

# Korrosjon og levetid for vannledningsnett

Av Liv Fiksdal og Terje Jensen

Liv Fiksdal er førsteamanuensis ved institutt for vassbygging, NTH.  
Terje Jensen er sivilingeniør ansatt ved Østlandskonsult A/S.

## Sammendrag

Målinger av inn- og utvendig gropkorrosjonshastigheter viser ingen tydelig forskjell mellom de to materialene grått og duktilt støpejern. I tilfeller hvor sulfatreduserende bakterier er påvist, er det funnet utvendige gropkorrosjonshastigheter på opptil 4.0 mm/år.

Korrosjon på støpejernsledninger, særlig på grått støpejern, kan føre til brudd før ledningen er gjennomtæret. Det er utviklet en metode for beregning av levetiden for rørledninger av grått støpejern, dvs. tiden frem til brudd. Levetiden er bestemt som tiden før tangentielle spenninger i rørveggen overskrider rørets bruddfasthet. I den aktuelle beregningsmetoden tas det hensyn til blant annet korrosjonshastigheter, lokalisering av korrosjonsstedet og belastninger på røret.

Ytre laster (jord, biltrafikk) og vanntrykk forårsaker material-spenninger i rørveggen. Samlet gir dette de største spenningene i topp, bunn og midt på sidene av røret. Innvendig korrosjon i topp og bunn gir kortere levetid enn om korrosjonen skjer med samme hastighet andre steder på røret.

Små, korroderte ledninger ( $\varnothing_{\text{innvendig}} < 100$  mm) av grått støpejern kan ligge i bakken uten brudd selv om røret er fullstendig grafittisert. Dette skyldes at spenningene i rørveggen overalt er mindre enn grafittens brudd-

fasthet. Tilsvarende gjelder for større rør hvis korrosjonen skjer på steder hvor spenningen i rørveggen er liten.

Beregningsmetoden kan benyttes til å anslå levetiden for ledningsnettet slik at behovet for fornying kan vurderes. Den kan også benyttes til å vurdere effekten av å redusere korrosjonshastighet (f.eks. ved endring av vannkvaliteten eller ved katodisk beskyttelse) og av driftsstabiliserende tiltak (trykkreduksjon, tiltak mot trykkstøt etc.)

Undersøkelser mhp. korrosjonshastigheter, lokalisering av korrosjonsangrep og aksielle spenninger for aktuelle rørledninger vil føre til sikrere beregningsresultater for levetiden av rørledninger.

## Innledning

I Norge utgjør duktilt og grått støpejern ca. 55% av materialet i det kommunale vannledningsnettet. Deler av dette nettet er korrodert. Det fører til økt bruddfrekvens og lekkasjevannmengde og til innvendig begroing med redusert vannføring og -trykk som resultat. Basert på utenlandske undersøkelser ble direkte korrosjonskostnader (reparasjon ved lekkasjer og brudd) i Norge i 1989 anslått til 110 kr. pr. person og år (1). De indirekte kostnadene (vannlekkasje, helsemessige aspekter og bruksproblem) ble antatt å

utgjøre minst like store beløp som de direkte kostnadene.

Hensikten med denne artikkelen er å:

- 1) Gi en oversikt over korrosjonshastigheter som er funnet for støpejernsledninger.
- 2) Beskrive en metode for beregning av ledningers levetid. Metoden tar hensyn til både korrosjonshastighet og at brudd kan oppstå før røret er gjennomtært på grunn av økt spenning i rørveggen på korrosjonsstedet.
- 3) Gi eksempler på bruk av metoden.

### Korrosjonshastighet

Grått eller duktilt støpejern er utsatt for både jevn overflatekorrosjon og lokal groptæring. Groptæring foregår som regel med større hastighet enn jevn overflatekorrosjon. Groptæring fører ofte til lekkasjer og brudd og er dermed viktig for levetiden. Både jevn overflatekorrosjon og groptæring vil kunne føre til økt jerninnhold i vannet.

Tabell 1 og 2 viser eksempler på

områder for maksimale korrosjonshastigheter som er funnet for innvendig og utvendig groptæring på grått og duktilt støpejern. Dataene er delvis hentet fra litteraturundersøkelser (2) og delvis i form av egne målinger (2, 3, 4).

Verdiene i tabell 1 og 2 gir ikke noe entydig svar på om korrosjonshastighetene for grått og duktilt støpejern er forskjellige. I noen arbeider var korrosjonshastigheten størst for duktilt støpejern, i andre var den størst for grått støpejern.

I grått støpejern foreligger karbonet som flak eller lameller av grafitt. Dette gjør at det kan oppstå mikroceller med grafitt som katodisk område og det omliggende jern som anode. Jernet vil da kunne korrodere. I duktile støpejernsrør er grafitten samlet i kuler jevnt fordelt i materialet og grafitisering forekommer vanligvis ikke. På grunn av den jevne fordelingen vil anodiske og katodiske partier (f.eks. som følge av uregelmessigheter i metallet) ikke så lett kunne oppstå. Dette er en av grunnene til at duktilt støpejern er blitt hevdet å

Tabell 1. *Utvendig, maksimal groptæringshastighet (mm/år) (2).*

Jordart	Grått støpejern	Duktilt støpejern
Leire/silt	0.05—1.15 <sup>1</sup>	0.02—1.50 <sup>7</sup>
Middelverdi	0.45 <sup>1</sup>	0.48 <sup>7</sup>
Standardavvik	0.41 <sup>2</sup>	0.31 <sup>7</sup>
Sand/grus	0.02—0.24 <sup>3</sup>	0.04—0.23 <sup>8</sup>
Myr/torv	0.09—1.25 <sup>4</sup>	0.31—0.60 <sup>9</sup>
Alunskifer	0.69—0.77 <sup>5</sup>	
Blandingsjordarter	0.10—1.50 <sup>6</sup>	0.10—1.50 <sup>10</sup>

<sup>1</sup> Målingene omfatter 92 prøver.

<sup>2</sup> Beregningen omfatter 86 av 92 prøver.

<sup>3</sup> Prøveantall ikke oppgitt.

<sup>4</sup> Prøveantall ikke oppgitt.

<sup>5</sup> Målingene omfatter 3 prøver.

<sup>6</sup> Målingene omfatter 5 prøver.

<sup>7</sup> Målingene omfatter 66 prøver.

<sup>8</sup> Målingene omfatter 4 prøver.

<sup>9</sup> Prøveantall ikke oppgitt.

<sup>10</sup> Målingene omfatter 2 prøver.

Tabell 2. *Innvendig, maksimal groptæringshastighet (mm/år) (2, 3).*

<i>Sted</i>	<i>Grått støpejern</i>	<i>Duktilt støpejern</i>
Trondheim	0.05—0.11 <sup>1</sup>	0.02—0.17 <sup>2</sup>
Middelverdi	0.08	0.11
Bodø	0.08—0.20 <sup>3</sup>	
Middelverdi	0.11	
Ballangen	0.07 <sup>4</sup>	
Fredrikstad	0.12 <sup>5</sup>	
England	0.06—0.13 <sup>6</sup>	0.11—0.26 <sup>7</sup>

<sup>1</sup> Målingene representerer 8 rørprøver med alder 32—129 år.

<sup>2</sup> Målingene representerer 4 rørprøver med alder 22—32 år.

<sup>3</sup> Målingene representerer 12 rørprøver med alder 15—111 år.

<sup>4</sup> Målingene representerer 1 rørprøve med alder 60 år.

<sup>5</sup> Målingene representerer 1 rørprøve med alder 30 år.

<sup>6</sup> Målingene representerer 6 rørprøver med alder 35—85 år.

<sup>7</sup> Målingene representerer 6 rørprøver med alder 7—14 år.

være mere korrosjonsbestandig enn grått støpejern. Som nevnt foran gir ikke verdiene i tabell 1 og 2 noen entydig bekreftelse på dette, det kan like gjerne sies at korrosjonshastighetene for de to materialene synes å være nokså like.

Korrosjonshastigheten er ikke konstant med tiden. Den midlere korrosjonshastigheten på et gitt sted vil derfor være avhengig av analyseperioden. Korrosjonsmotstanden for nye ledninger av grått støpejern har også endret seg opp gjennom årene. Særlig sterk var endringen mellom 1850 og 1920—30 og det ser ut som om de eldste rørene har størst korrosjonsmotstand. Disse forholdene kan ha bidratt til at spredningen i registrerte

korrosjonshastigheter (tabell 1 og 2) er relativt stor.

Itilfeller hvor sulfatreduserende bakterier (SRB) er påvist, er det funnet utvendig korrosjonshastighet i området 0.3—4.0 mm/år (ref. av 2). Det kan ikke utelukkes at de høyeste korrosjonshastighetene i leire og silt, i tabell 1, kan være forårsaket av SRB-korrosjon.

### **Årsaker til brudd og lekkasjer.**

Korrosjonsangrepene på ledningsnettet øker med tiden og antall brudd pr. år kan forventes å øke med nettets alder. Walski et al. (8) analyserte den samlede bruddfrekvensen for grå og duktile støpejernsledninger i flere områder i USA for perioden 1933—1984 og fant at den økte eksponentielt med tiden:

$$J = J_0 * \exp(b(t-t_0))$$

J = bruddfrekvens i året t (brudd/km, år)

J<sub>0</sub> = bruddfrekvens i året «0» (brudd/km, år)

t = undersøkelsesåret

t<sub>0</sub> = årstallet for år «0»

b = konstant (år<sup>-1</sup>)

Konstanten  $b$  ble i de undersøkte områder beregnet til 0.019—0.024. Basert på lekkasjeutviklingen i perioden 1975—1985 for ledningsnett av duktilt støpejern i Trondheim (6), kan konstanten,  $b$ , beregnes til ca.  $0.1 \text{ år}^{-1}$ . Den høye konstanten for Trondheimsområdet kan ha sammenheng med at både innvendig og utvendig korrosjonshastighet her kan være relativt høye (henholdsvis 0.1 og 0.2 mm/år). I en del tilfeller har den utvendige korrosjonshastigheten vært spesielt høy pga. nærvær av sulfatreduserende bakterier.

En norsk undersøkelse (6) har vist at ca. 80% av bruddene/lekkasjene skjer på ledningene, ca. 8% skjer i skjøtene og ca. 12% i forbindelse med ventiler.

Grått og duktilt støpejern synes å være omtrent like mye utsatt for lekkasjer (6, 7). I følge verdiene i tabell 1 og 2 er det ikke grunn til å forvente vesentlig forskjellig korrosjonshastighet for de to materialene. I en kanadisk undersøkelse for perioden 1956—1980 (7) er årsakene til korrosjon på ledningsnettet studert (tabell 3). Selvom bruddårsaken for grått støpejern i mange tilfeller er registrert som mekanisk (tabell 3), har trolig korrosjon spilt en rolle og svekket røret så mye at det har brutt sammen når spenningene i rørveggen

ble for store eller når det inntraff en tilleggsbelastning (setninger, trykkstøt).

Korrosjon på støpejernsrør gir lekkasje på to forskjellige måter:

1. Gjennomtæring og hulldannelse.
2. Tæring kombinert med sprekkvekst som til slutt gir brudd.

Den første måten er typisk for duktilt støpejern, den andre for grått støpejern.

Sprekker i rørgodset starter i små materialfeil i rørgodset og kan utvikle seg mer eller mindre hurtig. Det blir brudd i et materiale som grått støpejern når spenningen i rørveggen overstiger en gitt verdi som gjør at den lille sprekken begynner å vokse raskt.

Hvis vann trenger inn i sprekken vil den kunne vokse raskere enn ellers pga. spennings- eller utmatningskorrosjon. Spenningskorrosjon skjer ved tilnærmet konstant materialspenning, mens utmatningskorrosjon er forårsaket av raskt pulserende materialspenning (f.eks. pga. biler som passerer rørlødingen). Under ellers like forhold gir korrosjonsutmatning raskere sprekkvekst enn spenningskorrosjon. Foreløpig er lite kjent om i hvilken grad spenning- og utmatningskorrosjon forekommer på vannledningsnettet.

Tabell 3. Årsaker til korrosjon på vannledningsnettet (7).

	<i>Mekaniske forhold (sprekker/brudd)</i> %	<i>Korrosjon</i> %	<i>Annet</i> %
Grått støpejern	62	19	19
Duktilt støpejern	16	70	14

For grått støpejern vil korrosjon kunne føre til gjennomtæring og lekkasje, men ofte skjer brudd før gjennomtæring har funnet sted. Den reduserte veggtykkelsen gir så store spenninger i rørveggen at det fører til brudd.

Grått støpejern korroderer som regel ved at oppløst jern danner hydroksyder og oksyder som sammen med grafittflak danner en porøs masse. Forsøk har vist at det gjenværende grafittiserte materialet har en strekkstyrke på 15 N/mm<sup>2</sup>, dvs. det tar spenninger på inntil 7.5% av den opprinnelige styrken (200 N/mm<sup>2</sup>) i støpejernet (5).

#### Beregning av levetid for ledningsnettet

Ofte blir levetiden for ledningsnettet satt lik tiden for gjennomtæring når korrosjonshastigheten er gitt. En slik fremgangsmåte kan være nyttig for duktile støpejernsledninger. Som nevnt foran vil imidlertid brudd kunne oppstå før full gjennomtæring har skjedd for rørledninger av grått støpejern. Korrosjon som svekker røret i et lite område kan være nok til å utløse brudd, ofte som tverrbrudd.

Nedenfor er det angitt en fremgangsmåte for å beregne levetiden for grå støpejernsrør hvor brudd oppstår på grunn av spenningsendring i rørveggen som følge av korrosjon.

Under beregningene har en benyttet normalspenningskriteriet som sier at brudd oppstår når største positive hovedspenning overskrider strekkfastheten, eller når den mest negative hovedspenning overskrider trykkfastheten.

Normalt utsettes nedgravde støpejernsledninger for belastninger som skyldes horisontalt og vertikalt jordtrykk, egenvekt av vann og rørgods, innvendig vanntrykk og eventuelt trafikklast.

Bruddberegningen er gjennomført ved å finne hovedspenningene i rørveggen forårsaket av belastning. En har forutsatt at belastningen tas jevt opp over hele rørtverrsnittet. Deretter har en vurdert om spenningene overskrider bruddfastheten. Faktorer som inngår i beregningen er angitt i tabell 4.

Spenningene i rørveggen kan være tangentielle, radielle og aksielle. Der som bare vanntrykket bidrar til radielle spenninger, kan det vises at disse har relativt liten betydning sammenlignet med tangentielle spenninger.

Tabell 4. *Faktorer som inngår i bruddberegning*

- Vertikal jordlast ( $Q_f$ )
- Horisontal jordlast ( $Q_n$ )
- Egenvekt av vann og rørgods ( $Q_i$ )
- Trafikklast ( $Q_t$ )
- Eventuelle andre belastninger
- Momentbelastning pga ytre laster ( $Q_m = Q_f - Q_n + Q_i + Q_t$ )
- Moment i rørveggen ( $M = f(Q_m)$ )
- Tangentiell spenning i rørveggen pga moment ( $S_m = f_1(M)$ )
- Tangentiell spenning i rørveggen pga innvendig vanntrykk ( $S_v$ )

Størrelsen av aksielle spenninger vil avhenge av f.eks. opplagringsforholdene i grøfta, graden av telehiv m.m. Det er målt aksialspenninger pga temperaturendringer på opptil 10 N/mm<sup>2</sup> (trykk) om sommeren, på mufferrør som er lagt om vinteren (9). Videre er det målt bøyepeninger på grunn av tele og jordtrykk, i aksialretning, på opptil 35 N/mm<sup>2</sup>. Aksielle spenninger vil kunne bidra til at brudd på korroderte rør oppstår tidligere enn når røret bare er utsatt for tangentielle spenninger. Dersom en kjenner størrelsen av slike spenninger, vil de kunne inngå i beregningene av levetiden.

### Eksempler på levetidsberegninger

Jord- og trafikklaster tas opp som

bøyemoment i rørvæggen. Dette fører til spenninger i røret som varierer rundt rørtverrsnittet. Under forutsetning av at belastning tas jevnt opp over hele tverrsnittet, vil ytre laster føre til størst spenning i topp, bunn og midt på sidene av røret. Korrosjonsangrep på disse stedene vil derfor raskere føre til at bruddfastheten blir overskredet enn om korrosjonen foregår andre steder på rørledningen. Lokaliseringen av korrosjonsangrepet er derfor viktig.

I tabell 5 er det vist hvordan levetiden avhenger av korrosjonssted for et grått støpejernsrør som korroderer med hastigheten 0.07 mm/år.

I beregningene har en forutsatt at de aksielle og radielle spenninger er små, slik at levetiden for røret bestemmes av

Tabell 5. *Levetid (år) for grå støpejernsrør før brudd i forhold til korrosjonssted på rørledningen (Ø<sub>innv</sub> 177 mm).*

<i>Korrosjons- hastighet = 0.07 mm/år</i>	<i>Korrosjon: bunn eller topp</i>	<i>Korrosjon: 45° fra bunn eller topp</i>	<i>Korrosjon: 90° fra bunn eller topp</i>
Bare innvendig korrosjon	113	∞ <sup>1</sup>	∞ <sup>1</sup>
Bare utvendig korrosjon	127	∞ <sup>1</sup>	∞ <sup>1</sup>
Både innvendig og utvendig korrosjon	59	∞ <sup>1</sup>	∞ <sup>1</sup>

Beregningene er basert på følgende data og forutsetninger:

- indre diameter for ukorrodert rør = 177 mm.
- godstykkelse for ukorrodert rør = 10.5 mm
- jorddybde = 1.8 m
- tyngdetettheten for jord = 18 kN/m<sup>3</sup>
- akseltrykk for bil = 260 kN
- innvendig vanntrykk = 0.5 N/mm<sup>2</sup> (= 5 bar)
- det dannes grafitt som tar spenning
- bruddspenning for grått støpejern = 200 N/mm<sup>2</sup>

1) forutsatt at ikke tilleggslastninger får grafitten til å sprekke

tiden det tar før den tangentielle spenningen i røret overskrider bruddspenningen.

Verdiene i tabell 5 og i etterfølgende tabeller er angitt uten avrunding. Når grunnlaget for å anslå usikkerheten ved beregningene blir bedre, bør resultatet presenteres som avrundede verdier.

Dersom brudd skjer (korrosjon i bunn eller topp av røret), vil levetiden for det aktuelle røret være mindre enn tiden for gjennomtæring. Gjennom-

tæringstiden er 150 år ved inn- eller utvendig korrosjon og 75 år ved både inn- og ytvendig korrosjon. Moen (3) viste i en undersøkelse av 5 rørrøper oppgravd på ulike steder i Trondheim at innvendig korrosjon var konsentrert omkring bunnen av røret. Undersøkelser som viser hvor korrosjonsangrep kan forventes, vil bidra til å gjøre levetidsberegningene mere sikre.

Levetiden vil også være avhengig av rørdiameter (og veggtykkelse) (tabell 6).

Tabell 6. Gjennomtæringstid og levetid (år) før brudd som funksjon av rørdiameter (grått støpejern)

Korrosjonshastighet = 0.07 mm/år	Rørdiameter (innvendig)/ veggtykkelse 100 mm/9 mm	Rørdiameter (innvendig)/ veggtykkelse 177 mm/10.5 mm	Rørdiameter (innvendig)/ veggtykkelse 300 mm/13 mm
Levetid før brudd: bare innvendig korrosjon	$\infty^1$	113	116
bare utvendig korrosjon	$\infty^1$	127	114
både inn- og ut- vendig korrosjon	$\infty^1$	59	62
Gjennom- tæringstid: inn- eller ut- vendig korrosjon	129	150	186
inn- og utvendig korrosjon	64	75	93

Beregningene er basert på følgende data og forutsetninger:

- jorddybde = 1.8 m
- tyngdetetthet for jord = 18 kN/m<sup>3</sup>
- akseltrykk for bil = 260 kN
- innvendig vanntrykk = 0.5 N/mm<sup>2</sup> (= 5 bar)
- korrosjon skjer i bunnen av røret
- det dannes grafitt som tar spenning
- bruddspenning for grått støpejern = 200 N/mm<sup>2</sup>

1) forutsatt at ikke tilleggsbelastninger får grafitten til å sprekke

Tabell 7. Grafittiserings innvirkning på levetid (år)

	Rørdiameter (innvendig) 100 mm	Rørdiameter (innvendig) 177 mm	Rørdiameter (innvendig) 300 mm
Graffiti dannes og tar spenning	$\infty$	59	62
Graffiti dannes men tar ikke spenning/graffitt dannes ikke	52	57	58

Beregningene er basert på følgende data og forutsetninger:

- inn- og utvendig korrosjon i bunnen av røret
- inn- og utvendig korrosjonshastighet = 0.07 mm/år
- jorddybde = 1.8 m
- tyngdetetthet for jord = 18 kN/m<sup>3</sup>
- akseltrykk for bil = 260 kN
- innvendig vanntrykk = 0.5 N/mm<sup>2</sup> (— 5 bar)
- bruddspenning for grått støpejern = 200 N/mm<sup>2</sup>

Eksemplene i tabell 6 er beregnet for det tilfellet at korrosjonen skjer i bunnen av røret.

Med de gitte belastninger viser resultatene i tabell 6 at for ledninger med liten diameter (Ø 100 mm) kan graffitisererte rør fungere uten at de bryter sammen selv om røret er gjennomkorrodert.

Dette skyldes at spenningene over alt i rørvæggen er lavere enn bruddspenningen for grafitten. Beregningen bekrefter derfor det mange har observert ved oppgraving av gamle rør: røret har fungert tilfredsstillende så lenge det har vært nedgravd og jevnt belastet, men ved punktbelastning f.eks. fra en spadespiss, kan det bryte sammen over lengder på flere meter. Den ekstra punktbelastningen har da ført til at bruddspenningen for grafitten ble overskredet. Ugunstige leggeførhold i grøfta som medfører stor punktbelastning, vil

også kunne føre til brudd på graffitisererte rør med liten diameter.

I ikke korroderte rørledninger med diameter lik 177 og 300 mm vil spenningen innvendig i bunn og topp, og for den største ledningen også spenningen utvendig midt på siden, overskride graffittens bruddspenning. Dersom bruddtøyningen for graffittert materiale er lavere enn tøyningen for støpejern, vil graffitt som dannes på disse stedene sprekke opp, og godstykkelsen som tar spenning reduseres i samsvar med korrosjonshastigheten.

Om grafitten tar spenning eller ikke, vil kunne ha betydning for levetiden (tabell 7), avhengig av rørstørrelsen. Eksemplene i tabellen er beregnet for det tilfelle at korrosjonen skjer innvendig og utvendig i bunnen av røret. Deter også antatt at graffittert materiale har lavere bruddtøyning enn grått støpejern.



Tabell 8. *Innflytelse av innvendig korrosjonshastighet på levetid for grå støpejernsrør (Ø 177 mm).*

Korrosjonshastighet (mm/år)			
Innvendig	0.07	0.03	0.01
Utvendig	0.07	0.07	0.07
Levetid før brudd (år)	59	78	103
Tid for gjennomtæring (år)	75	105	131

Beregningene er basert på følgende data og forutsetninger:

- innvendig rørdiameter 177 mm, godstykkelse 10,5 mm
- inn- og utvendig korrosjon i bunnen av røret
- jorddybde = 1,8 m
- tyngdetetthet for jord = 18 kN/m<sup>3</sup>
- akseltrykk for bil = 260 kN
- innvendig vanntrykk = 0,5 N/mm<sup>2</sup> (= 5 bar)
- det dannes grafitt som tar spenning
- bruddspenning for grått støpejern = 200 N/mm<sup>2</sup>

For ledninger med større dimensjoner (Ø 177 og 300 mm) betyr det svært lite (2—4 år økt levetid i det aktuelle eksempel) om grafitten tar spenning eller ikke.

En del vannverk i Norge behandler vannet for å redusere den innvendige korrosjon på ledningsnettet, og andre er i ferd med å ta i bruk slik behandling. Eksempler på hva redusert innvendig korrosjonshastighet betyr for levetiden er vist i tabell 8.

Eksemplet viser at dersom den innvendige korrosjonshastigheten reduseres med henholdsvis 57 og 86%, vil beregnet levetid før brudd økes med 33 og 75%.

Det er flere usikkerheter knyttet til beregningsmetoden. For eksempel har en antatt at aksielle og radielle spenninger i røret har relativt liten innflytelse i forhold til tangentielle spenninger. For å bekrefte/avkrefte dette bør det utføres flere undersøkelser angående innfly-

telse av temperaturendringer/televiv som kan supplere resultatene Gregeresen og Eggestad (9) kom frem til.

Videre er det antatt at belastningene på røret fordeler seg jevnt over rørtverrsnittet. En videreutvikling av metoden vil innebære å ta hensyn til at belastningene ofte fordeles ujevnt.

Det finnes formler for beregning av bruddspenning i sprø materialer, hvor beregningene er basert på sprekk lengde og -type. Det må undersøkes nærmere i hvilken grad levetider beregnet i forhold til denne bruddspenningen avviker fra levetiden beregnet etter normalspenningskriteriet.

Under beregningen av levetiden for grafittisert rør, har en gått ut fra at det spenningsførende tverrsnittet for grafitt ikke reduseres før strekkspenningen overskrider 15 N/mm<sup>2</sup>. Oppsprekking av grafittert materiale før selve røret sprekker skjer bare dersom bruddtøyningen for grafittert materiale er

lavere enn tøyningen i grått støpejern. I beregningene har en antatt at det er tilfelle.

Fordi materialegenskapene til grått støpejern er ujevne vil den virkelige levetiden kunne avvike vesentlig fra den beregnede verdi.

Den beskrevne beregningsmetoden er foreløpig bare anvendt på ett rør av grått støpejern i Trondheim, hvor røret ble gravd opp på grunn av brudd, etter 32 år. Beregnet levetid når en tok hensyn til reduksjon i spenningsførende tverrsnitt og antok at grafitten ikke tok spenning, var 32 år (3). Beregnet levetid basert kun på gjennomtæringstid var 55 år.

I dette tilfellet ga modellen et godt anslag av levealderen for denne delen av ledningsnettet. Det henger bl.a. sammen med at korrosjonshastigheten som ble brukt i beregningene, var den virkelige korrosjonshastighet, funnet vha. gropdybdemålinger på bruddstedet.

### **Levetid for ledningsnett hvor korrosjonshastigheten varierer**

Hvordan skal en definere levetiden for et ledningsnett hvor korrosjonshastigheten i gropene varierer langs nettet?

Et utgangspunkt kan være å definere levetiden som det tidspunkt når årlige reparasjonskostnader for brudd overstiger gevinsten ved å utsette investering i ny ledning ett år. Dersom det for eksempel koster kr. 2.000.000,— å skifte ut 1 km rørledning, rentesatsen for offentlig investering er 7% og reparasjonskostnadene br. brudd settes lik kr. 30.000,— vil det medføre at en kan akseptere inntil 4,5 brudd pr. km og år før ledningen må skiftes ut.

Langs ledningsnettet vil en finne korrosjonsgroper med ulik dybde, dvs. kor-

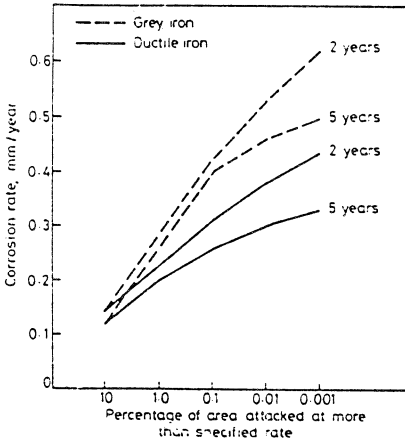
rosjonshastigheten varierer langs nettet. Hvordan skal en så velge korrosjonshastighet som levetidsberegningen baseres på og som gir mer enn 4,5 brudd pr. km og år?

Fuller (10) har sett på hvor stor andel av et rør som korroderer med ulike korrosjonshastigheter. Hans undersøkelse viste at størstedelen av røret hadde angrep med lav korrosjonshastighet og bare en liten del av røret hadde angrep med høy korrosjonshastighet (figur 1).

Hvis det først avgjøres hvor mange brudd som kan aksepteres, og deretter anslås hvor mange meter som skiftes ut for hvert brudd, kan en ved hjelp av kurver av den typen Fuller har fremstilt, lese av korrosjonshastigheten som skal benyttes for beregning av levetid.

I eksemplet ovenfor kunne en akseptere inntil 4,5 brudd pr. km og år. Dersom en regner med at hvert brudd fører til utskifting av 1 m ledning, så vil det si at 4,5 brudd betyr utskifting av ca. 5 m ledning. På hver rørmeter som utskiftes vil det være minst et korrosjonsangrep med en korrosjonshastighet som fører til brudd på det aktuelle tidspunkt.

Hvis en går inn på Fullers kurve for en 5 år gammel ledning av grått støpejern (fig. 1), finner en at 0,001% av ledningsarealet har en korrosjonshastighet på ca. 0,5 mm/år eller høyere. For hver km av en rørledning med f.eks. Ø 100 mm betyr det at 31 cm<sup>2</sup> av flaten korroderer med denne hastigheten. Hvis en antar at hvert korrosjonsangrep dekker ca. 1 cm<sup>2</sup>, vil en ha tilsammen 31 groper pr. km rørledning. Tilsvarende vil 0,01% og 0,0001% av arealet kunne gi henholdsvis 310 og 3 groper pr. km. Det siste antallet er mindre enn 4,5 og korrosjonshastigheten som finnes på 0,0001% av arealet kan anses for å være en øvre grense når



Figur 1. *Variasjon i korrosjonshastighet med tid: grått og duktilt støpejern (etter (10)).*

en skal velge korrosjonshastighet for beregning av levetiden. Avhengig av hvor spredt gropene er langs rørlednin-

gen vil den korrosjonshastigheten som finnes på 0,001% (ca. 0,5 mm/år) eller 0,01% (ca. 0,45 mm/år) av arealet kunne benyttes for beregningen.

Etter hvert som ledningsnettets blir eldre, vil også områder med lave korrosjonshastigheter få så liten godstykkelse at bruddspenningen overskrider, dvs. lekkasje- og bruddfrekvensen øker. Dette er i overensstemmelse med utviklingen blant annet i Trondheim (6).

Fremgangsmåten for å bestemme dimensjonerende korrosjonshastighet er basert på en rekke forutsetninger. Norske undersøkelser av den typen Fuller har utført vil kunne gi sikrere grunnlag for å velge korrosjonshastighet for levetidsberegninger.

Fordi en har uensartede forhold langs ledningsnettets, bør en i en analyse av levetiden dele nettet inn i mest mulig homogene grupper basert på de faktorer som innvirker på levetiden (tabell 9).

Tabell 9. *Faktorer som påvirker levetiden for ledningsnett*

- Rørmateriale
- Innvendig korrosjonshastighet i relasjon til vannkvalitet
- Utvendig korrosjonshastighet i relasjon til jordart
- Ytre belastning
- Innvendig vanntrykk
- Rørdimensjon
- Godstykkelse
- Anleggsforhold/jevnhet i grøfta

### Referanser

- (1) Vik, A., E. og Hongve, D. (1989): Innvendig korrosjon av vannledninger. Håndbok. NTNFs utvalg for drikkevannsforskning.
- (2) Jensen, T. (1990): Korrosjon på vannledningsnett. Hovedoppgave D1-1990-12. Institutt for vassbygging NTH.
- (3) Moen, S.O. (1991): Korrosjon på VA-nett. Prosjektoppgave. Institutt for vassbygging NTH.

- (4) Bjørgum, F. (1991): Korrosjon på vannledninger. Notat, Anleggs- og driftskontoret, Trondheim.
- (5) Kirby, P.C. (1977): Internal corrosion and loss of strength of iron pipes. Kurskompendium, Water Research Centre, Medmenham, England.
- (6) Bjørgum, F. (1988): Corrosion of water pipes in Trondheim, Norway. Notat. Anleggs- og driftskontoret, Trondheim kommune.
- (7) Jakobs, J.A. (1985): Underground corrosion of water pipes; Canadian cities. Case: The City of Calgary. Sluttrapport, Caproco Corrosion Prevention Ltd., Edmonton, Alberta.
- (8) Walski, T. et al. (1987): Conducting a pipe break analysis for a large city. 1987 Annual conference proceedings, American Water Works Association.
- (9) Gregersen, O. og Eggestad, Å. (1983): Telens innflytelse på nedgravde rør. PTV-rapport nr. 24.
- (10) Fuller, A.G. (1981): Corrosion resistance of ductile iron pipe. BCIRA report 1442, Alvechurch.