

NORVAR

84
1998

Prosjektrapport

Forfall og fornyelse av ledningsnett

Sammendragsrapport fra perioden
1992–1997

Norsk VA-verkforening

NORVAR-rapport

Norsk VA-verkforening

Postadresse: Vangsveien 143, 2300 Hamar
Besøksadresse: Vangsveien 143, Hamar
Telefon: 62 52 86 50

Rapportnummer:

84-1998

Dato:

2. mars 1998

Antall sider (inkl. bilag)

40

Tilgjengelighet:

Åpen: X

Begrenset:

Rapportens tittel:

Forfall og fornyelse av ledningsnett.

Sammendragsrapport fra perioden 1992 - 1997

Forfatter(e):

Sveinung Sægvog, SINTEF Bygg og miljøteknikk

Ekstrakt:

Nedbryting av ledningsnett har et betydelig omfang i Norge, og medfører en kvalitetsforringelse av drikkevann og en øket utlekking fra vannforsyningsnett og avløpsnett til grunnen samt innlekking av vann fra grunn til avløpsnettet. Hovedårsaken til nedbryting synes å være surt, bløtt og dermed aggressivt vann og at ledninger delvis ligger i fuktig grunn. Drift vedlikehold og fornyelse av VA-ledningsnettene koster norske kommuner ca to milliarder kroner årlig.

Hensikten med dette prosjektet har vært å øke kunnskapen om bestandigheten til de viktigste materialer som brukes til vann- og avløpsledninger. For dette formålet er det etablert metoder for tilstandsundersøkelser i felt og laboratorium. Det er gjennomført forsøk med brukte og nye støpejernrør, betong- og plastrør, både for vann og avløp.

Undersøkelsene viser at de rørtypene som benyttes i dag stort sett tilfredsstiller kravene om en lang levetid, dersom de legges på riktig måte. Imidlertid har løsninger og materialer, som har blitt benyttet inntil nylig, vist begrenset levetid.

Ledninger av støpejern, betong og plast som er lagt før 1975, har generelt ikke de langtidsegenskapene som kreves i dag. Siden dette utgjør over halvparten av det samlede ledningsnettet i Norge og har en forventet samlet gjenanskaffelseskostnad på bortimot 100 milliarder kroner, vil norske kommuner i årtier måtte leve med et vann- og avløpsnett som krever betydelige ressurser til drift og fornyelse.

Emneord, norske:

VAR-teknikk

Rør (Ledningsnett)

Bestandighet

Fornyelse

Ledningsmateriale

Emneord, engelske:

Sanitary Engineering

Pipe (Pipe network)

Durability

Renewal

Pipe materials

Andre utgaver:

ISBN 82-414-0197-3

INNHALDSFORTEGNELSE

SAMMENDRAG	6
1. BEARBEIDING AV DATA OM SKADER PÅ VANN- OG AVLØPSLEDNINGER	10
1.1 Registrering av skader på vann og avløpsledninger.....	10
1.1.1 Metoder for registrering av skader	10
1.1.2 Sammenstilling av skadehyppighet for vann- og avløpsledninger lagt i ulike tidsperioder	10
1.1.3 Statistisk bearbeiding av levetid for vannledninger	11
1.1.4 Modellering av sårbarhet i vannforsyning	13
2. BESTANDIGHET FOR PLASTLEDNINGER	15
2.1 Typer	15
2.2 Bestandighet.....	15
2.2.1 Generelt om brudd i plastrør	15
2.2.2 Brudd i PVC-rør	15
2.2.3 Brudd i PE-rør	16
2.3 Undersøkelse av bestandighet for brukte plastrør.....	17
2.3.1 Undersøkelsesmetoder	17
2.3.2 Resultater.....	18
2.3.3 Modell for levetid av plastrør.....	18
3. BESTANDIGHET FOR STØPEJERNSLEDNINGER.....	19
3.1 Materialtyper og skadeårsaker	19
3.2 Hvilke korrosjonsmekanismer er viktige for nedbrytning av støpejernsledninger	19
3.3 Måling av tilstand for stål og støpejernsledninger	20
3.4 Beregning av tid til brudd/gjennomtæring	21
3.5 Analyser av korrosjonsprodukter innvendig i vannledninger.....	23
3.6 Innvendig korrosjonsbeskyttelse med sementmørtelbelegg	23
3.6.1 Sementtyper.....	24
3.6.2 Påføringsmetoder.....	24
3.6.3 Resultater fra undersøkelser.....	26
4. BESTANDIGHET FOR BETONGLEDNINGER	28
4.1 Materialtyper og skadeårsaker	28
4.2 Undersøkelser av betongtrykkledninger.....	28
4.2.1 Premo-rør	28
4.3 Sentab-rør	29
4.4 Undersøkelse av betongavløpsrør	29
5. FORLENGELSE AV LEVETIDEN FOR VANNLEDNINGER.....	30
5.1 Vannkvalitetsjustering	30
5.1.1 Effekt av vannkvalitetsjustering på støpejernsledninger	30
5.1.2 Effekt av vannkvalitetsjustering på betongledninger og mørtelforinger	31
5.2 Innvendig beskyttelse med organisk belegg.....	33
5.2.1 Egenskaper ved epoksybelegg.....	33
5.2.2 Undersøkelse av vannledningsrør rehabilitert med epoksy	34
5.3 Rehabilitering med sementbaserte metoder.....	34
5.3.1 Rehabilitering med sementmørtel.....	34
5.3.2 Påsprøyting med ICOMENT.....	35

6. BESKYTTELSE MOT UTVENDIG KORROSJON.....	36
6.1 Generelt	36
6.2 Vurdering av korrosjonsfare ved ledningsanlegg	36
6.3 Utvendig korrosjonsbeskyttelse	37
7. REFERANSER.....	39

FORORD

Det har i løpet av de siste tredivå årene vært en betydelig almen heving av kunnskapsnivået for vannforsynings- og avløpssystemer på alle forvaltningsnivåer. Dette har blant annet medført betydelige forbedringer både med hensyn til materiell og utførelse av ledningsanlegg, slik at det i dag realistisk kan kreves løsninger med en forventet levetid på flere hundre år.

Dette forutsetter god produktkunnskap om aktuelle ledningsmaterialer, evt utvikling av kontrollmetoder, og et høyt nivå på utførelsen for nye anlegg. I tillegg etterlyses i dag kunnskap om forventet bestandighet for de ledningsanleggene som er bygget ut i tidligere årter.

Forskningsprogrammet "Forfall og fornyelse av VA-ledningsnett del 3" er utført i perioden 1992 til 1997. Programmet har hatt som mål å øke kunnskapen om de mest aktuelle ledningsmaterialer slik de fremstår i dag, og bestandighetsegenskapene til ledninger av ulike materialer lagt tidligere. De mest vanlige ledningsmaterialene, støpejern, betong og plast, er behandlet, og også noen aktuelle beskyttelsesmetoder som sementmørtelforing og epoksybelegging.

De viktigste resultatene og de viktigste forholdene som bestemmer ledningers bestandighet er behandlet i denne rapporten, som gjengir hovedkonklusjoner fra en rekke delprosjekter. Denne kan leses for den som vil skaffe seg en oversikt over problemområdet. Mer detaljerte betraktninger og resultater fra de enkelte delprosjekter er samlet i to ringpermer:

- Forfall i ledningsnett. Utførte prosjekter i 1992 – 1994. Rapport STF60 A95020.
- Forfall i ledningsnett. Utførte prosjekter i 1995 – 1997. (under utarbeidelse)

Disse leses når fordypning er ønskelig eller nødvendig. Rapportene er tilgjengelige fra SINTEF.

Prosjektet forfall og fornyelse av ledningsnett er finansiert av Norges Forskningsråd, KOMTEK-programmet og NORVAR gjennom spleiselagsprosjekter der en rekke kommuner har deltatt: Bergen, Bodø, Bærum, Drammen, Fredrikstad, Kristiansand, Narvik, Oslo, Porsgrunn, Ringsaker, Sandefjord, Sandnes, Skien, Stavanger, Steinkjer, Strand, Trondheim og Trømsø. Videre har NTNU bidratt ved at en rekke hovedoppgaver er utført i tilknytning til programmet.

Prosjektet er fulgt av en referansegruppe med følgende sammensetning:

Finn Bjørgum, Trondheim kommune
 Tormod Bontveit, Bergen kommune
 Svein Håkon Høyvik, Stavanger kommune
 Terje Jensen, Narvik kommune
 Gunnar Mosevoll, Bergen kommune/Asplan VIAK Sør AS
 Jan Erik Oddevold, Oslo vann og avløpsverk
 Stein Røed, Berdal Strømme AS
 Tormod Spigseth Oslo vann og avløpsverk
 Dag Tobiassen, Kristiansand kommune

Følgende har deltatt ved utførelsen av prosjektet:

Bearbeiding av data om skader på ledningsnett:

Jianhua Lei, Sveinung Sægrov og Odd Atle Tveit, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Vannrensing og VA, Jørn Vatn, SINTEF Teknologiledelse.

Støpejernsledninger, korrosjon:

Astrid Bjørgum, John Drugli, Tor Gunnar Eggen, Hjalmar Sigurdsson og Unni Steinsmo, SINTEF Materialteknologi, korrosjonssenteret, Liv Fiksdal, Institutt for vassbygging, NTNU og Stein Østerhus, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Vannrensing og VA

Betongledninger:

Inger Meland, Kåre Johansen og Ola Skjølsvold, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Sement og betong, Sveinung Sægrov, SINTEF Bygg og miljøteknikk, Vannrensing og VA

Plastledninger:

Terje Christensen, SINTEF Materialteknologi, Seksjon for polymerer og kompositter.

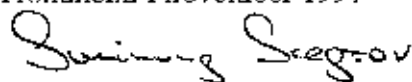
Ledningsutførelse og utvendig korrosjonsbeskyttelse:

Stig Bell og Øistein Torgersen, Norsk Rørsenter AS

Prosjektet er ledet av Sveinung Sægrov, som også har utformet denne rapporten.

Vi vil rette en hjertelig takk til alle som har bistått med faglig engasjement og finansiell støtte til dette prosjektet.

Trondheim i november 1997



Sveinung Sægrov

SAMMENDRAG

1. Generelt

Nedbrytning av ledningsnettet har et betydelig omfang i Norge i dag, og medfører en kvalitetsforringelse av drikkevannet og øket utlekking fra vannforsyningsnettets til grunnen. I tillegg kommer innlekking til avløpsnettets samt utlekking av forurensninger fra avløp til grunnen. Drift, vedlikehold og fornyelse av VA-ledningsnettene koster norske kommuner omkring to milliarder kroner årlig.

Hensikten med dette prosjektet har vært å øke kunnskapen om bestandigheten til de viktigste materialer som brukes til vann- og avløpsledninger. For dette formålet er det etablert metoder for tilstandsundersøkelser i felt og i laboratorium, som står til disposisjon for fremtidige undersøkelser av rørmaterialer. Det er gjennomført undersøkelser med brukte støpejernsrør, betong- og plastrør, for både vann og avløp. Videre er det arbeidet med statistiske metoder basert på registrerte skader på ledningsnettets.

Undersøkelsene viser at de rørtyper som brukes i dag, stort sett tilfredsstiller kravene om en lang levetid. Ledninger av støpejern, betong og plast som er lagt før 1975 har imidlertid ikke de langtidsegenskaper som kreves i dag. Siden dette utgjør over halvparten av det samlede ledningsnett i Norge, og har en forventet samlet gjenanskaffelseskostnad på bortimot 100 milliarder kroner, vil norske kommuner i årtier måtte leve med et vann- og avløpsnett som krever betydelige ressurser til drift, vedlikehold og fornyelse.

2. Vurdering av ledningsnett basert på statistiske metoder.

Resultater fra 700 skader på vannledninger og 500 skader på avløpsledninger er behandlet statistisk. Disse viser at det er en overhyppighet av skader på vannledninger av grått støpejern lagt i perioden fra 1945 til 1970, mens avløpsledninger lagt før 1970 har en vesentlig høyere skadehyppighet enn nyere ledninger. Årsaken til skadene er først og fremst manglende kunnskap og kontroll med anleggsutførelsen, dernest manglende beskyttelse mot korrosjon og kjemisk nedbrytning.

Med utgangspunkt i egenskapsdata og data for skader på vannledningsnettets som er lagret i VA-ledningsregistre, kan statistiske metoder brukes for å bestemme forventet feilhyppighet de nærmeste årene og på lengre sikt. Til dette brukes såkalte plottefunksjoner (akkumulerte feil over en tidsperiode) og modeller for beregning av overlevelsessannsynlighet. Metoden er anvendt på ledningsnettets i Trondheim. Når driftsdata for perioden 1988 – 1996 brukes, viser metoden at ledninger lagt etter 1975 generelt vil ha en lang levetid.

I enkelte sammenhenger er det viktig å kjenne leveringssikkerheten for vannforsyning. Det er utviklet en modell for beregning av påliteligheten til et vannforsyningssystem, når oppbyggingen av nettet er kjent. Modellen er anvendt på vannforsyningssystemet til Regionsykehuset i Trondheim, og gir troverdige svar.

3 Ledninger av støpejern

3.1 Støpejernsledninger uten korrosjonsbeskyttelse

Ledninger av grått og duktilt støpejern som ikke er beskyttet mot korrosjon, er generelt utsatt for utvendig nedbrytning dersom ledningen ikke ligger i godt drenerte masser. Korrosjon kan forekomme i områder med surt og bløtt vann og grunnforhold preget av myr og marine avsetninger.

Videre er ledninger som ligger i områder med alunskifer, går gjennom søppelfyllinger eller ligger med fyllmasser/sammensatte masser inntil rørene, utsatt for korrosjon.

Den innvendige nedbrytningen styres av vannkvaliteten og hydrauliske forhold i ledningsnett. Surt og bløtt vann fører generelt til korrosjon. Avsetninger i ledningsnett, som forekommer i områder med lav vannhastighet, kan gi ulik konsentrasjon av oksygen ved rørveggen med påfølgende korrosjon i bunn av ledningen.

Både den utvendige og innvendige nedbrytningen karakteriseres ofte av områder med groper eller spredte groper i rørveggen. Korrosjonshastigheten er imidlertid svært varierende, og mange ubeskyttede ledninger viser svært få tegn på nedbrytning. *Ved å ta ut prøver av ledningen, og måle dybden på korrosjonsgropene, er det mulig å beregne tiden til ledningen vil gå til brudd eller gjennomtæres.* Erfaringer fra skadeanalyser viser at ledninger av grått støpejern går til brudd før de er gjennomtæret, mens ledninger av duktilt støpejern tæres gjennom og svært sjelden går til brudd. Beregningen av skadesannsynlighet gjøres ved hjelp av et regnearkprogram.

3.2 Støpejernsledninger med innvendig sementmørtelforing

Støpejernsledninger korrosjonsbeskyttes innvendig med en foring av sementmørtel. Innvendig beskyttelse av duktile ledninger med sementmørtel startet i Norge på slutten av 1960-tallet. Den første tiden var det vanlig å bruke mørtelforinger basert på Portland-sement. Foringer fra slike ledninger, lagt i 1970 – 1980, er samlet inn og undersøkt i laboratorium. Resultatene viser en større eller mindre grad av nedbrytning i alle foringene, noen var i ferd med å bli helt nedbrutt. Skadeomfanget har åpenbart sammenheng med vannkvaliteten, men resultatene gir ikke grunnlag til å trekke entydige slutninger om denne effekten.

På bakgrunn av usikkerhet knyttet til bestandigheten av mørtelforinger basert på Portland sement, ble sementtypen erstattet med aluminat-, slagg- (slag fra metallurgisk industri) eller flygeaske-sement (aske fra kullfyrte kraftverk). Disse sementene gir en tettere struktur i mørtelen, og øker derved mørtelforingens bestandighet. Videre er innholdet av det lettest løselige materialet, kalsiumhydroksyd, lavere i disse sementene enn i Portland sement. Dette vil også bidra til bedre bestandighetsegenskaper i foringene. Generelt øker bestandigheten til foringer basert på såvel Portlandsement som slagg eller flygeaske-sement hvis vannkvaliteten blir brakt opp til et nivå med $\text{pH} > 8$, kalsiuminnhold $> 20 \text{ mg/l}$ og alkalitet $> 1,0 \text{ mmol/l}$. Denne vannkvaliteten er også gunstig for å begrense nedbrytningen av kobber og støpejern.

Mørtelforinger av aluminatsement ble tidlig introdusert for ledninger som fører surt og bløtt vann. Undersøkelser har vist at aluminatsementforingene er mer bestandige enn de andre mørtelforingene i surt og bløtt miljø. I et svakt surt eller nøytralt miljø er imidlertid aluminatsementforinger ikke mer bestandige enn foringer basert på de andre sementtypene.

Det er etablert en modell for utluting av kalsium og aluminium fra aluminatsementforinger ved ulike vannkvaliteter. Modellen viser hvordan utlutingen vil variere med oppholdstiden. Når vannkvaliteten er sur og bløt vil utlutingen resultere i kraftig pH -økning, og konsentrasjonen av aluminium vil øke betydelig etter en til to timers oppholdstid.

Bruk av aluminatsementforinger kan derfor bare anbefales for surt og bløtt vann og når oppholdstiden i ledningen er mindre enn 1 – 2 timer, for eksempel kortere overføringsledninger fra kilde til behandlingsanlegg. For øvrig bør mørtelforinger basert på slaggsement eller flygeaske-sement brukes.

3.3 Rehabilitering av støpejernsledninger

For beskyttelse mot innvendig korrosjon kan eksisterende støpejernsledninger rehabiliteres med sementmørtel eller epoksy. Det bør lages detaljerte kravspesifikasjoner for slike arbeider.

Rehabilitering med sementmørtel kan gjennomføres med Standard Portlandsement, slaggsement eller flygeaskesement. For å unngå sig i fersk mørtel inne i røret, bør tilsetning av silikastøv vurderes. *Rehabilitering med lateksmodifisert sementmørtel (ICOMENT) bør ikke brukes.*

Rehabilitering med epoksy krever godt rengjorte og tørkede rørflater. Metoden er prøvd ved flere anlegg i Norge, med vekslende resultater. Det mangler sikre metoder for å kontrollere langtidsegenskapene til ulike epoksyblandinger. I England har metoden nå vært brukt i 15 år i forholdsvis stort omfang.

Det finnes også en rekke andre rehabiliteringsmetoder for vannledninger, men disse er ikke undersøkt i dette prosjektet.

3.4 Utvendig beskyttelse av støpejernsledninger

Generelt er ledninger i tørre omgivelser, dvs i områder med morene, tørrskorpeleire og kalkforekomster lite utsatt for korrosjon. I fuktig grunn, som eksempel marin leire og myr, samt ved sammensatte fyllingsområder, kan imidlertid korrosjonsfaren være stor. I slike områder bør ledningen korrosjonsbeskyttes utvendig. Det bør lages korrosjonskarter for kommuner eller områder som kan være utsatt for korrosjonsangrep på installasjoner i jord.

Det er utviklet ulike systemer for utvendig beskyttelse, som ulike typer plastbelegg, sementmørtel etc. Det er foreløpig bare begrenset erfaringsgrunnlag med slike systemer i Norge.

4 Ledninger av plast

Det er registrert relativt få skader på trykkrør av plast. Registrerte skader er i hovedsak sprø brudd, som må forklares med dannelse og vekst av sprekker (PVC-rør), og uttrekk av antioksydanter i forbindelse med sveiseskjøter (PE-rør). Brukte rør fra i alt 10 forskjellige plastledninger er samlet inn og undersøkt med hensyn til bestandighetsegenskaper. Disse viser relativt dårlige resultater for PVC og PE-rør produsert fram til og med første halvdel av 1970-årene, mens prøver av rør produsert og lagt rundt 1980 viser bedre langtidsegenskaper.

Avløpsrør av plast (trykløse rør) er ikke behandlet i dette programmet. Slike rør utsettes for deformasjon på grunn av last fra overfyllingsmasser. Undersøkelser, bla i regi av NTNU og Oslo vann og avløpsverk, har vist at deformasjonen etter legging er mindre enn kravet, og at eventuell deformasjonsøkning stort sett stopper opp etter få år.

5 Ledninger av betong

Brukte rør fra større vannledninger i betong er undersøkt. Resultatene indikerer en viss nedbrytning på rør av typen PREMO, mens det ikke er funnet tilsvarende nedbrytning på rør av typen SENTAB.

Brukte betongrør fra 60 forskjellige avløpsledninger er undersøkt i forbindelse med et dr.ing. arbeid på NTNU. *Resultatene viser at rør lagt før 1970 ofte er styrkemessig underdimensjonert, og at gamle rør ofte har en porøsitet som gjør rørene sårbare for kjemiske angrep. Betongrør produsert etter 1980 holder mål både mht styrke og bestandighet.*

6. Videre arbeid

Mye av kunnskapen som er hentet fram gjennom programmet "Forfall og fornyelse av ledningsnett" er allerede tatt i bruk ved fornyelsesplanlegging. Det ligger imidlertid fremdeles et stort potensiale i bedre kunnskap og forståelse av tilstanden på vann og avløpsnettene i dag og den nedbrytningen som foregår. Noen av de mest aktuelle prosjektene er presentert nedenfor.

6.1 Vannledningsnett

Plastledninger har etter hvert blitt et av de viktigste materialene for små og mellomstore vannledninger (DN $\leq$ 300 mm). Selv om skadehyppigheten er svært lav, er det en viss usikkerhet med hensyn til hvilke belastninger på grunn av setninger og tøyninger ledningen kan utsettes for uten å ta skade. Det er videre ønskelig å få kunnskap om forventet teknisk funksjonstid for plastledninger der skader er påvist. Innsamling av internasjonale erfaringer, og prøver fra brudd i Norge, og i neste omgang laboratorieundersøkelse av bruddene, er derfor en prioritert oppgave.

Sammenhengen mellom vannkvalitet og nedbryting er foreløpig modellert for en type sementmørtelforing. Denne modellen bør utvides til å foringer av slagg- og flygeaskesement, og en beregning av levetiden for de ulike sementmørtelforingene.

Modell for beregning av tid til brudd for ubeskyttede støpejernsledninger (grått støpejern) bør forsterkes med en rutine for beregning av sprekkvekst. Dette vil øke påliteligheten av denne modellen.

6.2 Avløpsnett

Det er utviklet en metode for materialteknisk evaluering av uarmerte betongavløpsledninger. Metoden kan brukes for å bestemme om slike ledninger kan brukes videre eller om de må skiftes ut. Før metoden brukes i stor skala, bør et prøveprosjekt gjennomføres.

I den senere tid er det påvist at det foregår nedbrytning på eldre, større armerte betongledninger. Kostnadene ved omlegging av slike ledninger kan bli svært store. Det er derfor viktig å stanse nedbrytningen og eventuelt rehabilitere ledningen før skadene blir så omfattende at de ikke kan repareres. I første omgang bør det etableres en metode for materialteknisk undersøkelse av store armerte betongavløpsledninger som prøves i et utvalg ledninger. Dette kan gi en indikasjon på tilstanden i røret.

Norske kommuner har etter hvert et godt datagrunnlag for egenskapsdata og data om driftsforstyrrelser på avløpsnett. Dette kan brukes ved beregning av forventet feilhyppighet i fremtiden, basert på statistiske metoder. Det vil være aktuelt å bruke overlevelsesmodeller eller såkalte Markovkjeder, som beregner sannsynligheten for at en del av ledningsnettet vil gå over fra en tilstandsklasse til en dårligere klasse. Slike modeller må tilpasses avløpssystemer og testes.

1. BEARBEIDING AV DATA OM SKADER PÅ VANN- OG AVLØPSLEDNINGER

1.1 Registrering av skader på vann og avløpsledninger

1.1.1 Metoder for registrering av skader

Nedbrytning av ledningsnett medfører en fare for avbrudd i vannforsyning og avløp, kvalitetsforringelse av drikkevannet, øket utlekking fra vannforsyningsnett og forurensning av grunnen. Dette kan ha store økonomiske konsekvenser for kommunene.

Hovedtyngden av problemene finnes på eldre ledninger, og skyldes delvis mangelfullt utviklet produksjonsteknologi tidligere, mangelfullt utviklede standarder for dimensjonering og utførelse og mangel på materialtyper som kunne motstå langvarig påvirkning fra surt og bløtt vann.

For å få en bedre innsikt i årsakene til skader på ledningsnett i den enkelte kommune, er det nødvendig å gjennomføre en systematisk registrering av skadene, der faste data (leggeår, diameter, materiale, skjøtemetode) registreres, sammen med en beskrivelse av forhold på skadestedet. Det er utviklet et eget registreringsskjema for dette, som er tatt i bruk i mange kommuner. Skjemaet er lagt til rette for innlegging av data i Gemini VA, som er et register for lagring og presentasjon av data for vann- og avløpsnett.

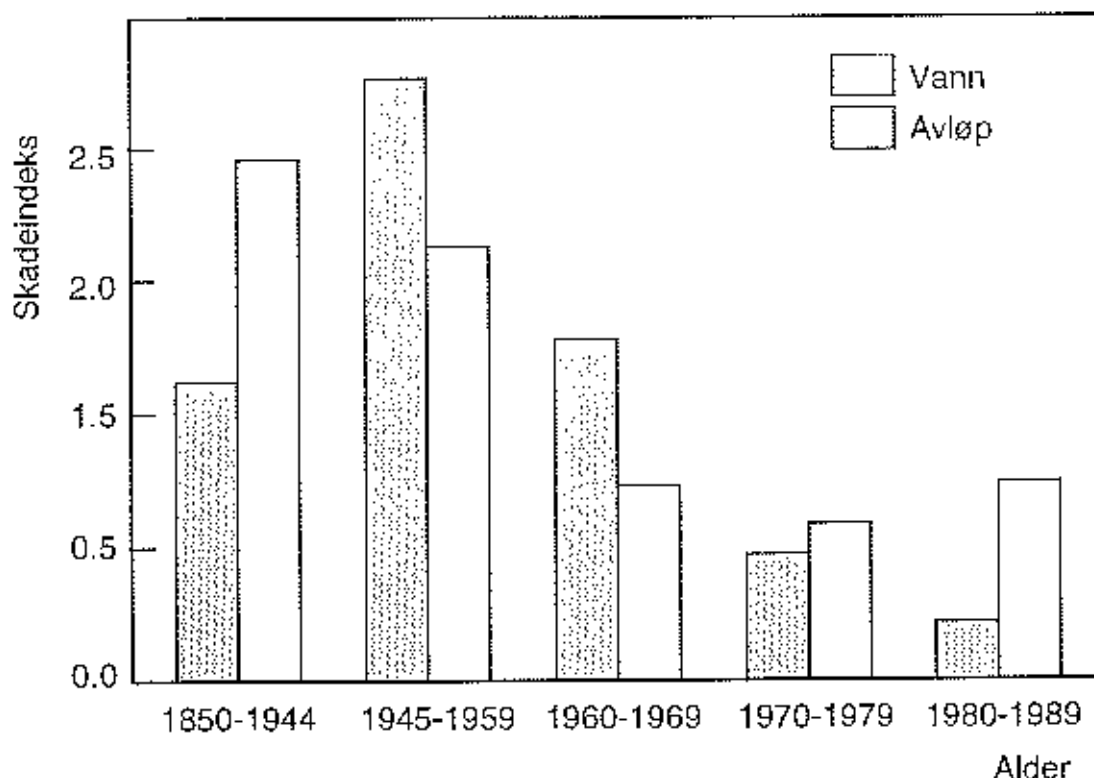
For ledninger av grått og duktilt støpejern, som kan være utsatt for korrosjon, kan det være nødvendig å hente inn supplerende informasjon om korrosjonstilstand. Dette er det lagt til rette for i en ny type rapport, "Måling av korrosjon og beregning av tid til ledningsskade", som også er forutsatt inkludert i Gemini VA. (Sægrov 1997). Denne rapporten er særlig aktuell for ledninger der konsekvensen av skader vil være stor.

1.1.2 Sammenstilling av skadehyppighet for vann- og avløpsledninger lagt i ulike tidsperioder

En sammenstilling av skadehyppighet for vann- og avløpsledninger lagt i ulike tidsperioder er vist på figur 1.1. Sammenstillingen er basert på 700 skaderegistreringer fra vannledninger og 500 fra avløpsledninger (Sægrov, Selseth og Hasselvold 1995). Mest interessant er den overhyppigheten i skader på vannledninger som finnes på ledninger lagt i etterkrigsperioden. Dette var en periode som var preget av en meget rask utbygging, samtidig som materialteknologi og kunnskap om utførelse ikke var kommet opp på et tilfredsstillende nivå. Mange av skadene skyldes uforholdsmessig stor utvendig belastning fordi ledningene er behandlet hardt ved legging, og fordi fundamenteringsforholdene var meget ugunstige med bla understøttelse av ledninger (skolinger), ujevn grøftebunn og mangelfull komprimering.

En nærmere analyse av skadene viser at 90 prosent av skadene på rør av grått støpejern opptrer som brudd, mens 90 prosent av skadene på rør av duktilt støpejern og stål skyldes gjennomtæring. Grått støpejern er et sprøere materiale enn duktilt støpejern og stål, og går som regel til brudd før det gjennomtæres. Også de fleste skadene på plastledninger opptrer som brudd.

Det er vesentlig flere skader på ledninger med diameter inntil 250 mm sammenlignet med større ledninger.



Figur 1.1 Skadehyppighet for vann og avløpsledninger sammenlignet med år for anleggsutførelse. Skadeindeksen fremkommer med en sammenligning mellom skadeomfang og utbyggingsvolum for de enkelte tidsperioder (Sægrov, Selseth og Hasselvold 1995).

1.1.3 Statistisk bearbeiding av levetid for vannledninger

Etter hvert som det foreligger data for skader på vann- og avløpsledninger over flere år, er det mulig å gjennomføre en statistisk bearbeiding av dataene, slik at trender for fornyelsesbehov kan avdekkes. For at slike analyser skal kunne gi nyttige resultater, er det nødvendig å gruppere ledningsnett ut i fra forhold som kan tenkes å ha betydning for skadehyppigheten. Foreløpige erfaringer viser at summerte skadeantall fremstilt mot kalenderår (Nelson Aalen plot) gir en god oversiktsinformasjon.

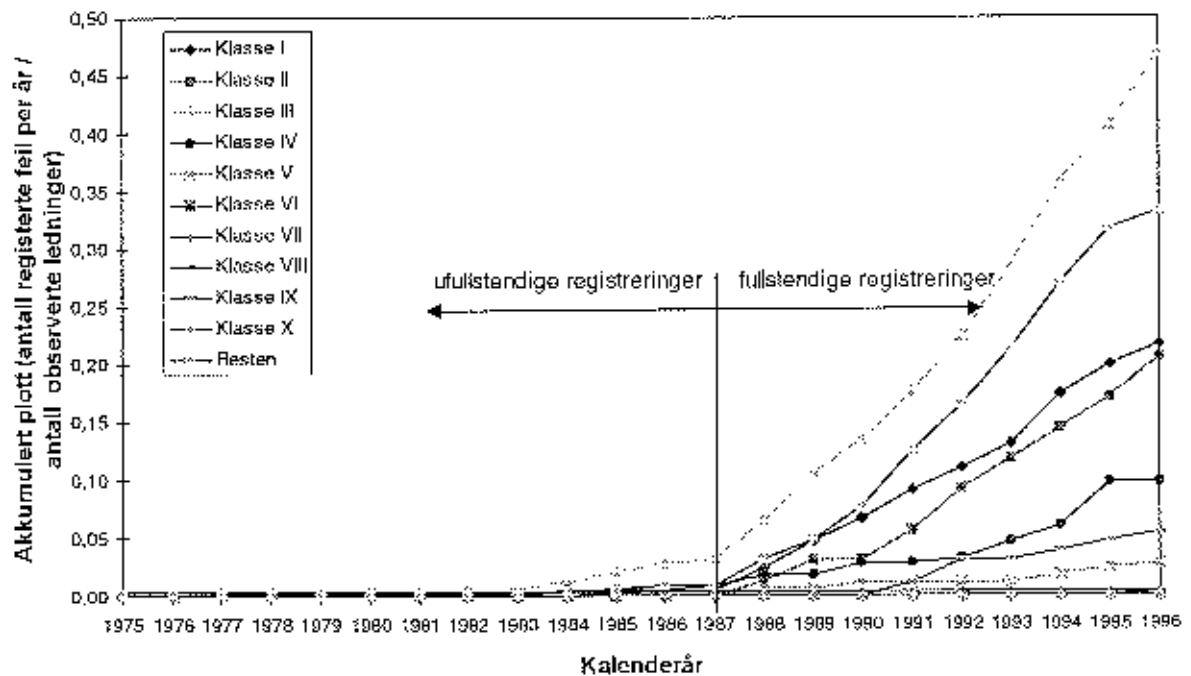
Data fra Trondheim kommune er brukt for å illustrere bruken av statistiske metoder ved analyse av skader på ledningsnett (Lei 1997). Denne kommunen har delvis dokumentasjon av skader fra 1975 og full dokumentasjon fra 1988. Ikke alle skaderegistreringer inneholder en fullstendig beskrivelse av data for ledningen. I Trondheim finnes 1209 registreringer av skader som kan inngå i en videre statistisk behandling. En rekke av disse ledningene hadde mer enn en feil.

Etter en innledende analyse av feilrater (feil pr. år) ble ledningsnettets klassifisert i følgende grupper (tabell 1.1). Inndelingen er utført med bakgrunn i situasjonen i Trondheim, og kan avvike i andre kommuner.

Figur 1.2 viser Nelson Aalen plott for de ti klassene. Plottet viser at skadehyppigheten er høyest for klasse 3, dvs ledninger av duktilt støpejern lagt i perioden 1963 til 1975. Disse ledningene ble lagt med datidens standard korrosjonsbeskyttelse (bitumen). Figuren viser også at ledninger med diameter større enn 250 mm generelt har langt færre skader enn andre ledninger. Disse resultatene gjelder for Trondheim, og kan ikke uten videre overføres til andre kommuner.

Tabell 1.1. Klassifisering av ledningsnett for statistisk analyse av trender for fornyelsesbehov, Trondheim kommune.

Klasse	Installasjonsår	Materiale	Diameter (mm)	Antall rør	Antall feil
I	1862-1963	grått stj.	≤250	2449	532
II	1862-1963	grått stj.	>250	229	47
III	1963-1975	duktilt stj.	≤250	2924	1370
IV	1963-1975	duktilt stj.	>250	216	21
V	1975-1997	duktilt stj.	≤250	1050	24
VI	1975-1997	duktilt stj.	>250	65	0
VII	1975-1997	duktilt stj. + korr.besk.	≤250	525	2
VIII	1975-1997	duktilt stj. + korr.besk.	>250	12	0
IX	1975-1997	plast	≤250	133	6
X	1975-1997	plast	>250	35	0
Resten				814	268
Total				8452	2270



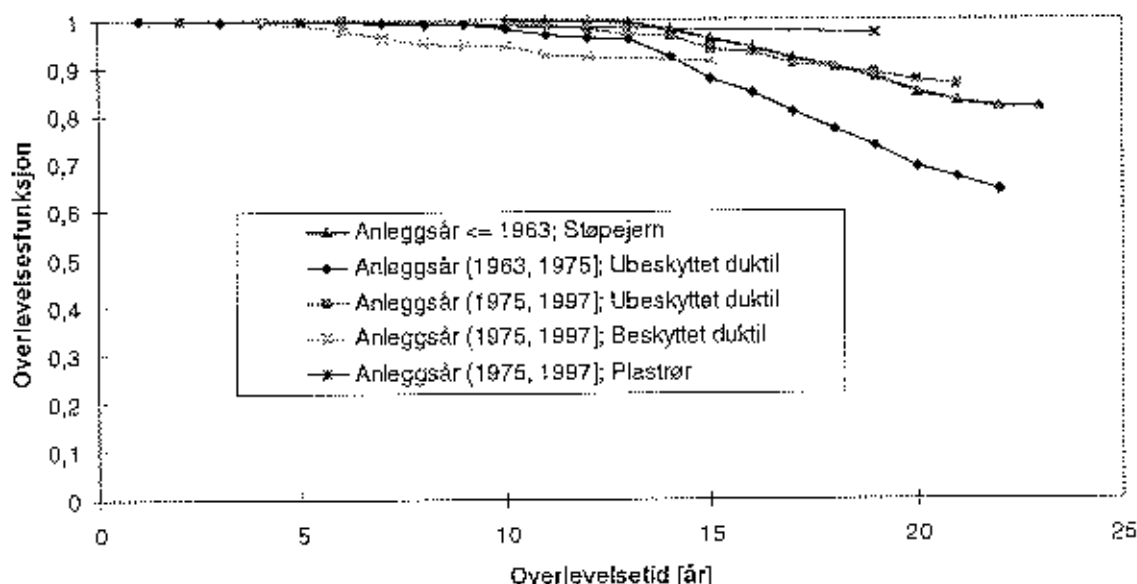
Figur 1.2. Nelson Aalen plott for ulike rørklasser i Trondheim (Lei 1997).

Generelt vil et Nelson Aalen plott som krummer oppover, vise et ledningsnett i tiltakende forfall, mens et plott som krummer nedover viser et nett i bedring. I eksempelet Trondheim er situasjonen stabil, dvs at skadehyppigheten synes å være noenlunde konstant fra år til år.

Det ble også laget plott for ledninger med flere skader. Disse viser at skadehyppigheten vil øke vesentlig etter tre feilhendelser på samme ledning. En praktisk konsekvens av dette er å vurdere utskifting eller rehabilitering av ledningsstrek som har hatt tre eller flere skadetilfeller.

Med bakgrunn i data om skader på ledningsnett, kan det også lages statistiske modeller av forventet fornyelsesbehov i et tidsperspektiv på tiår fremover. En slik analyse er utført i eksempelet Trondheim, og vist på figur 1.3. Eksempelet viser et øket fornyelsesbehov etter 20 år, først for ledningene av grått støpejern og duktilt støpejern lagt før 1975. Kurven gjelder dersom det ikke settes inn forebyggende tiltak før de 20 årene har gått.

Grunnlaget for analysene i Trondheim er data om skader på ledningsnett som er samlet inn i løpet av 9 år. Dette har gitt en pekepinn på forholdene, særlig for den delen av ledningsnett som har flest skader. For ledninger lagt etter 1975, som generelt har få skader, er datamaterialet for spinkelt til å gi et rimelig sikkert resultat. *Imidlertid vil en statistisk analyse utført på skadedata fra minst 5 år i de fleste tilfeller gi viktige konklusjoner om nettets tilstand.*



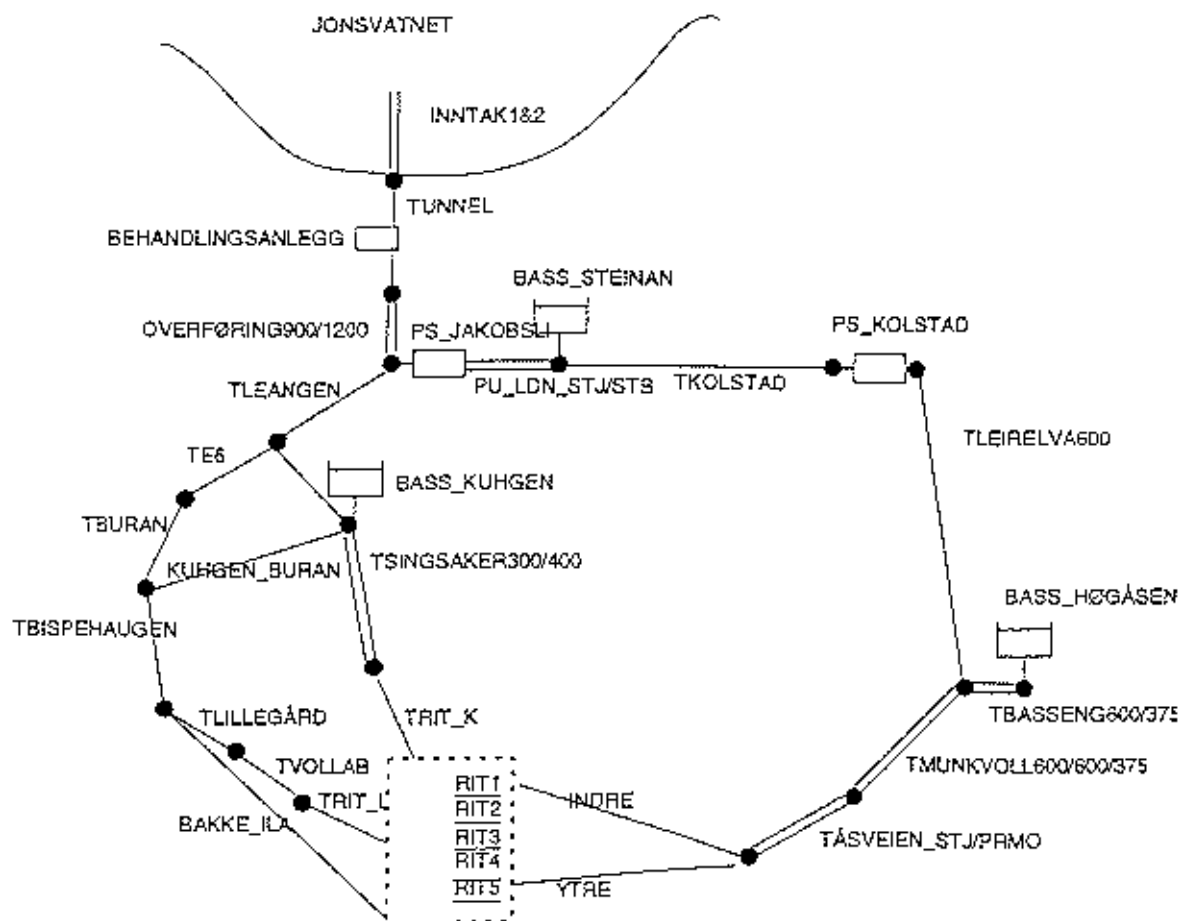
Figur 1.3. Fornyelsesbehov i et langsiktig perspektiv (Lei 1997).

1.1.4 Modellering av sårbarhet i vannforsyning

Med bakgrunn i data om skader på ledningsnett og kunnskap om de enkelte ledningsmaterialer og nedbrytningsforhold, er det mulig å beregne sannsynligheten for driftsavbrudd i vannforsyningen til en sårbar abonnent eller et sårbart forsyningsområde.

En forutsetning for slike beregninger, er at det etableres en systemmodell for pålitelighet for vannledningsnett. Et eksempel på en slik modell er vist på figur 1.4 (Vatn og Tveit 1996). Modellen vil være egnet til å finne områder med svak leveringssikkerhet. Når en slik modell er etablert, kan effekten av forbedringer for å øke leveringssikkerheten enkelt beregnes.

Som en innledende demonstrasjon, er det laget en modell for sårbarheten til Regionsykehuset i Trondheim. Modellen viser at denne abonnenten har meget god leveringssikkerhet, og at dette skyldes en planmessig utbygging og styrking av vannforsyningen til sykehuset gjennom en rekke år.



Figur 1.4. Systemmodell for beregning av leveringssikkerhet for vannforsyning. Eksempel fra Trondheims vannforsyning (Vatn og Tveit 1996).

2. BESTANDIGHET FOR PLASTLEDNINGER

2.1 Typer

De vanligste termoplastene benyttet i vann og avløpsrør er PVC (polyvinylklorid), PE (polyetylen) og PP (polypropylen). Hittil er betegnelsene PEL, PEM og PEH mye brukt for ulike PE-kvaliteter, der betegnelsene L, M og H uttrykker henholdsvis "lav", "middels" og "høy" densitet. I dag benyttes også betegnelsene PE 32, PE 50, PE 80 og PE 100 osv, der tallet refererer til dimensjonerende spenning eller langtids bruddspenning. Det pågår for tiden internasjonalt standardiseringsarbeid for å rydde opp i de mange ulike begrepene (trykkklasse, Minimum Required Strength, designfaktor). I fremtiden vil rørene bli merket med materialtype og SDR (forholdet mellom ytre diameter og veggtykkelse).

PE benyttes primært som trykkledninger, utslippsledninger og i forbindelse med rehabiliteringsarbeider der man drar nytte av PE-materialets fleksibilitet og sveisbarhet. De største anvendelsesområdene for PVC er trykkrør og grunnavløpsrør. PP er hittil lite benyttet for utvendige vann- og avløpsledninger, men har betydelig anvendelse som overvannsledninger. PP-rør har en fordel når rørene utsettes for oppvarming (varmt vann for gulvoppvarming).

2.2 Bestandighet

2.2.1 Generelt om brudd i plastrør

Plast er et visko-elastisk materiale. Dersom et plastmateriale blir utsatt for en konstant belastning, vil det oppstå en økende tøying av materialet. For eksempel vil avløpsledninger bli påført en stadig større deformasjon de første årene etter legging. Etter hvert vil imidlertid omliggende masser konsolideres og belastningen på røret avta, slik at videre deformasjon stanser opp.

Høye spenninger i rørveggen gir seighbrudd på grunn av en stor deformasjon som ender i en utflytning av materialet. Ved trykkprøving av rør vil således bruddet se ut som et "papegøyenebb". Ved lavere spenninger opptrer sprøbrudd. Disse starter som mikrosprekker ved inhomogeniteter i materialet og vokser svært langsomt den første tiden, men øker i hastighet etter hvert som sprekken vokser. Sprekken utvikler seg etter hvert til sprøbrudd med en jevn og glatt bruddflate langs røret.

Kjemisk nedbrytning er en tredje mulig bruddårsak. Polyolefinene er tilsatt kjemiske stoffer for å stabilisere produktet og redusere nedbrytning ved oksydasjon (stabilisatorer og antioksidanter). Disse vil over lang tid diffundere ut av rørveggen. Når det meste av tilsetningsstoffene er borte, vil ledningen bryte sammen. For rør som ikke har vært utsatt for langvarig oppvarming etter produksjonen, vil kjemisk nedbrytning trolig først skje etter meget lang tid (flere hundre år ved normale temperaturer).

2.2.2 Brudd i PVC-rør

Ut fra grunnleggende teori skal brudd i normalt belastede PVC-rør være seige. Alle observerte brudd er imidlertid sprøbrudd, noe som kan skyldes en kombinasjon av sprekker og/eller ekstrabelastninger på grunn av dårlig grøfteutførelse (setninger), trafikklast og trykkstøt.

De viktigste faktorene som avgjør sprekkvekst er sprekkdybde og kjervradius. For PVC-rør med sprekkdybder over 0,5 mm vil det være risiko for sprøbrudd. Etter produksjon har PVC-rør normalt sprekker med dybde ca 0,1 mm. Etter at rørene har blitt transportert til anleggssted, har sprekken økt betraktelig, med typiske verdier 0,3 – 0,5 mm. 30% av rørene har sprekker av dybde 1,0 – 1,3 mm. (Børn, 1991).

En undersøkelse av havarete PVC-rør i Australia viste at 65% av rørene hadde en kjervradius over 10 mikrometer. Den kritiske grensen ligger ved en kjervradius på 25 mikrometer. (Burn, 1988).

I praksis har skader på PVC-ledninger ofte vært knyttet til trykkstøt i pumpeledninger. Gjentatte trykkbelastninger av en viss størrelse fører til at mikrosprekker utvider seg og utvikles til sprøtt brudd. Men også rør utsatt for en stor statisk belastning kan få brudd, f.eks hvis røret påføres belastningskonsentrasjoner ved at skarpe gjenstander som steiner o.l. ligger inntil røret, eller hvis det utsettes for store høyepåkjenninger ved setninger, retningsforandringer e.l.

2.2.3 Brudd i PE-rør

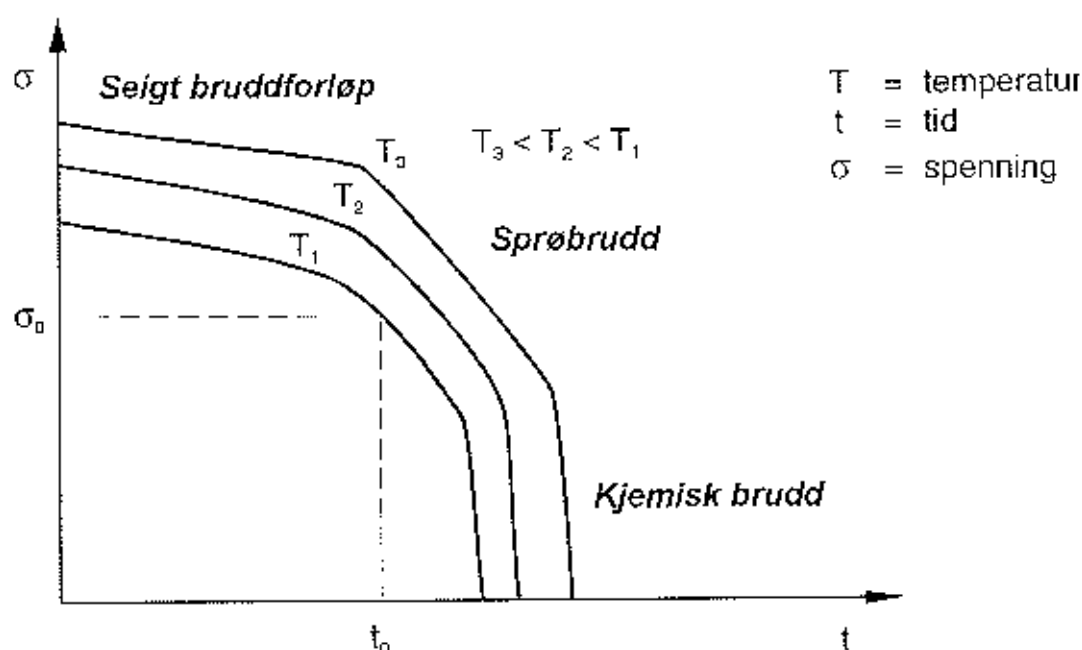
De mest vanlige bruddene i et PE-rør skjer ved sakte sprekkvekst (SRC = Slow Crack Growth). En mikrosprekk i rørveggen begynner å vokse og forplanter seg gjennom rørveggen. Etter hvert som spenningen øker på grunn av det reduserte tverrsnittet, øker sprekkveksthastigheten, og vi får et sprøbrudd i røret. PE-materialet er ikke så kjervfølsomt som PVC, men sprekker i rørrinnerflaten vil redusere levetiden.

Hurtig sprekkforplantning (RCP= Rapid Crack Growth) er meget sjelden i trykkledninger fylt med vann, men kan forekomme ved spenninger som er lavere enn de som er dimensjonerende for langtidshastigheten. Alvorlige bruddanvisninger vil kunne gi risiko for hurtig sprekkforplantning. RCP gir en sprø, glatt bruddflate som forplanter seg gjennom røret i et sinusformet mønster (Grieg 1992).

PE-materialer må tilsettes såkalte antioksidanter for å hindre rask nedbrytning på grunn av oksidasjon. Antioksidanten kan brukes opp ved høy temperaturpåkjenning ved at stabilisatorene diffunderer fra rørveggen ut i omgivelsene. Nedbrytningen av røret er meget temperaturavhengig, og først ved temperaturer over 70 °C vil det være risiko for raskt kjemisk brudd. For PE-rør produsert senere enn 1975 er dette problemet kun aktuelt ved transport av varmtvann og ved sveising eller annen oppvarming av rør.

Figur 2.1 viser hvordan de tre bruddtypene seigbrudd, sprøbrudd og kjemisk brudd avhenger av spenning og belastningstid.

Det har vært en rekke brudd i sjøledninger av PEH produsert før 1975. Dette skyldes oksidasjon på rørets innerflate under produksjonen. Brudd nær rørskjøter i rør av PEH skyldes oppvarming av materialet ved sveising. I begge disse tilfeller har det vært et forbruk av antioksidant, og rørene har blitt utsatt for kjemisk brudd (Johansen 1984).



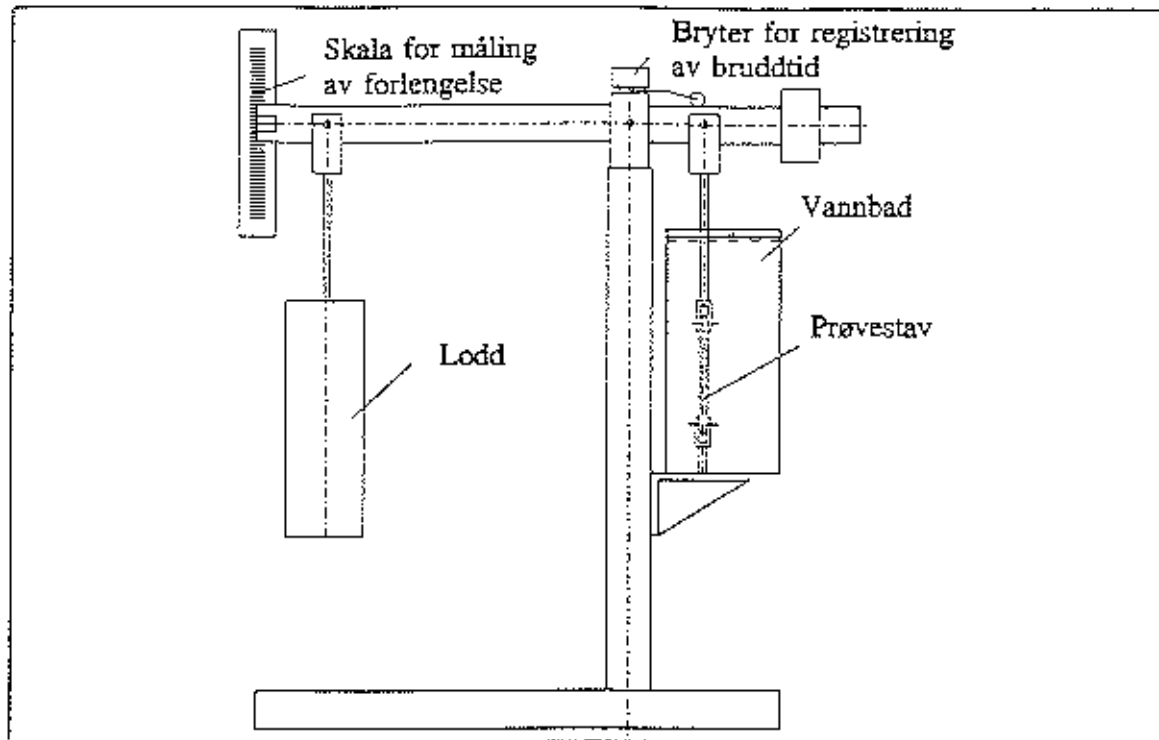
Figur 2.1. Sammenheng mellom seigbrudd, sprøbrudd og kjemisk brudd og ledningens spenning og belastningstid (Christensen 1994).

2.3 Undersøkelse av bestandighet for brukte plastrør

2.3.1 Undersøkellesmetoder

Undersøkelse av bestandighet for rørmateriale og sveis gjennomføres ved laboratoriemetoder. Ved prøving av materialets langtidsfasthet foretas aksellerert trykkprøving. Man har også en forenklet prøvemethode hvor man skjærer ut prøvestaver fra rørgodset. Disse plasseres i et væskebad og påføres en konstant kraft. Tiden til brudd registreres ved hjelp av en klokke. Forsøksoppstillingen er vist på figur 2.2.

I tillegg til langtidsfastheten undersøkes også bruddtøyningen og slagseigheten. PE og PP undersøkes med hensyn til materialenes evne til å motstå oksidasjon. For å fastslå om PVC-materialer er homogene og korrekt bearbeidet under ekstruderingen, legges en rørbit i metylenklorid. Etter forsøket inspiseres rørbiten med hensyn til angrep. Denne metoden vil etter hvert bli erstattet med DSC-analyse (Differential Scanning Calorimeter), som reproducerer bearbeidingstemperaturen ved produksjonen av PVC-rør.



Figur 2.2. Prøving av langtidsfasthet for plastmaterialer. Forsøksoppstilling (Christensen 1994).

2.3.2 Resultater

Det er foretatt undersøkelser av fire PE-rør lagt i perioden 1969 - 1981 og seks PVC-rør lagt i perioden 1970 - 1978. Rørene er innsendt fra 7 kommuner.

De to eldste PE-ledningene, hvor brudd allerede var oppstått, viste dårlige langtidsegenskaper. Et rør hadde en meget sprø ytterflate, mens et annet hadde nedbrutt innerflate. Disse rørene var lagt i 1969 og 1970. Nedbrutte overflater skyldes at det ikke var antioksidanter igjen i røroverflaten. De to yngste ledningene, fra 1974 og 1981, hadde henholdsvis middels og meget gode langtidsegenskaper.

Også de tre eldste PVC-ledningene, som var fra 1970 - 1972, hadde dårlig langtidsfasthet, mens de tre nyeste rørene fra 1974 - 1978 hadde gode langtidsegenskaper. Resultatene bekrefter at utviklingen av bedre materialer og bedre produksjonsutstyr i løpet av 1970-årene gav en betydelig forbedring i plastrørs langtidsegenskaper. En del ledninger lagt tidlig på 70-tallet og før vil imidlertid være mer utsatt for brudd enn nye ledninger.

2.3.3 Modell for levetid av plastrør

Plastrørs restlevetid kan beregnes med utgangspunkt i aksellerert sigeprøving av staver tatt fra rørmaterialet. Ved beregning av restlevetiden tas hensyn til rørets driftstrykk og temperatur. Modellen er best egnet til bruk på PE-rør, der man har sikre bruddkurver for de ulike materialene. (Christensen 1995).

3. BESTANDIGHET FOR STØPEJERNSLEDNINGER

3.1 Materialtyper og skadeårsaker

I Norge består 40 prosent av vannledningsnettet av støpejern. Nyere støpejernsledninger er i duktilt støpejern, mens hovedsakelig grått støpejern ble benyttet tidligere (før ca 1965). Fram til ca 1970-80 ble det brukt støpejernsrør med kun en enkel form for korrosjonsbeskyttelse (bitumen, 50-70 μm). Fra 1970 er duktile støpejernsrør med innvendig sementmørtelforing og senere ulike former for utvendig beskyttelse brukt (sink pluss asfalt som et minimum).

Grått støpejern er et sprøtt materiale. De fleste skadene på grått støpejern skyldes brudd på grunn av at spenningen i rørveggen overstiger materialets strekkfasthet. Belastninger på grunn av stor overdekning, trafikk o.l. medfører strekkspenninger i rørets ringretning. Dette fører til langsgående brudd. Ujevnt fundament eller punktvis understøttelse av røret fører til at røret fungerer som en bjelke. Dette medfører strekkspenninger i lengderetning, og tverrgående brudd når spenningene overstiger strekkfastheten.

En vanlig situasjon er at røret samtidig utsettes for strekkspenninger i ring- og lengderetning. I slike tilfeller reduseres strekkfastheten sammenlignet med kun en belastningstype alene. Korrosjon medfører en svekkelse av rørtverrsnittet og reduserer rørets evne til å tåle belastninger.

De fleste brudd på grå støpejernsrør skyldes samvirke mellom ulike belastninger og korrosjon. En gjennomgang av bruddstatistikk i norske kommuner viste at tverrgående brudd forekommer åtte ganger hyppigere enn langsgående brudd på støpejernsrør. Dette viser at feil fundamentering av slike ledninger ofte er en hovedårsak til brudd på rørene.

De fleste skadene på duktile støpejernsledninger skyldes gjennomtæring på grunn av utvendig korrosjon. I fremtiden kan innvendig korrosjon også bli en viktig skadeårsak, dersom vannbehandling ikke iverksettes.

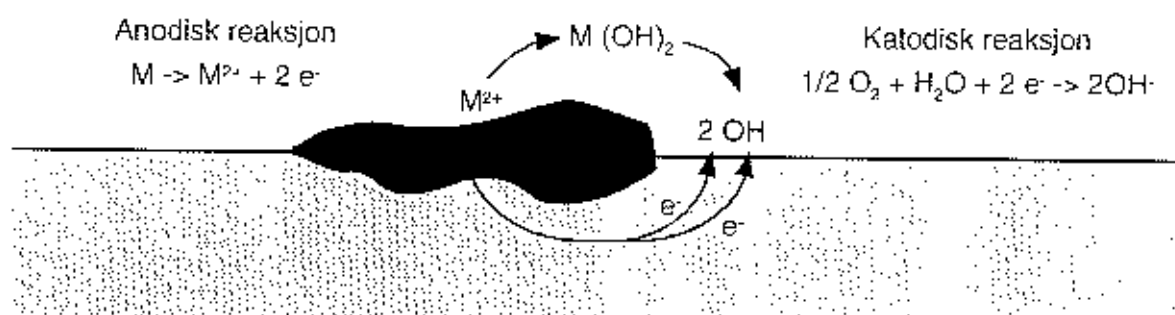
3.2 Hvilke korrosjonsmekanismer er viktige for nedbrytning av støpejernsledninger

Korrosjon på metalliske materialer er en naturlig prosess som alltid vil forekomme dersom materialet ikke er beskyttet på en eller annen måte. Korrosjon på støpejernsrør foregår ved jevn tæring av metallet, og ved lokale gropdannelse. Det er gropkorrosjonen som først og fremst reduserer rørets funksjonsevne og levetid, ved dannelse av korrosjonsprodukter inne i røret, ved reduksjon av styrke til brudd og ved gjennomtæring.

De viktigste årsakene til innvendig gropkorrosjon er ujevn tilgang av oksygen til røroverflaten, såkalt luftningscellekorrosjon, eller galvanisk korrosjon pga urenheter i materialet. Luftningsceller dannes ofte i forbindelse med slamavsetninger i røret, og de fleste gropene er fordelt langs bunnen av røret.

Korrosjonen oppstår ved at det dannes lokale elektriske spenningsforskjeller på overflaten. En spenningsforskjell kan skape et anodisk og et katodisk område på overflaten. I det anodiske området løses metaller opp eller går over i mer volumkrevende oksyderte faser. Ved denne oppløsningen frigjøres elektroner fra metaller. Disse vandrer mot katoden. Er det oksygen tilstede ved katoden, reagerer elektronene med oksygen og vann til hydroksydioner. Dersom den katodiske overflaten er dekket av et belegg som hindrer eller begrenser kontakt med oksygen og vann, vil

katodereaksjonen bli hemmet og korrosjonen avta eller kanskje stoppe helt opp. Figur 3.1 viser prinsippet for en korrosjonsreaksjon i et rør.



Figur 3.1. Prinsipp for korrosjon i et rør (Drugli og Steinsmo 1994).

Kvaliteten på vannet er bestemmende for korrosjonshastigheten inne i rørledningen. Dersom kalsium og/eller bikarbonater er tilstede i vannet, vil det dannes et beskyttende karbonatbelegg på rørveggen. Det norske drikkevannet inneholder lite kalsium, og er derfor for bløtt til at et beskyttende belegg kan dannes i vesentlig omfang. Videre er ofte karbonatinnholdet lavt. Derved dannes heller ikke andre karbonater.

Ved utvendig korrosjon er i tillegg til luftningscelle- og galvanisk korrosjon også biologisk drevet korrosjon viktig. Mikroorganismer produserer korrosive, kjemiske forbindelser, eller bidrar aktivt til korrosjonsprosessen selv ved oksydasjon av jern og reduksjon av for eksempel sulfater i omfyllingsmasser. Et viktig forhold som øker faren for galvanisk korrosjon, er kobling mellom støpejernsledninger som offentlige hovedledninger og kobberledninger som private stikkledninger.

Den utvendige korrosjonen bestemmes av forhold i grunnen rundt ledningen. Dersom grunnvannstanden er høy eller grunnen består av finfordelte jordmasser som leire og torv som holder godt på vannet, og dersom vannet i tillegg inneholder salter, så øker faren for galvanisk korrosjon. Mikroorganismer som sulfatreducerende bakterier trives godt i et oksygenfritt miljø med god tilgang på organisk stoff. Jordsmonn av marin leire samt tilsig av organiske forbindelser fra landbruket er eksempel på et miljø som er spesielt aggressivt for vannledningsnettet.

Dersom ledningen ligger i tidevannssonen eller dersom den går gjennom områder med ulike jordarter, kan utvendig luftningscellekorrosjon oppstå på grunn av ulik tilgang på oksygen.

Ledninger som ligger i godt drenert sand/grus er som regel lite utsatt for korrosjon. Under slike forhold vil som regel sink pluss bitumen gi tilstrekkelig beskyttelse.

3.3 Måling av tilstand for stål og støpejernsledninger

Dersom tilstanden og sannsynligheten for brudd og gjennomtæring for en vannledning er kjent, vil det være mulig å forebygge ulemper ved skader og minimalisere utgiftene til vedlikehold og fornyelse av ledningsnettet. Slike vurderinger forutsetter innsamling av data og opplysninger som er relevante for tilstand og fremtidig tilstandsutvikling. Dette gjelder egenskaper ved ledningen som alder, diameter, materiale, utvendige grunnforhold, utvendig mekanisk belastning samt vannkvalitet og vanntrykk på nettet. Data om slike egenskaper finnes i Gemini VA eller i manuelle arkiver (se avsnitt 1.1.1).

I tillegg kommer data som beskriver nedbrytningen av selve ledningen, som ødelagt korrosjonsbeskyttelse, skadetype (langsgående eller tverrgående brudd, korrosjonshull) farge på korrosjonsprodukter, forekomst av rustknofler, korrosjonsgroper, bruddflater osv. Slike data samles inn ved hjelp av spesielle skjema som kan legges inn i rapporter i Gemini VA. Det er nå under utarbeidelse en særskilt rapport i Gemini VA for registreringer av målt korrosjon og beregnet tid til brudd/ gjennomtæring.

Generelt kan tilstanden bedømmes ut i fra skadebeskrivelse eller målingen av korrosjonsgroper. I dette tilfelle kan tilstanden til ledningene klassifiseres i fem grupper:

Tilstand 1	Meget god	Ingen synlig korrosjon
Tilstand 2	God	Korrosjonsdyp mindre enn 2 mm for hele flaten
Tilstand 3	Dårlig	Korrosjonsdyp større enn 2 mm og mindre enn angitt grense i tabell 3
Tilstand 4	Meget dårlig	Største korrosjonshull større enn angitt i tabell 3.1
Tilstand 5	Ubrukelig	Rørveggen er gjennomtæret på større deler

Tabell 3.1. Grenseverdi for tillatt korrosjon. Tallene angir korrosjonsdybde.

Nomineell diameter (mm)	Korrosjonsgrense Grått støpejern (mm)	Korrosjonsgrense Duktilt støpejern (mm)
100	3,6	2,5
150	4,0	2,8
200	4,4	3,1
250	4,8	3,4
300	5,2	3,7

Sammenhengen mellom tilstand og tiltak er følgende:

- Meget god og god: Friskmeldes
- Dårlig: Risikoanalyse gjennomføres og nødvendig tiltak foreslås
- Meget dårlig: Fornyas i løpet av få år
- Ubrukelig: Reparerer og fornyes i løpet av kort tid

3.4 Beregning av tid til brudd/gjennomtæring

Brudd og tæringshull på vannledninger av støpejern skyldes ofte en kombinasjon av korrosjon og ytre og indre belastningsforhold. Korrosjon er en kontinuerlig prosess som fører til en stadig svekkelse av rørets evne til å ta opp ytre eller indre belastninger. Når rørets veggtykkelse avtar på grunn av korrosjon, øker spenningen i veggen, inntil den overstiger bruddspenningen.

Dersom korrosjonstilstanden for et rør måles etter et antall år i drift, kan den fremtidige reduksjon i veggtykkelse på grunn av korrosjonen beregnes, se figur 3.2.

Korrosjon på stål og støpejernsrør kan uttrykkes ved følgende formel:

$$D = K (T)^n \quad (1)$$

der:

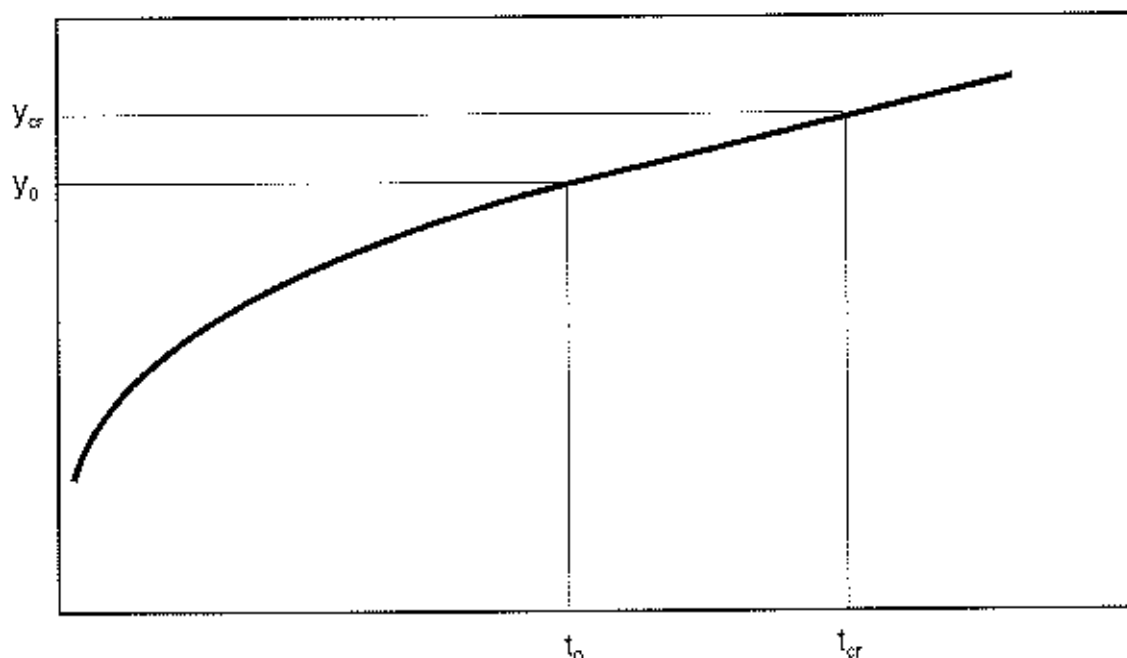
D= korrosjonsdybde,

T = ledningens alder,

K = Korrosjonshastighetsparameter

n = parameter som viser hvordan korrosjonen utvikler seg med tiden

Når korrosjonsdybden og ledningens alder er kjent, kan korrosjonshastigheten for den enkelte ledningen beregnes. Når denne er kjent, kan videre korrosjon beregnes som funksjon av ledningens alder (figur 3.2). Dersom opprinnelig veggtykkelse og mekanisk last er kjent, kan tiden til brudd eller gjennomtæring beregnes.



Figur 3.2. Korrosjonsforløp og prinsipp for bestemmelse av korrosjonshastighet. y_0 er målt korrosjon etter tid t_0 . y_{cr} er kritisk korrosjonsdybde for brudd eller gjennomtæring, og t_{cr} den korresponderende tid.

SINTEF har i samarbeid med NTNU laget en beregningsmodell der forventet tid til brudd beregnes på grunnlag av målt korrosjonsdybde og beregnede belastninger (Sægrov og Fiksdal 1997). Framgangsmåten ved bruk av denne metoden er som følger:

1. Rørprøver tas ut fra den ledningen eller det nettet som skal undersøkes. Prøvene bør være representativ for grunnforhold, leggear, vannkvalitet og vannhastighet i nettet. Om mulig tas tilfeldige prøver ut, men prøver som kan tas i forbindelse med reparasjon eller annet arbeid på nettet vil også gi mye informasjon.
2. Ved mottak på laboratoriet kontrollmåles prøvene for utvendig diameter og gjenværende maksimum og minimum veggtykkelse.
3. Hver ledning kappes opp i ringer med 50 mm byggelengde og sandblåses. Dybden til de største korrosjonsgropene inn- og utvendig for hver prøve måles. Som vist ovenfor kan rørtilstanden finnes direkte på grunnlag av målingene.
4. Tid til brudd for rør av grått støpejern og til gjennomtæring for rør av duktilt støpejern beregnes ved hjelp av en regnearkmodell.

Følgende kriterier brukes for klassifisering av tilstand:

Tilstand 1 - Meget god	50 % sannsynlighet for at tid til skade er større enn 100 år
Tilstand 2 - God	50 % sannsynlighet for at tid til skade er større enn 30 år
Tilstand 3 - Dårlig	50 % sannsynlighet for at tid til skade er mellom 10 og 30 år
Tilstand 4 - Meget dårlig	50 % sannsynlighet for at tid til skade er mindre enn 10 år
Tilstand 5 - Ubrukelig	Rørveggen er gjennomtært flere steder på den undersøkte rørlengden

Når beregningsmodellen brukes, er sammenhengen mellom tilstand og tiltak den samme som ved måling av korrosjonsdybde for rørene i felt (avsnitt 3.3).

Denne metoden er anvendt i flere kommuner, og har gitt grunnlag for prioritering av fornyelses-tiltak.

3.5 Analyser av korrosjonsprodukter innvendig i vannledninger

Korrosjonsprodukter innvendig i vannledninger fra Oslo og Bærum er undersøkt ved hjelp av våtkjemiske analyser og ved studier i elektronmikroskop (Drugli og Steinsmo 1994). Vannet i de aktuelle rørledningene er meget bløtt og svakt surt. Materialet i rørledningene er grått støpejern og brukstiden varierer fra 37 til 85 år.

I støpejern er omkring 20% av volumet kullstoff. I grått støpejern er kullstoffet bundet sammen i et forholdsvis sterkt gitter av grafittlameller. I seigt støpejern finnes kullstoffet som grafittkuler, og grafittgitteret har liten fasthet.

Undersøkelsen viser at de dypeste korrosjonsangrepene finnes under rustknoller og har form av grafittisering av støpejernet. Grafittisering oppstår når jern trekkes ut av rørveggen ved korrosjonen. Bare grafitt med liten styrke gjenstår. For seigt støpejern er styrken av grafitten uten betydning. Rustknollene har en diameter som varierer fra 10 mm til 30 mm og med en høyde som varierer fra 8 mm til 15 mm. Knollene er ofte konsentrert langs bunn av røret, men kan også opptre andre steder.

Mellom rustknollene er det stort sett et løstsittende belegg av korrosjonsprodukter og organisk materiale, og under dette belegget er det funnet et tynt sjikt av grafittisert støpejern som varierer i tykkelse fra 20 til 60 μm . Dette belegget virker sannsynligvis som et passivt sjikt som dermed begrenser korrosjon.

Det er funnet belegg av kalsiumkarbonat på katodiske områder i røret. Kalsiumkarbonat kan felles ut og ha en viss begrensende effekt på korrosjonshastigheten også i vann med lavt kalsiuminnhold.

Rustknollene består i hovedsak av vann, jernforbindelser og organisk materiale.

3.6 Innvendig korrosjonsbeskyttelse med sementmørtelbelegg

Siden 1980 har det vært vanlig å beskytte duktile støpejernsrør med innvendig sementmørtelforing, fra 1990 også rørdeler. Noen kommuner har dette allerede fra 1970. Slike foringer angripes av surt og bløtt vann, og bestandigheten vil avhenge av hvilken sementtype og hvilken metode for påføringen av mørtelen som er brukt i foringen.

3.6.1 Sementtyper

Sementmørtelforinger med Standard Portlandsement har vært mest brukt i Norge. Portlandsement inneholder særlig mye kalsiumhydroksid, som er den bestanddelen som først vaskes ut ved surt og bløtt vann. Innholdet av hydroksid gir et basisk miljø som hindrer korrosjon av støpejernsrøret.

For å øke bestandigheten når ledningen fører aggressivt vann, er foringer med slaggsement, flygeaskesement og aluminatsement brukt ved enkelte vannverk. I slaggsementen er en del av sementen erstattet med nedmalt slagg fra metallurgisk industri, og i flygeaskesementen med aske fra kullfyrte kraftverk. Slaggsement og flygeaskesement gir en tettere foring med mindre andel løselig kalsiumhydroksid, og dermed en bedret bestandighet.

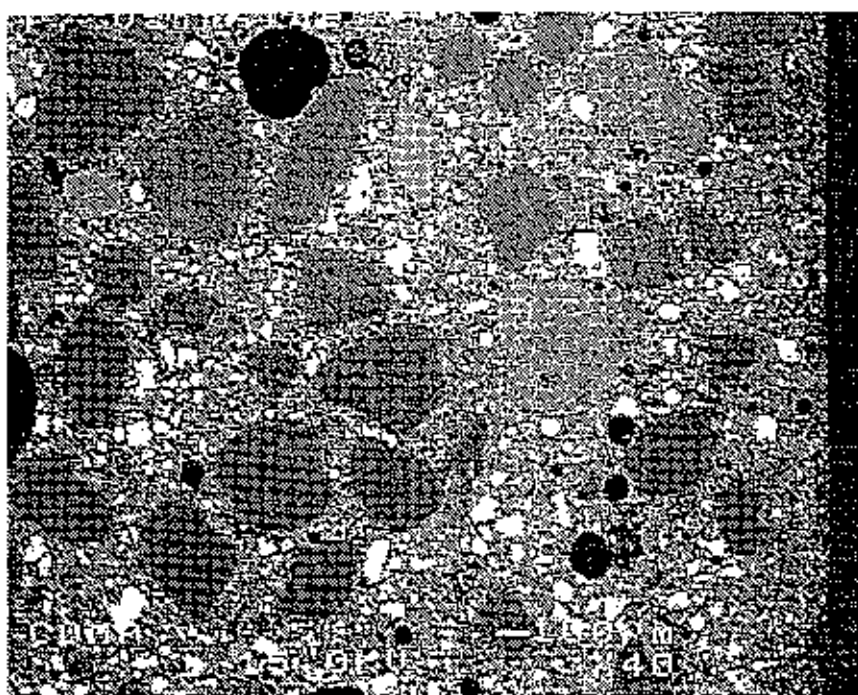
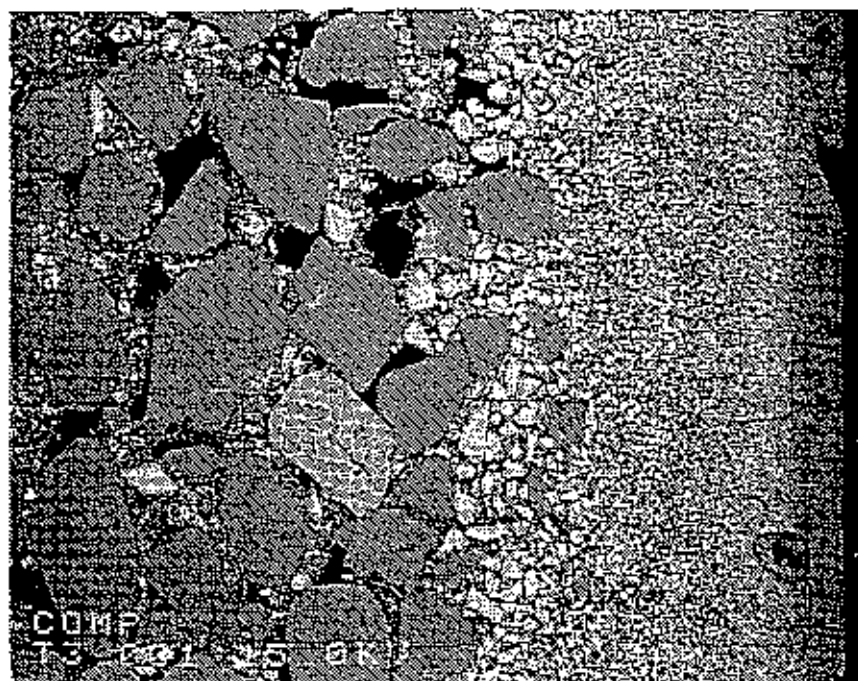
Hovedelementene i aluminatsement er aluminium- og kalsiumoksid. Denne sementtypen peker seg ut ved god bestandighet i surt miljø. I likhet med slaggsement og flygeaskesement gir aluminatsement en tett foring med redusert mengde kalsiumhydroksid. Ved korrosjon vil imidlertid aluminium kunne frigjøres i drikkevannet (Meland 1994).

3.6.2 Påføringsmetoder

De fleste produsenter påfører mørtelforingen ved hjelp av en stillestående dyse mens røret roterer og vibrerer (metode 1). Vibrasjonen og sentrifugeringen bedrer komprimeringen av foringen, og rotasjon sørger for en jevn påføring. Ved denne metoden oppstår en sjiktning i materialet, på grunn av sentrifugalkraften. Den tyngste komponenten legger seg lengst ut nærmest røret. Denne delen av foringen blir sandrik og porøs. Den innerste delen mot vannsiden, som består av et sement- og finstoffrikt sjikt, og blir tilsvarende tett.

En alternativ påføringsmetode (metode 2) er en roterende dyse som sprøyter mørtelen på et stillestående rør. Dette gir en jevn struktur på foringen, uten noen sjiktning. Ulempen med denne metoden er en noe ru overflate, slik at etterbehandling kan bli nødvendig.

Figur 3.3 viser foringens struktur ved hver av de to påføringsmetodene.



Figur 3.3 Mørtelforingens struktur ved ulik påføring (Meland 1994). Den mørke flaten til høyre er vannsiden.
 a) Påføring med roterende og vibrerende rør (metode 1)
 b) Påføring med roterende dyse (metode 2).

3.6.3 Resultater fra undersøkelser

3.6.3.1 Undersøkelser av rør som har vært i drift

Føringer fra i alt 15 brukte rør lagt i perioden 1970 - 1985, og 5 nye rør fra i alt 9 kommuner er undersøkt i laboratorium. Undersøkelsen har omfattet kartlegging av sementtype, måling av porøsitet og analyse av nedbrytning ved hjelp av studier i elektronmikroskop (Meland 1994).

Analysen av brukte rør viser at alle er produsert med Portlandsement eller slaggsement, og at mørtelforingen er påført etter metode 1 med roterende og vibrerende rør. Det vil si at foringene har et tett, pastarikt sjikt inn mot vannsiden og et porøst, sandrikt sjikt ut mot rørvæggen. I alle de undersøkte rørene har det foregått en nedbrytning i sjiktet nær vannsiden. I 12 av rørene var basekapasiteten i mørtelforingen fremdeles tilstrekkelig til å beskytte røret mot korrosjon. I de 3 øvrige rørene var nedbrytningen kommet så langt at røret ikke lenger hadde en vesentlig korrosjonsbeskyttelse.

Det er ikke funnet noen klare relasjoner mellom nedbrytningsgrad og brukstid, men undersøkelsen indikerer at de eldste mørtelforingene ved den vannkvalitet som er vanlig i dag, kun vil ha en levetid på noen få tiår. Deretter vil duktile ledninger være ubeskyttet mot korrosjon og må eventuelt rehabiliteres.

3.6.3.2 Aksellert undersøkelse av nye rør

Nedbrytning av mørtelføringer i fem nye rør, produsert henholdsvis med Portlandsement, slaggsement, flygaskesement og aluminatsement ble eksponert mot miljøer med ulik korrosivitet.

Mørtelforingen i 3 stk av rørene er påført etter metode 1, sentrifugering, dvs at foringen har et pastarikt sjikt mot vannsiden og et mer sandrikt og porøst sjikt inn mot støpejernsrøret. I 2 av rørene er foringen påført etter metode 2, roterende dyse, dvs at mørtelforingen har en jevn struktur og materialsammensetning gjennom hele tverrsnittet.

Innledende undersøkelser viste at mørtelføringer basert på aluminatsement hadde best bestandighet i surt vann. Samtidig viste analyser av eksponeringsvæskene en større utlutning av elementer, bla aluminium, enn forventet fra denne mørteltypen, se avsnitt 5.1.1.

I et utvidet prosjekt ble derfor følgende undersøkelser gjennomført (Meland 1997 I):

- Undersøkelse av bestandigheten til rørprøver – aksellerert prøving (eksponeringsvæske: acetatbuffer, pH 4,6)
- Undersøke utlutning av uønskede- og helsefarlige elementer fra mørtelføringer i drikkevannsrør

Resultatene viser at utlutningen av kalsium fra mørtelføringer av slaggsement eller flygaskesement går hurtigere, men avtar etter kort tid sammenlignet med utlutning fra aluminatsementforing. Årsakene til forskjellene kan være ulike kjemiske sammensetninger og ulike påføringsmetoder (roterende rør eller roterende dyse). En foring basert på aluminatsement er imidlertid mer syrebestandig og vil ha lenger funksjonstid (levetid) i surt miljø enn en mørtelforing basert på de andre sement-typerne.

Samlet mengde utlutet kalsium og aluminium i mg/cm^2 mørteloverflate vil være mindre fra mørtelforinger basert på slaggsement enn fra foringer basert på aluminat- eller flygeaskesement. Dette betyr at en slaggsement-foring på sikt vil bidra til mindre innhold av kalsium og aluminium i drikkevannet.

Utlutning av tungmetaller fra de tre mørteltypene er neglisjerbare.

3.6.3.3 Gjengroing av sprekker

To prøver av aluminatsementforing ble skåret fra rørprøver med utstrakt riss/sprekkemønster. Prøvene ble eksponert i rennende vann i 14 måneder. Vannkvaliteten kan karakteriseres ved $\text{pH} = 7,3$, alkalitet = $0,3 \text{ mmol/l}$ og kalsium = $5,4 \text{ mg/l}$. Etter avsluttet eksponering ble det tatt ut mørtelprøver ($20 \times 10 \text{ mm}$) i rissområder. Disse prøvene ble impregneret med epoksy, polerslipt og undersøkt med hensyn på gjengroing og selvtetting av rissene (Meland 1997 II).

Det ble ikke funnet noe tegn på gjengroing av rissene. Et mer omfattende og definert opplegg ved Pont -A- Mousson (Frankrike) i vann med $\text{pH} = 7,2$, alkalitet $0,4 \text{ mmol/l}$ og kalsiuminnhold $\text{Ca} = 18 \text{ mg/l}$, viser at sprekker med vidde $0,25$ og $0,40$ er nesten selvtettet, mens de med vidde over $0,8 \text{ mm}$ ikke er selvtettet (Soukatchoff 1997).

Det må antas at rissenes sprekkevidde har betydning for rørenes funksjonstid hvis de går inn til den porøse delen av mørtelforingen (metode 1, sentrifugering).

4. BESTANDIGHET FOR BETONGLEDNINGER

4.1 Materialtyper og skadeårsaker

Betongtrykkledninger har de siste 50 år vært benyttet til vannledninger med store dimensjoner. I Norge finnes ca 200 km hovedledninger for vannforsyning av betong, fordelt på tre produkter: Bonna-, Premo- og Sentab-rør. Disse rørene har forskjellig oppbygging og produksjonsteknologi, og derfor forskjellige egenskaper.

Bonna-rør har en stålmantel som kjerne og en inner- og ytterkappe av betong. Bonna-rør er forholdsvis lite utbredt, men driftserfaringene er gode. Det er ikke gjennomført noen systematisk skadeundersøkelse for Bonna-rør.

Premo-rør er bygget opp av et innvendig rør med en langsgående forspent armering. Utenpå røret er det påspunnet en forspent ring-armering. Til slutt er det en utvendig betongkappe av sprøytebetong. De viktigste skadeårsakene for Premorør er knyttet til korrosjon på ringarmeringen, og skadene oppstår med økende hyppighet etter lengre tids bruk.

Sentab-rør produseres med forspent langsgående armering og ringarmering. Selve støpeoperasjonen skjer i en omgang. For Sentab-rør har skadene først og fremst skyldtes feil ved anleggsutførelsen, og har oppstått de første årene etter at anlegget er satt i drift.

Også for avløpsledninger har betong først og fremst en fordel ved større dimensjoner, men materialet nyttes også for de minste ledningene. I dag er omtrent 22.000 km eller 2/3 av det samlede spillvanns- og overvannsnett i Norge betongledninger. Skader på betongledninger skyldes langsgående og tverrgående brudd på grunn av overbelastning som ofte skyldes at ledningene ligger på et ujevnt eller et for kompakt underlag. Dette er skader som i de fleste tilfeller oppstår i løpet av de første årene etter at ledningen er tatt i bruk.

Eldre betongledninger er i tillegg utsatt for kjemisk nedbrytning av aggressivt grunnvann, i enkelte tilfeller også av avløpsvann. Slike skader utvikler seg over lang tid og fører til en gradvis forringelse av ledningens styrke og vannføringskapasitet.

4.2 Undersøkelser av betongtrykkledninger

4.2.1 Premo-rør

Premo-rør fra fem vannverk er undersøkt ved analyse av kjemisk sammensetning og måling av ultralyd gjennom rørgodset. Ultralydmålinger gir informasjon om porøsitet og eventuelle sprekker eller luftfylte hulrom i betongen, bla ved overgangene mellom det innvendige hovedrøret og den utvendige kappen av sprøytebetong.

Den kjemiske sammensetningen viser ingen feil i betongsammensetningen for fire av vannverkene, mens betongen fra det femte verkets ledning har et høyt innhold av magnesium. Ved reaksjon med vann danner noen magnesiumsalter voluminøse reaksjonsprodukter. Dette har ført til ødeleggelse av den ytre betongkappen på denne ledningen og korrosjonsangrep på ringarmeringen. Skadene er nå så omfattende at hele ledningen, en strekning på 30 km, må skiftes.

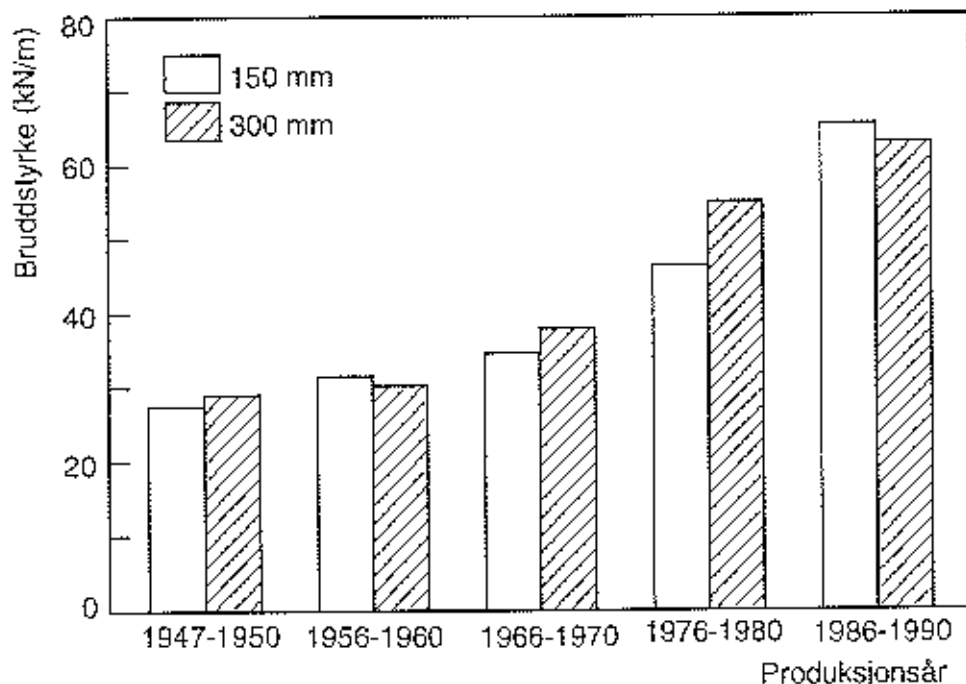
Ultralydmålingene viser en klar svekkelse av ledninger som har vært i funksjon sammenlignet med ubrukte ledninger.

4.3 Sentab-rør

Sentab-rør er undersøkt ved en erfaringsinnsamling fra Sverige og Norge og ved laboratorieundersøkelse av innsamlede rørprøver (Meland og Skjølsvold 1994, Sægrov, Johansen og Skjølsvold 1994). Laboratorieundersøkelsene har bla omfattet trykkfasthet, porøsitet og undersøkelse i elektronmikroskop. Undersøkelsen viser at det har oppstått svært få skader på Sentab-ledninger som er bygget i Sverige og Norge. Skadene skyldes tilfeldige hendelser, f.eks lynnedslag eller feil under anleggsutførelsen. Transport av betongaggressivt vann har ført til utvasking i overflaten og dermed noe øket ruhet, som imidlertid ikke har noen betydning for ledningens levetid. Laboratorieundersøkelsene konkluderer med at det ikke er indikasjoner på pågående eller fremtidig nedbrytning som skulle begrense ledningens levetid.

4.4 Undersøkelse av betongavløpsrør

En større undersøkelse av uarmerte avløpsrør omfattet rør fra 60 forskjellige ledninger i kommuner fordelt over alle landsdeler i Norge (Sægrov 1992). Denne undersøkelsen viser store variasjoner i rørenes materialtekniske beskaffenhet, men det har generelt vært en betydelig utvikling i retningen sterkere og mer bestandige rør. Det er svært få skader på rør lagt etter midten av 1970-tallet, mens rør fra perioden 1945 - 1970 er utsatt for skader pga styrkemessig underdimensjonering og uheldig praksis ved utførelse av ledningsanlegg. Dette er illustrert på figur 4.1, som viser utviklingen i bruddstyrke i rør produsert fra 1947 til 1990.



Figur 4.1. Utvikling i bruddstyrke for avløpsrør, perioden 1947 - 1990 (Sægrov 1992).

5. FORLENGELSE AV LEVETIDEN FOR VANNLEDNINGER

5.1 Vannkvalitetsjustering

Som vist ovenfor har vannkvaliteten stor betydning for nedbrytning av støpejern- og sementbaserte rør og -foringer. Dersom vannets alkalitet, kalsiuminnhold og pH-verdi øker, dannes et belegg av kalsiumkarbonat på rørveggen som reduserer korrosjonen i støpejernsrør og utlutingen i sementbaserte rør og -foringer. Også andre vannkvaliteter kan redusere korrosjonen i støpejern. Økning av pH vil også redusere korrosjonen i kobberør.

Justering av vannkvalitet er derfor meget viktig tiltak for å forlenge rørenes levetid.

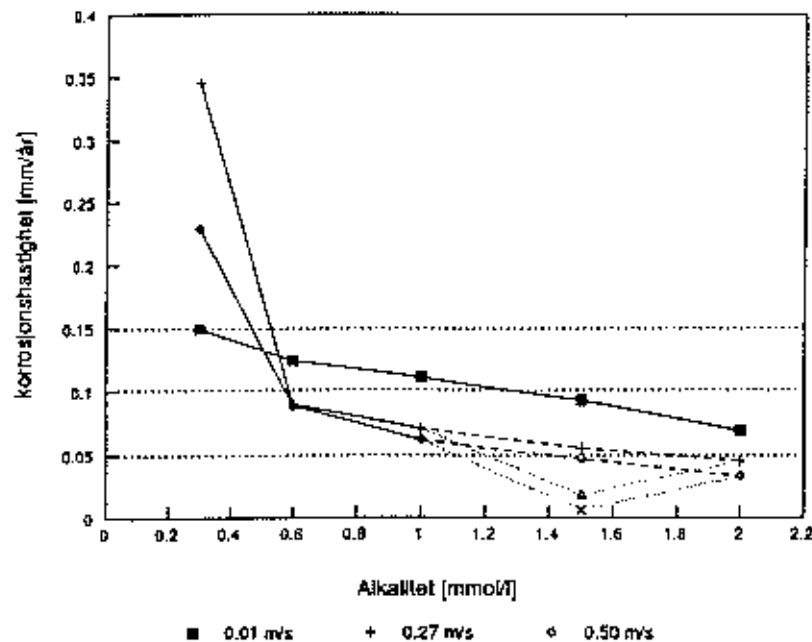
5.1.1 Effekt av vannkvalitetsjustering på støpejernsledninger

For å få mer kunnskaper om hvilke vannkvaliteter som skal tilstrebes, er det gjennomført laboratorieforsøk av korrosjonshastighet på støpejernsledninger ved forskjellige vannkvaliteter og vannhastigheter (Fiksdal og Blekkan 1993, Fiksdal og Klokkehaug 1994).

To ledningssløyfer inneholdt råvann, og de ni andre ulike former for behandlet vann. Korrosjonshastigheten ble målt over en periode på 4 måneder. Resultatet viser at økning av Ca-innholdet fra 7 til 20 mg/l, alkalitet fra 0.3 til 0.6 mmol/l samt pH fra 7.4 til 8.2, reduserte gjennomsnittlig korrosjonshastighet ved ulike vannhastigheter med henholdsvis ca 20% (0.01 m/s), 75% (0.27 m/s) og 60% (0.50 m/s). Ved hver ytterligere økning av alkaliteten med 0.5 mmol/l, ble korrosjonshastigheten redusert med 5 - 15 %. Sammenhengen mellom korrosjonshastighet og alkalitet er vist på figur 5.1.

For behandlet vann avtok gjennomsnittlig korrosjonshastighet generelt med økende vannhastighet. Dette skyldes at kontakten mellom rørveggen og stoffer som danner belegg øker når vannhastigheten øker. I behandlet vann ble belegget tynnere og tettere når vannhastigheten økte. På den annen side økte korrosjonshastigheten i ubehandlet vann når vannhastigheten økte fra svært liten til moderat høy. Dette skyldes raskere transport av oksygen til røroverflaten.

Undersøkelsene viser også at korrosjonshastighetene øker med økende temperatur. Denne effekten har større betydning for råvann enn for behandlet vann.



Figur 5.1. Sammenheng mellom korrosjonshastighet og alkalitet (Fiksdal og Klokkehaug 1994).

5.1.2 Effekt av vannkvalitetsjustering på betongledninger og mørtelforinger

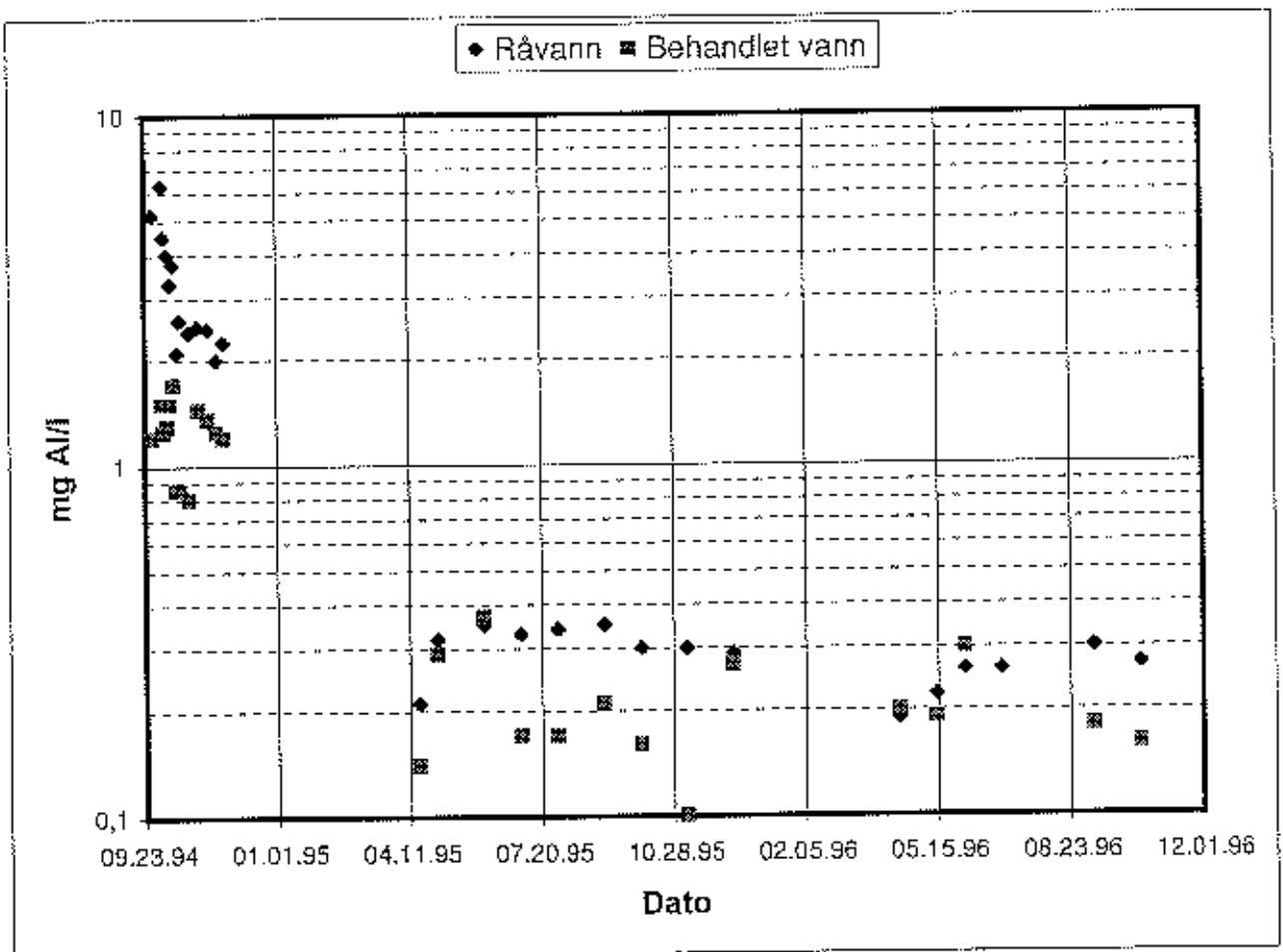
5.1.2.1 Langtidsmålinger i forsøksrigg ved Steinan, Trondheim

For en analyse av sammenhengen mellom vannkvalitet, vannhastighet og mørtelforing er det utført forsøk ved et oppbygd forsøksanlegg på Steinan i Trondheim. Forsøkene har pågått over to år. Økningen av kalsium og aluminium i vannet målt som funksjon av eksponeringstid og tid anlegget har vært i drift. Det er videre tatt ut prøver av mørtelforingen. Denne er analysert med elektronmikroskop for å få et bilde av nedbrytningen. I første fase av forsøkene ble det benyttet to vannkvaliteter, se tabell 5.1.

Tabell 5.1. Benyttede vannkvaliteter ved langtidsforsøk.

Parameter	"Ubehandlet" vann	"Behandlet" vann
pH	7.0	8.0
Alkalitet (mmol/l)	0.26	1.0
Kalsium (mg/l)	7	20

Resultatene viser en betydelig utlutning av kalsium og aluminium, særlig de første månedene. Anlegget tilsvarer en oppholdstid på 50 timer, og viser en økning i aluminiumsinnholdet som overstiger kravet i vannkvalitetsforskriftene. Utlutningen er størst for det ubehandlede vannet, men også ved behandlet vann er utlutningen betydelig. Resultatene er illustrert på figur 5.2.



Figur 5.2. Utløsting av aluminium og kalsium ved langtidsforsøk.

Undersøkelsen av uttatte prøver i elektronmikroskop viser at det allerede ved starten av forsøkene var langsgående sprekker i mørtelen. Disse kan ha øket vanngjennomgang og utlekkingen fra mørtelen. Sprekkene antas å ha sammenheng med den spesielle herdingen av aluminatsement.

5.1.2.2 Korttidsforsøk med ulike vannkvaliteter

Forsøkene ble supplert med korttidsforsøk (kinetikkundersøkelser) der to nye vannkvaliteter i tillegg ble inkludert, og også flere vannhastigheter. Resultatene ble brukt til å lage en modell for utlekking av aluminium og kalsium som funksjon av oppholdstid for forskjellige vannkvaliteter og vannhastigheter. Modellberegningene viser at aluminatsementforinger gir lavere utlekking for surt og bløtt vann. Imidlertid vil et slikt miljø meget raskt løse opp så mye kalsium også i aluminatforinger, at pH vil stige til 8 – 9. Dette fører til en øket løselighet for aluminium, og derved i neste omgang en øket utlekking av aluminium. Dette begrenser aluminatforingenes fordel i større ledningsnett, selv om råvannet har en sur og bløt kvalitet. Aluminatforinger vil imidlertid være egnet til overføringsledninger der oppholdstiden er mindre enn ca. 1 – 2 timer. I slike tilfeller vil ikke pH stige så mye at aluminiumsutlekkingen øker vesentlig.

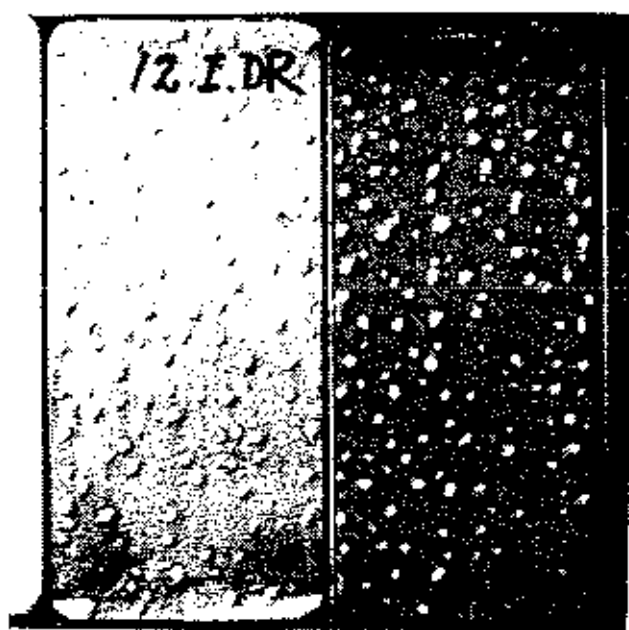
5.2 Innvendig beskyttelse med organisk belegg

5.2.1 Egenskaper ved epoksybelegg

Vannledninger uten korrosjonsbeskyttelse, eller dersom eksisterende beskyttelse ikke lenger fungerer, kan rehabiliteres ved påføring av et tynt epoksy belegg. Beleggets tykkelse bør teoretisk være over 0,3 mm. I praksis bør imidlertid en større tykkelse brukes, for eksempel 1 mm, siden det er vanskelig å oppnå en jevn tykkelse (Eggen og Steinsmo 1994). Metoden kan anvendes både på stål- og støpejernsledninger og på sementbaserte ledninger. Denne metoden er benyttet i begrenset utstrekning i Norge, men det finnes erfaringer fra beskyttelse av stålledninger ved en del norske kraftverk, der erfaringer med ulike typer organiske belegg er nøye kartlagt.

Organiske belegg inneholder en del stoffer som kan gi helse- eller bruksmessige ulemper. For at helsemyndighetene skal godkjenne et belegg, stilles derfor krav om at utlekking av organiske stoffer, lukt og smak-stoffer eller giftige stoffer ikke skal forekomme. Dette må dokumenteres av leverandør. Epoksy er en to-komponentplast (epoksy-harpiks og herder). For å unngå utlekking av en av komponentene fra belegget, må mengden av komponentene males opp nøye slik at alt materialet herder.

Organiske belegg brytes ned ved at det dannes blærer mot rørveggen, og disse virker som start-punkter for korrosjon. Gode organiske belegg må ha lavt vannopptak og lav vanndiffusivitet. Vanlig epoksy er blant de organiske materialene som gir best beskyttelse mot blæring i ferskvann. Kvaliteten på epoksybelegg er variabel. Ulike produkttyper bør derfor testes for bestandighet. Testene bør foregå i destillert vann. Det finnes ingen praksis for dette i dag, og de belegg som er på markedet er ikke testet for relevante vannmiljøer. Det er imidlertid etablert internasjonale standarder som kan brukes som et utgangspunkt for testing av belegg for vannledninger.



Figur 5.3. Eksempel på blæring i ferskvann (Eggen og Steinsmo 1994).

Rengjøring av overflaten som skal belegges er meget viktig for holdbarheten til belegget. Urenheter på overflaten fører til dårlig heftfasthet for belegg, til saltkonsentrasjoner som øker tendensen til blæring og til underkorrosjon. Stor ruhet fører til ujevn beleggdannelse og muligheter for nedslitning over topper i ruhetsprofilen. Dersom det er mulig, bør røroverflaten sandblåses før påføring av belegg. Dersom dette ikke er mulig, bør røret skrapes, høytrykksspyles eller renses med rensepluggen.

Organiske belegg kan forventes å ha en levetid minst 20 år dersom beleggetykkelsen er 1 mm og overflaten er godt rengjort og tørket.

5.2.2 Undersøkelse av vannledningsrør rehabilitert med epoksy

Et DN150 støpejernsrør, 200 mm langt, innvendig belagt med epoksy, er undersøkt med hensyn til egenskapene til det innvendige belegget (Eggen 1996).

Målt ved vanlige kriterier for renhet av overflater før belegging (ISO 8501) var forbehandlingen ikke tilfredsstillende, idet det før belegging var et sjikt av korrosjonsprodukter og gammelt belegg som ikke var fjernet. Dette belegget satt imidlertid relativt fast på overflaten og ga epoksybelegget god støtte på 90 % av overflaten.

På 10% av overflaten hadde belegget ikke heft til underlaget. Det var åpent rom mellom belegget og røret. Det antas at dette skyldes fuktighet på overflaten under belegging. Særlig i områder med mye grafittisering kan det være mye fuktighet innbakt i strukturen. Dersom spaltene ikke fylles med vann, kan trykkvariasjoner føre til at belegget høyes og beveges og sprekker opp, da belegget er meget sprøtt.

Beleggetykkelsen var meget jevnt over hele den undersøkte overflaten (1.1 ± 0.2 mm).

5.3 Rehabilitering med sementbaserte metoder

I Norge er to ulike sementbaserte metoder benyttet for rehabilitering av vannledninger. Det er

- In-situ sementmørtelforing
- Icoment

Det er utført laboratorieundersøkelser av tilsendte rørprøver belagt med sementbaserte metoder (Meland 1997 II).

5.3.1 Rehabilitering med sementmørtel

In-situ rehabilitering med mørtelforing er gjennomført ved påsprøyting av sementmørtel uten noen form for tilsetningsstoffer. Metoden er brukt én gang i Norge, nærmere bestemt i Bygdøyveien, Oslo i 1976-77. Det er tatt ut en prøve fra denne ledningen som er analysert i elektronmikroskop. Analysen viser at det er brukt en pozzolan, evt slaggsement. En prøve er for begrenset til å gi generelle konklusjoner, men den foreliggende prøven tyder på følgende:

1. In-situ påføring gir dårligere heftfasthet mellom mørtel og støpejern sammenlignet med originale (fabrikkpåførte) foringsmetoder.

2. Basekapasiteten er etter 20 år fremdeles tilstrekkelig for å hindre korrosjon av støpejernsrøret. Foringen er utlutet inntil 3 mm fra overflaten.
3. Sementmørtel basert på pozzolansement eller slaggsement synes å være et egnet materiale ved in-situ påføring av innvendig foring i støpejernsrør. Bortsett fra et avgrenset område i "toppsjiktet", har mørtelblandingen gitt god og forholdsvis jevn overdekning av støpejernet.

5.3.2 Påsprøyting med ICOMENT

En lateksmodifisert sementmørtel under handelsnavnet ICOMENT[®] er benyttet ved rehabilitering av vannledninger i en rekke norske kommuner. Prøver fra syv mørtelforinger er undersøkt. Denne viser at i alle rør som er påført ICOMENT, ligger store deler av mørtelen igjen i bunnen av røret. Gjennom rehabiliteringsarbeidet er det bare bunnseksjonen i støpejernsrøret som har blitt beskyttet mot videre korrosjon, mens korrosjonen har fortsatt i toppen og langs sidene. Dette tyder på kraftig sig i mørtelen, og indikerer at ICOMENT har en retarderende effekt på sementavbinding og herding.

Den retarderende effekten av ICOMENT er dokumentert. Undersøkelser av mikrostrukturen i mørtelforingene og laboratorieprøver viser at ICOMENT virker luftinnførende på mørtelen. Tilsetningsstoffet hindrer vanninntrengning, men er ikke stabil i vann over lengre tid.

Dette medfører at tilsetning av ICOMENT i mørtel for in-situ foring av støpejernsrør bør unngås inntil det er oppnådd bedre kontroll med utførelsen.

6. BESKYTTELSE MOT UTVENDIG KORROSJON

6.1 Generelt

Utførelsen av ledningsgrøften har avgjørende betydning for belastning på ledningen og utvendig korrosjon, og derved på ledningens funksjonsevne og levetid. Den ytre mekaniske belastningen på ledningen bestemmes av komprimering av grøftmassene under og ved siden av ledningene, og massenes korngradering. Et hardt eller ujevnt fundament eller dårlig komprimerte masser i side og over røret, kan medføre en stor belastningsøkning.

Grunnen eller omfyllingsmassene kan ha svært ulike korrosjonsegenskaper. Jordarter med god elektrisk ledningsevne, f.eks. marine leirer, er eksempler på grunnforhold som kan medføre korrosjon på ledningene. I slike tilfeller er det nødvendig å beskytte ledningene utvendig og ta spesielle hensyn ved valg av tilbakefyllingsmasser rundt ledningen. Det må også tas særlige forholdsregler ved transport og lagring av ledningsmateriell før utførelse.

Generelt kan det legges rør uten særlig stor korrosjonsfare dersom det brukes sand/grus som omfylling, og dersom omfyllingsmassen er godt drenert.

6.2 Vurdering av korrosjonsfare ved ledningsanlegg

Korrosjonsfaren i jordsmonn bestemmes av mange ulike forhold. For praktiske formål kan det derfor være hensiktsmessig å forenkle beskrivelsen til et begrenset antall hovedfaktorer, og illustrere disse på et kart. Slike "korrosjonskart" kan utarbeides på kommune- eller område-nivå, og bør knyttes sammen med kommunens almenne GIS-system (Bell 1994).

Ved utarbeidelse av korrosjonskart er det hensiktsmessig å dele jordartene i tre grupper:

Jordklasse I : Ikke aggressiv/svak aggressiv

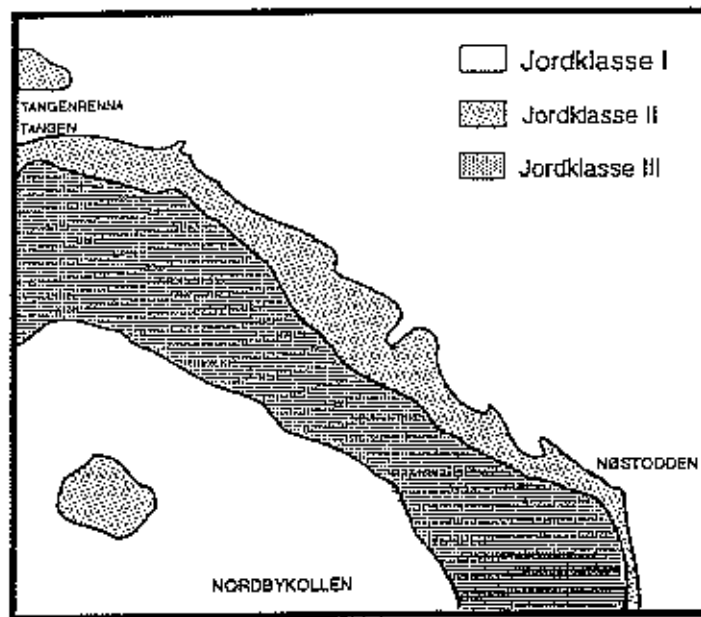
Jordklasse II : Aggressiv

Jordklasse III : Sterk aggressiv

Et eksempel på et korrosjonskart er vist på figur 6.1.

Jordklasse I vil typisk bestå av grunn med relativt tørr sand eller fjell over grunnvannsstanden. Jordklasse III bør anvendes dersom grunnen er forurensset med aske, slagg, kull, koks eller søppel/rivningsmaterialer, videre torv- myr-, mudder- og våtmarksjord med et innhold av organisk stoff høyere enn 5 prosent. Dessuten må tidevannssonen, marin leire og grenseområdet til grunnvannspeilet anses som aggressivt.

Dersom man ikke med sikkerhet kan plassere grunnforholdene i Jordklasse I eller III, betegnes de som jordklasse II. For denne jordklassen benyttes en utvendig korrosjonsbeskyttelse som for jordklasse III. Dersom man har indikasjoner på at grunnen ikke er spesielt korrosiv, kan det evt. gjennomføres særskilte feltundersøkelser for å kartlegge jordartens korrosivitet med det formål å kunne velge et billigere belegg. I denne sammenheng må det understrekes at rørkostnaden i Norge bare utgjør 10-20 % av de totale anleggskostnadene.



Figur 6.1. Eksempel på grunnforholdskart mhp korrosjonsfare (Bell 1994).

6.3 Utvendig korrosjonsbeskyttelse

Det er utviklet en rekke beleggtypen som skjerner stål- og støpejernsrør mot omgivelsene. Imidlertid har erfaring vist at skader på beleggene ofte oppstår ved lasting/lossing, transport, lagring og logging. Derfor gjelder i dag følgende regel:

"Enten må røret behandles forsiktig fra det transporteres fra fabrikk til grøfta er gjenfylt, eller så må belegget være så robust at det tåler den "slendrian" det blir utsatt for."

Tabell 1 gir en oversikt over aktuelle beleggtypen, -tykkelser og anbefalinger ved ulike grunnforhold.

Ved jordklasse I er det tilstrekkelig å velge standardbelegget sink + bitumen som beskyttelse.

Ved jordklasse III, evt også klasse II, må det benyttes et mer høyverdig utvendig belegg. Internasjonale undersøkelser i regi av organisasjonen CECOR konkluderer med at polyetylen, polypropylen og polyuretan er omtrent likeverdig mht mekanisk styrke. Ingen av metodene er imidlertid helt feilfrie, de utsettes for heftproblemer, transportskader og sliteskader ved gjenfylling med knuste masser. Fiberarmert sement eliminerer dette problemet.

Tabell 1. Metoder for utvendig beskyttelse av stål- og støpejernsrør (Bell 1994).

Belegg	Tykkelser	Anbefalt bruk avhengig av jordklasser
1. Bitumen - belegg	Minimum 0,05 mm, snitt 0,07 mm	Bør ikke brukes
2. Sink + bitumen	Sink $\geq 200 \text{ g/m}^2$ (0,029 mm) Bitumen som for punkt 1	Jordklasse I, evt også jordklasse II dersom dette er funnet forsvarlig For alle jordartsklasser, dersom sand/grus brukes som omfylling, med god drenering
3. Korrosjonsbeskyttende tape	Konferer leverandør da det finnes et bredt utvalg av produkter	Jordklasse III, men bare som tilleggsbeskyttelse over skjøter, vanskelig tilgjengelige punkter o.l
4. Polyetylen (PE)	min 2 mm	Jordklasse III Viktig å unngå skader ved legging
5. Polyetylen - folie	0,2 mm Belegg innenfor som for punkt 2	Anbefales ikke brukt for jordklasse III pga fare for transportskader og skader under legging
6. Polypropylen (PP)	1,8 - 2,5 mm	Jordklasse III. Anbefales ikke brukt på duktile støpejernsrør pga heftproblemer
7. Polyuretan	Minimum 0,9 mm	Jordklasse III Viktig å unngå skader ved legging
8 Epoksy	Normalt 0,25 mm	Benyttes innvendig/utvendig på rørdeler, samt på spissende og innvendig muffe på rør
9. Fiberarmert sementbelegg (i kombinasjon med sink og epoksy)	Minimum 5 mm	Jordklasse III
10. Katodisk beskyttelse		Vurderes spesielt

7. REFERANSER

- Bell, S, 1994: "Førløngt levetid av nedgravde stål- og støpejernsledninger utsatt for utvendig korrosjon. Rutiner for kvalitetssikring". Norsk Rørsenter AS.
- Burn, L S 1991: "Effect of Installation damage on the Lifetime of uPVC Pipes Subjected to Cyclic Pressure", Polymer Intern, 26/1991 pp 147-150.
- Christensen, T, 1994: "Tilstandsvurdering av brukte plastrør", STF24A94267.
- Christensen, T, 1995: "Beregning av restlevetid for PE-rør", STF24 F94338.
- Christensen, T, 1997: "Forventet levetid for plastrør" STF24 F97232.
- Drugli, J M, Steinsmo, U M, 1994: "Analyser av belegg/korrosjonsprodukter i vannledninger." STF24F94594, SINTEF Materialteknologi – Korrosjonssenteret.
- Eggen, T G, Steinsmo U M, 1994: "Rehabilitering av kommunale ledningsnett. Innvendig epoksybelegg." STF24F94601 SINTEF Materialteknologi – Korrosjonssenteret.
- Eggen T G, 1996: "Undersøkelse av tilsendt rør innvendig belagt med epoksy." SINTEF rapport STF24 F96261.
- Fiksdal, L, Blekkan, R, 1993: "Vannkvalitet og korrosjon på støpejern." B1-1993-3, Institutt for vassbygging NTH.
- Fiksdal, L, Klokkehaug, 1994: "Vannkvalitet og korrosjon på støpejern II." B1-1994-2, Institutt for vassbygging, NTH.
- Grieg J M: "Rapid Crack Propagation in Pressured Plastic Pipe" Engineering Fracture Mech, 4/1992, pp 663-673.
- Johansen, Ø, 1984: "Veiledning for VA-ledninger under vann" Prosjekt Transport av vann PTV 26, ISBN 82-90328-28-1.
- Lei, J 1997: "Statistical Approach for Describing Lifetimes of Water Mains – Case Trondheim Municipality" SINTEF rapport under publisering.
- Meland, I, Skjølsvold, O, 1994: "Bestandighet for vannledninger av betong (Sentab). Undersøkelse av Jærledningen, IVAR." STF60F94020, SINTEF NHL.
- Meland, I, 1994: "Mørtelforinger i støpejernsrør". STF60 A95019(Under publisering).
- Meland, I, 1971: "Aksellerert laboratorieundersøkelse av sementbaserte mørtelforinger i støpejernsrør" STF22 A97...
- Meland, I, 1997II: "Tilstandsundersøkelse av "ICOMENT-foringer" i støpejernsrør" STF22 A97812.
- Soukatchoff, P, 1997: "Results of Test on Self-healing of Crack in Cement Mortar Lining (personal communication).

Sægrov, S, 1992: "Tilstand og tilstandsendring for betongavløpsledninger." Dr.ing. avhandling 1992:21 NTH.

Sægrov, S, Johansen, K, Skjølsvold, O, 1994: "Bestandighet for vannledninger av betong (SENTAB). Belastningsforhold og nedbrytningsmekanismer." STF60F94055, SINTEF NHL.

Sægrov, S, Bjørgum, A, Christensen, T, Meland, I, Fiksdal, L, 1994: "Forfall ledningsnett - Fase 3.1." STF60A94060, SINTEF NHL.

Sægrov, S, Fiksdal, L, 1994: "Undersøkelse av tilstand og forventet tilstandsutvikling på vannledninger i Narvik" STF60 F94112, SINTEF NHL.

Sægrov, S, Selseth I og Hasselvold S, 1995: "Bearbeiding av statistikk for driftsforstyrrelser for vann- og avløpsledninger" STF60 A95035.

Sægrov, S, 1997: "Datainnsamling for tilstandsregistrering av vannledningsnett i stål og støpejern" (NORVAR rapport under arbeid).

Sægrov, S og Fiksdal L 1997: Modell for beregning av tid til brudd/gjennomtæring i støpejernsledninger.

Vatn J og Tveit O A, 1997: "Modellering av pålitelighet i drikkevannsforsyningen" STF 38 A96446.

Østerhus, S W, 1992: "Korrosjonskontroll - Trondheim kommune, Hovedrapport." STF60F92080 SINTEF NHL.

Østerhus, S W, 1994: "Analyse av korrosjonsprodukter og sementmørtelføring. Bodø kommune." STF60F94138, SINTEF NHL.

NORVAR-rapporter

- p>Rapport nr. 1: Aktuelle metoder for myk start/stopp av store motorer.
-
- p>Rapport nr. 2: Betongnedbrytning i kloakkbassenger.
-
- p>Rapport nr. 3: Register over industribedrifter tilknyttet offentlig avløpsnett. Forprosjekt for PC-basert registrerings- og rapporteringssystem.
-
- p>Rapport nr. 4: Bruk av PC i avløpsanlegg. Eksempel på system for registrering og bearbeidelse av driftsdata.
-
- p>Rapport nr. 5: Arbeidsmiljø i kloakkanlegg. Arbeid utført ved HIAS 1982–87.
-
- p>Rapport nr. 6: Organisasjons- og bemanningsplan for VAR-anlegg. Eksempel fra VAR-seiskapet HIAS.
-
- p>Rapport nr. 7: Datasentral og EDB på avløpsrenseanlegg. Forprosjekt.
-
- p>Rapport nr. 8: EDB i VA-sektoren. Samordnet innsats.
-
- p>Rapport nr. 9: NORVAR's årsberetning 1988.
-
- p>Rapport nr. 10: NORVAR's årsberetning 1989.
-
- p>Rapport nr. 11: Forfellings innflydelse på veksten i et biofilmanlegg. Forsøk i laboratorieskala ved VEAS.
-
- p>Rapport nr. 12: NORVAR's årsberetning 1990.
-
- p>Rapport nr. 13: Prosess-styresystemer for VAR-anlegg. Forslag til kravspesifikasjon ut fra VAR-bransjens behov.
-
- p>Rapport nr. 13A: Prosess-styresystemer for VAR-anlegg. Funksjonsblokker for avløpsanlegg.
-
- p>Rapport nr. 13B: Funksjonsbeskrivelser for avløpsrenseanlegg.
-
- p>Rapport nr. 13C: Funksjonsbeskrivelser for ledningsnett.
-
- p>Rapport nr. 14: Drift av anlegg i VAR-sektoren. Behov for kompetanse og opplæring. Anbefaling fra anleggseierne.
-
- p>Rapport nr. 15: Driftsovervåking av aktivert-karbonfilter
-
- p>Rapport nr. 16: EDB i VAR-teknikken. FOV – kravspesifikasjoner.
-
- p>Rapport nr. 17: EDB i VAR-teknikken. Driftskontrollanlegg for VA-transportssystemer. Innsamling og bearbeiding av data.
-
- p>Rapport nr. 18: EDB i VAR-teknikken. Sensorer og målestyr. Forprosjekt.
-
- p>Rapport nr. 19: EDB i VAR-teknikken. Økonomistyring i VAR-sektoren.
-
- p>Rapport nr. 20: Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg. Hovedrapport.
-
- p>Rapport nr. 20A: Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg. Aerob og anaerob behandling.
-
- p>Rapport nr. 20B: Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg. Kalking. Kompostering.
-
- p>Rapport nr. 20C: Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg. Slamavvanning.
-
- p>Rapport nr. 20D: Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg. Termisk behandling av kloakkslam.
-
- p>Rapport nr. 21: NORVAR's årsberetning 1991.
-
- p>Rapport nr. 22: EDB i VAR-teknikken. Fase 1 – kravspesifikasjoner m.m. Statusbeskrivelse og forslag til videre arbeid.
-
- p>Rapport nr. 23A: Internkontroll for VA-anlegg. Mal for internkontrollhåndbok for VA-anlegg.
-
- p>Rapport nr. 23B: Internkontroll for VA-anlegg. Internkontrollhåndbok for avløpsanlegg. Eksempel fra Fredrikstad og Omegn Avløpsanlegg.
-
- p>Rapport nr. 23C: Internkontroll for VA-anlegg. Internkontrollhåndbok for vannverk. Eksempel fra Vansjø vannverk.
-
- p>Rapport nr. 23D: Internkontroll for VA-anlegg. Aktivitetsstyrende håndbok for VA-anlegg.
-
- p>Rapport nr. 23E: Internkontroll for VA-anlegg. Helse, miljø og sikkerhet ved vannbehandlingsanlegg.
-
- p>Rapport nr. 23F: Internkontroll for VA-anlegg. Helse, miljø og sikkerhet ved avløpsrenseanlegg.
-
- p>Rapport nr. 23G: Internkontroll for VA-anlegg. Eksempel på driftsinstruks. Ottedalen kloakkrenseanlegg.
-
- p>Rapport nr. 23H: Internkontroll for VA-anlegg. Eksempel på driftsinstruks. Smøla vannverk.
-
- p>Rapport nr. 23I: Internkontroll for VA-anlegg. Internkontroll for VA-transportsystemet. Eksempel på aktivitetsstyrende håndbok for avløpsvirksomheten, Nedre Eiker kommune.
-
- p>Rapport nr. 24: NRV-prosjekt. Korrosjonskontroll ved vannbehandling med mikronisert marmor.
-
- p>Rapport nr. 25: NORVAR's Slamgruppe. Mal for prosessoppfølging av anlegg for stabilisering og hygienisering av slam.
-
- p>Rapport nr. 26: NORVAR's Slamgruppe. Installering av gassmotor for strømproduksjon ved avløpsrenseanlegg.
-
- p>Rapport nr. 27: NORVAR's Slamgruppe. Mottak og behandling av avvarmet råslam ved renseanlegg som hygieniserer og stabiliserer slam i væskeform.
-
- p>Rapport nr. 28: NORVAR's Slamgruppe. Slam på grøntarealer. Erfaringer fra et demonstrasjonsprosjekt.
-
- p>Rapport nr. 29: Rapport fra SFT-prosjekt. Regnvannsoverløp.
-
- p>Rapport nr. 30: Utvikling og utfesting av datasystem for informasjonsflyt i VA-sektoren. Erfaringer fra et pilotprosjekt.
-
- p>Rapport nr. 31: PRO-VA, Brukerklubb for prosess-styresystemer, drift- og fjernkontroll for VA-anlegg. Oversikt pr. 1993. Leverandører – produkter – konsumenter. Referanseanlegg, litteratur, terminologi.
-
- p>Rapport nr. 32: Bruk av statistiske metoder (kjemometri) til å finne sammenhenger i analyseresultater for avløpsvann.
-
- p>Rapport nr. 33: Rapport fra SFT-prosjekt. Evaluering av enkle rensemetoder. Slamavskillere.
-
- p>Rapport nr. 34: Rapport fra SFT-prosjekt. Evaluering av enkle rensemetoder. Slur/finrister.
-
- p>Rapport nr. 35: Kravspesifikasjon og kontrollprogram for VA-kjemikalier.
-
- p>Rapport nr. 36: NORVAR's faggruppe for vannforsyning. Filter som hygienisk barriere.
-
- p>Rapport nr. 37: NORVAR's faggruppe for vannforsyning. EU/EØS, konsekvenser for Norges vannforsyning.
-
- p>Rapport nr. 38: NORVAR-prosjekter 1992/93.
-
- p>Rapport nr. 39: Implementering av EDB-basert vedlikeholdssystem. Erfaringer fra et referanseprosjekt knyttet til pilot-prosjekt ved Bekkelaget Renseanlegg. Sjekk-/momentliste for bruk ved implementering av EDB-basert vedlikehold.
-
- p>Rapport nr. 40: Driftsassistanter for avløp. Utredning om rolle og funksjon fremover.
-
- p>Rapport nr. 41: PRO-VA, Brukerklubb for prosess-styresystemer, drift- og fjernkontroll for VA-anlegg. METRI-TEL. Kommunikationsmedium for VA-installasjoner. Erfaringer fra prøveprosjekt i Sandefjord kommune.
-
- p>Rapport nr. 42: Industriavløp til kommunalt nett. Evaluering av utførte industrikartleggingsprosjekter.
-
- p>Rapport nr. 43: NORVAR's faggruppe for vannforsyning. Korrosjonskontroll ved Hamar vannverk. Resultat fra fullskalaforforsk.
-
- p>Rapport nr. 44: Slam på grønlandealer. Erfaringer fra et demonstrasjonsprosjekt. Vekstsonongen 1994.
-
- p>Rapport nr. 45: Forsøk med forfelling og felling i 2 trinn med polyaluminiumklorid høsten 1993. Kartlegging av slam- og slamvannsstrømmer med og uten forfelling 1993–94.
-
- p>Rapport nr. 46: Renovering av avløpsledninger. Retningslinjer for dokumentasjon og kvalitetskontroll.

NORVAR-rapporter forts.:

- Rapport nr. 47: Oslo kommune, Vann- og avløpsverket: Strategidokument for industrikontrollen.
- Rapport nr. 48: NORVAR og miljøteknologi. Forprosjekt.
- Rapport nr. 49: Grunnundersøkelser for infiltrasjon – små avløpsanlegg. Forundersøkelse, områdebefaring og detaljundersøkelse ved planlegging av separate avløpsrenseanlegg.
- Rapport nr. 50: Rørinspeksjon i avløpsledninger. Rapporteringshåndbok, Standard/definisjoner.
- Rapport nr. 51: Slambehandling
- Rapport nr. 52: Bruk av slam i jordbruket
- Rapport nr. 53: Bruk av slam på grøntarealer
- Rapport nr. 54: Rørinspeksjon av avløpsledninger. Veileder.
- Rapport nr. 55: Vannbehandling og innvendig korrosjonskontroll i vannledninger
- Rapport nr. 56: Vannforsyning til næringsmiddelindustrien. Krav til vannkvalitet. Vannverkernes erstatningsansvar ved svikt i vannleveransen.
- Rapport nr. 57: Trykkreduksjon. Håndbok og veileder.
- Rapport nr. 58: Karbonatisering på alkaliske filter.
- Rapport nr. 59: Veileder ved utarbeidelse av prosessgarantier.
- Rapport nr. 60: Avløp fra bilvaskeanlegg til kommunalt renseanlegg.
- Rapport nr. 61: Veileder i planlegging av fornyelse av vannledningsnett.
- Rapport nr. 62: Veileder i planlegging av spyling og pluggkjøring av vannledningsnett.
- Rapport nr. 63: Mal for søknad om godkjenning av vannverk.
- Rapport nr. 64: Driftserfaringer fra anlegg for stabilisering og hygienisering av slam i Norge. Forprosjekt.
- Rapport nr. 65: Forslag til veileder for fettavskillere til kommunalt avløpsnett.
- Rapport nr. 66: EØS-regelverket brukt på anskaffelser i VA-sektoren.
- Rapport nr. 67: NORVAR's faggruppe for vannforsyning. Filter som hygienisk barriere. Fase 3: Resultater for pilotforsøk og praktiske erfaringer fra vannverk.
- Rapport nr. 68: NORVAR's faggruppe for vannforsyning. Korrosjonskontroll ved Stange Vannverk. Forsøk med tilsetning av mikronisert marmor og CO₂ ved Råvannspumpestasjonen.
- Rapport nr. 69: Evaluering av enkle rensemetoder, fase 2: Siler/finrister
- Rapport nr. 70: Evaluering av enkle rensemetoder, fase 2: Store slamavskillere samt underlag for veileder.
- Rapport nr. 71: Evaluering av enkle rensemetoder, fase 3: Veileder for valg av rensemetode ved utslipp til gode sjøresipienter.
- Rapport nr. 72: Utviklingstrekk og utfordringer innen VA-teknikken. Sammenstilling av resultatet fra arbeidet i NORVARs gruppe for langtidsplanlegging (LTP) i VA-sektoren.
- Rapport nr. 73: Etablering av NORVARs VA-INFOTORG. Bruk av Internett som kommunikasjonsverktøy.
- Rapport nr. 74: Spesialrapport – 5. utgave. Beskrivelse av 34 EDB-programmer/moduler for bruk i VA-teknikken.
- Rapport nr. 75: NORVARs faggruppe for EDB og IT: IT-strategi i VA-sektoren.
- Rapport nr. 76: Dataflyt-Klassifisering av avløpsledninger.
- Rapport nr. 77: Alternative områder for bruk av slam utenom jordbruket. Forprosjekt.
- Rapport nr. 78: Alternative behandlingsmetoder for fettslam fra fettavskillere.
- Rapport nr. 79: Informasjonssystem for drikkevann, forprosjekt
- Rapport nr. 80: Sjekkliste/veiledning for prosjektering og utførelse av
- VA-hoved og stikkledninger – sanitærinstallasjoner
- Rapport nr. 81: Veileder. Kontahering av VA-tekniske prosessanlegg i totalentreprise
- Rapport nr. 82: Veileder for prøvetaking av avløpsvann
- Rapport nr. 83: Rørinspeksjon med videokamera: Veiledning/rapportering – hovedledninger, stikkledninger, avløpskummer
- Rapport nr. 84: Forfall og fornyelse av ledningsnett. Sammendragsrapport fra perioden 1992–1997