktive i Ringbygget
O-85255 Lasse Vråle. Mai 1986
- 8/86 Virkning av dynamisk regn på hydrogram
O-86037 Oddvar Lindholm. Juni 1986
- 9/86 Driftserfaringer fra kalkdoseringsanlegg i vannverk
O-86092 Jens Arne Ohren. Juni 1986
- 10/86 Driftsundersøkelse av VIV's direktefiltreringsanlegg ved Akersvann
O-86068 Jens Arne Ohren. Oktober 1986
- 11/86 Følsomhetsanalyse for parametre i avløpsnettberegninger. Fase I
O-86012 Oddvar G. Lindholm. Oktober 1986
- 12/86 Sanitærbidrag fra yrkesaktive i Bosch bygget Oppegård kommune
O-86091 Lasse Vråle. November 1986
- 13/86 Bestemmelse av tilføringsgrad
O-86195 Lasse Vråle. November 1986
- 14/86 Heterotrofe mikroorganismer i ledningsnett for drikkevann
F-86635 Kari Ormerod. Januar 1987
- 15/86 Driftserfaringer for hvirveloverløp
O-85209, E-86638 Ole Jakob Johansen. Desember 1986
- 16/86 Vannkvalitet Vansjø vannverk
O-85075 Jens Arne Ohren. Desember 1986.
- 17/86 Evaluering av ABW-filter
O-86191 Jens Arne Ohren. Desember 1986
- 18/86 VIV's direktefiltreringsanlegg ved Akersvann. Renseeffekter for alger, algetoksiner og andre vannkvalitetsparametre
O-86068 Jens Arne Ohren. Desember 1986
- 1/87 Overløpsforurensninger
Teoretiske beregninger
O-85285, O-86638 Oddvar G. Lindholm. Januar 1987
- 2/87 Testing av pH og oksygenmålere.
Delrapport 1. Test av pHOX og oksygenmålere
O-86167 Tor Sukke. Februar 1987. Sperret
- 3/87 Akvakulturmuligheter i Lilleelv.
O-86168 Arne Lande. Desember 1986. Sperret
- 4/87 Desinfeksjon av vann i oppdrettsnæringen
O-86148 Helge Liltved. Februar 1987
- 5/87 Optimalisering av kalksjøvannsfelling
Undersøkelse ved NIVAs laboratorie i Oslo og ved SRV
O-85251, E-86645 Lasse Vråle, Hans Kristiansen. Mars 1987
- 7/87 Avløpsnettberegninger med EDB
O-86012 Oddvar Lindholm. April 1987
- 9/87 Fagerstrand Vannverk
Tiltak mot manganutfelling
O-87081 Hans Kristiansen. Juni 1987
- 11/87 Pilotforsøk med karbonatisering, filtrering og direktefiltrering ved Skullerud vannanlegg
O-86256 Jens Arne Ohren. Juni 1987