

Testing og inspeksjon

Sertifisering

Kalibrering

Kurs og opplæring

Rådgivning

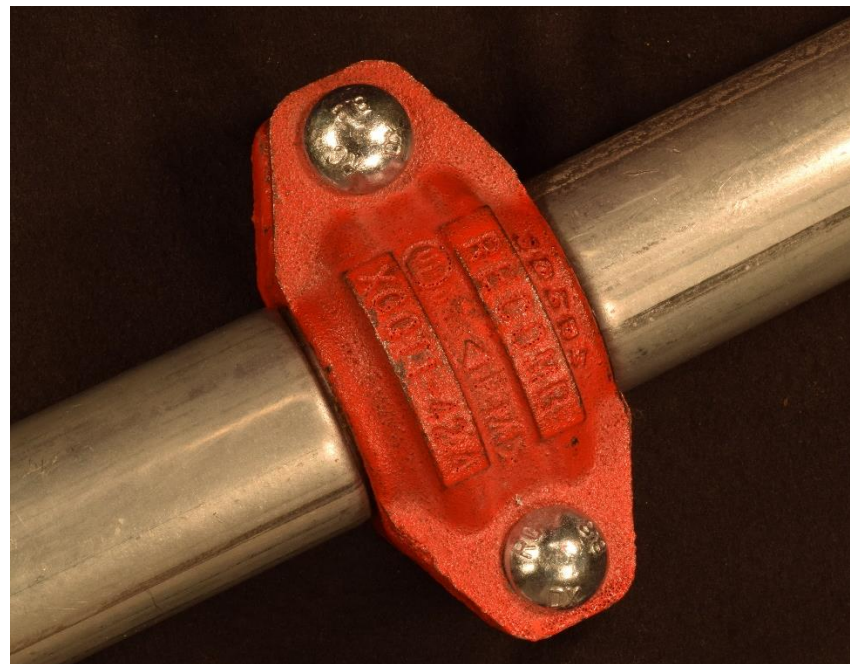
KORROSJON OG HYDROGENDANNELSE I FORSINKEDE RØR - VÅTANLEGG

OVERSIKT

- Motivasjon og bakgrunn for prosjektet
- Ulike forsinkingsmetoder
- Korrosjon og passivering av forsinkede sprinklerør
- Trykkoppbygning i sprinklersystemer
- Faktorer som kan påvirke hastigheten på trykkoppbygningen
- Mulige tiltak for å redusere problemene med trykkoppbygning
- Levetidsestimat for forsinkede sprinklerør

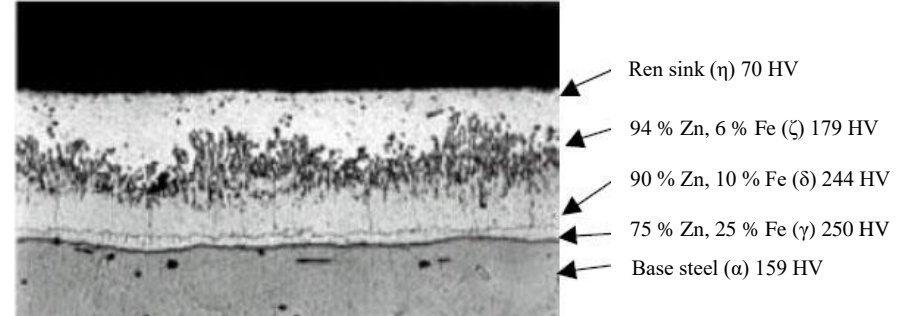
BAKGRUNN

- Problemer med trykkoppbygging i våtanlegg med forsinkede rør
- Rapportert minst 15 tilfeller med trykkoppbygging
- 1-2 millioner meter forsinkede rør finnes på det norske markedet
- Mistenkes underrapportering av økning i trykk på slike anlegg



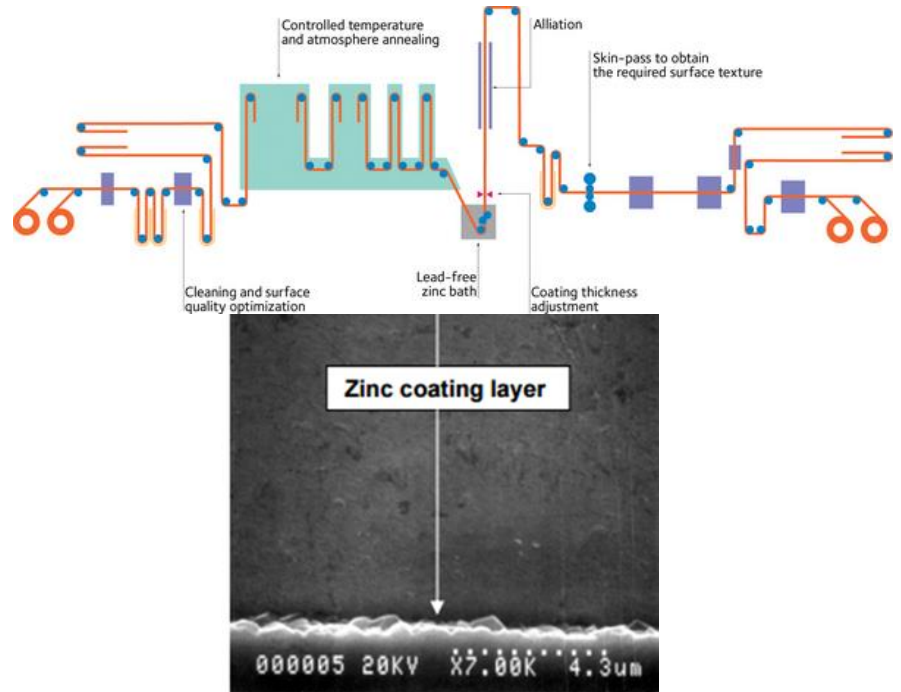
SINKBELEGG - VARMFORSINKEDE RØR

- Belegget påføres ved dypping
- Forbehandlingen er beising (dypping i syrebad)
- Belegget er typisk 85-115 μm [1]
- Belegget består av ulike faser med økende sinkinnhold
- Enkelte av jern-sinklegeringene kan sprekke opp ved kraftig deformering



SINKBELEGG - PRE-GALVANISERTE RØR

- Belegget påføres ved en kontinuerlig varmforsinkingsprosess
- Sinkbadet har blitt tilsatt små mengder aluminium (0,15-0,19%)
- På overflaten av stålet dannes det en legering som består av ca. 45% Al, 35% Fe og 20-35% Zn, $Fe_2Al_{5-X}Zn_X$
- Tynt legeringslag fører til at belegget kan bøyes og formes uten at det sprekker



KORROSJON AV SINK I FERSKVANN

- Så lenge sinklaget er intakt vil dette korrodere
- Anodereaksjonen er:
 - 1) $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^{-}$
- Katodereaksjonen er:
 - 2) $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^{-} \rightarrow 4\text{OH}^{-}$
 - 3) $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^{-}$
- Hydrogenutvikling er trolig årsak til trykkoppbyggingen
- pH påvirker korrosjonsraten til sink [2]

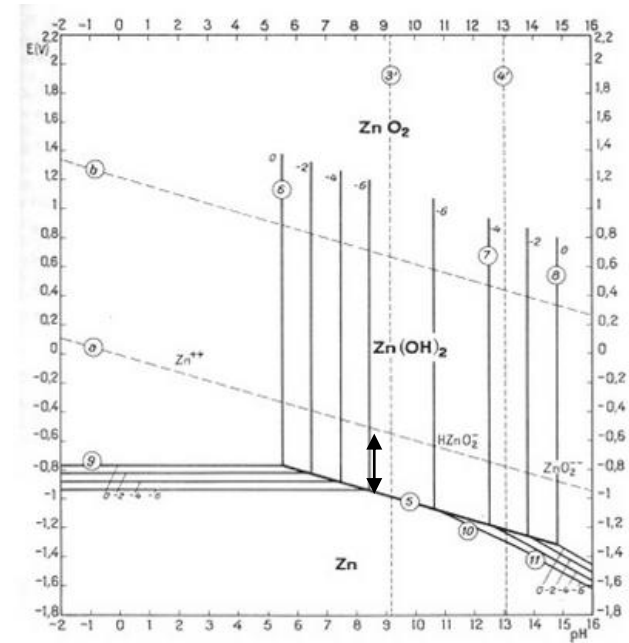
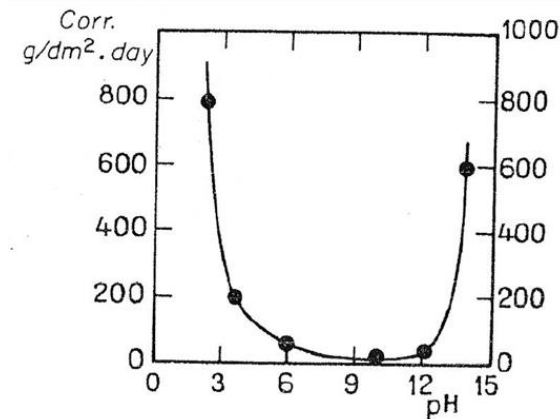
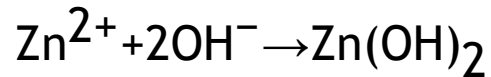


FIG. 1. Potential-pH equilibrium diagram for the system zinc-water, at 25°C. [Established by considering $\alpha\text{-Zn(OH)}_2$.]



KORROSJON AV SINK I FERSKVANN - KORROSJONSPRODUKTER

- Sinkionene reagerer videre med hydroksidionene etter følgende reaksjonsmekanisme og danner sinkhydroksid



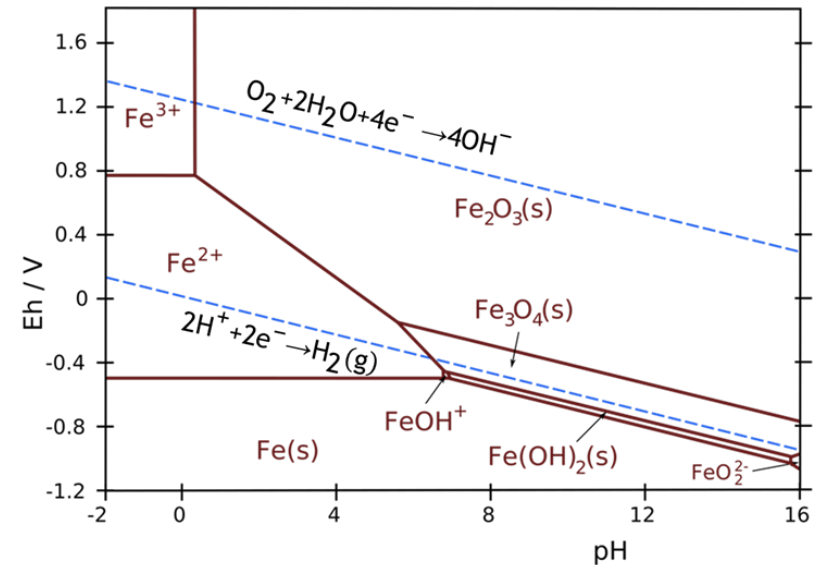
- Sinkhydroksid er et porøst og lite beskyttende korrosjonsprodukt



Foto: Michigan Air Products

KORROSJON AV KARBONSTÅL

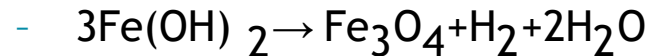
- Når sink har korrodert bort (helt/delvis) vil korrosjon av karbonstål inntreffe
- Anodereaksjonen er da:
 - 1) $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$
- De mulige katodereaksjonene er:
 - 1) $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$
 - 2) $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g})$
 - 3) $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-$



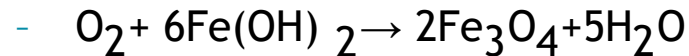
ULIKE KORROSJONSPRODUKTER PÅ KARBONSTÅL

- Jernionene reagerer med hydroksidionene og danner jernhydroksid
 - $\text{Fe}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2$
- Jernhydroksid vil reagere videre avhengig av tilgangen på oksygen

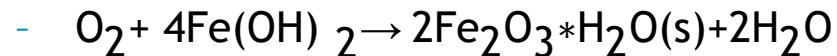
Dannelse av magnetitt (ingen tilgang på oksygen)



Dannelse av magnetitt (begrenset tilgang på oksygen)



Dannelse av rust (god tilgang på oksygen)



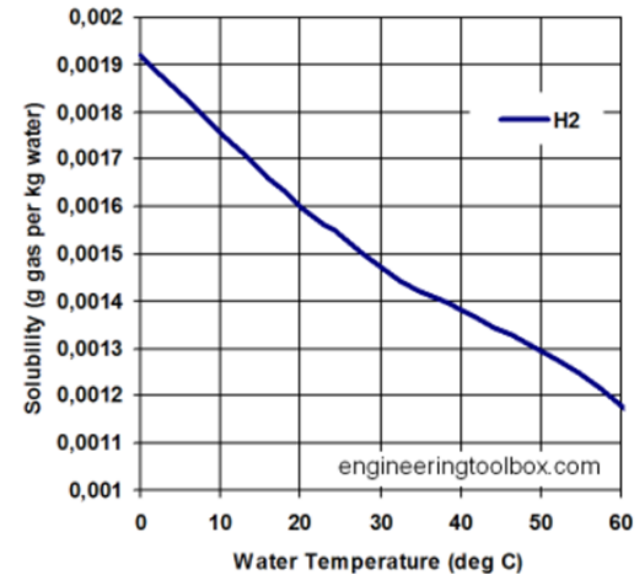
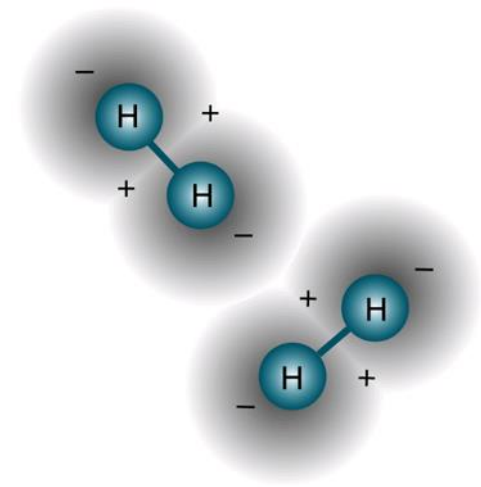
- Hvis man har begrenset eller ingen tilgang på oksygen så vil det dannes tette og beskyttende korrosjonsprodukter som hindrer videre korrosjon

UTVIKLING OG AKKUMULERING AV HYDROGENGASS

- Katodereaksjon med hydrogenutvikling foregår både ved korrosjon av stål og sink når man ikke har tilgang på oksygen
- Filmen som dannes av magnetitt ved korrosjon av stål med ingen eller begrenset tilgang på oksygen er meget beskyttende
- Magnetittfilmen som dannes på stål fører til at korrosjonshastigheten blir redusert til en slik grad at hydrogenutviklingen ikke fører til trykkøkning innenfor de tidsskalaene man operer med
- Korrosjonsproduktene som dannes på sink er lite beskyttende og fører til høyere korrosjonshastighet og dermed høyere hastighet for utvikling av hydrogengass

EGENSKAPENE TIL HYDROGEN

- Hydrogengass (H_2) vil kunne antennes i konsentrasjoner mellom 4 og 75 volumprosent [3]
- Hydrogengass er lettere enn luft
- Hydrogengass har en høy diffusjonshastighet i luft, 2 cm/s (STP)
- Diffusjonshastigheten til bensin er 0,2 cm/s
- Hydrogengass vil spres raskt når det kommer ut i friluft



Løseligheten til H_2 -gass i vann [4]

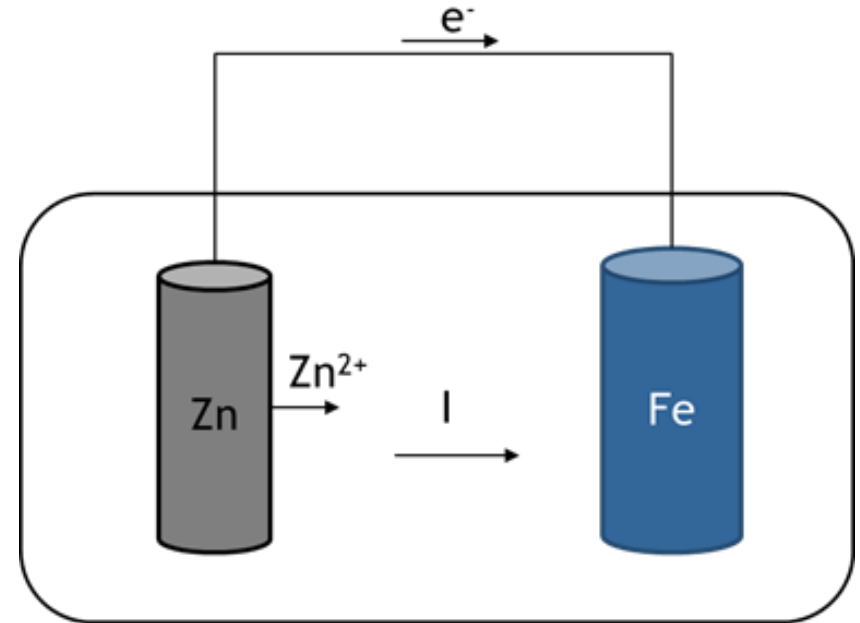
KORROSJONSFORMER SOM KAN FØRE TIL ØKT KORROSJON I SPRINKLERSYSTEMER

GALVANISK KORROSJON

- Sammenkobling mellom to materialer med ulik grad av edelhet kan føre til akselerert korrosjon på det minst edle materialet

Eksempel:

- Sammenkobling mellom sink og stål fører til akselerert korrosjon av sink



GALVANISK KORROSJON VED ENDRING AV RØRMATERIALE

- Endrer man rørmateriale fra forsinket stål til et annet materiale underveis i et prosjekt vil man få galvanisk korrosjon
- Dette vil føre til akselerert korrosjon av sink og dermed økt hastighet for hydrogenutvikling og raskere trykkoppbygging



Foto: <http://www.familyhandyman.com/>

LEKKSTRØMSKORROSJON

- Normalt et problem for nedgravde eller nedsenkede rør
- Ikke et vanlig problem for rør i luft
- Lekkstrømskorrosjon på rør eksponert i luft krever en kobling med høy motstand
- Lekkstrømskorrosjon er trolig ikke hovedårsaken til trykkoppbygningen i rørene



PLASSERING OG UTFORMING

- Anleggenes plassering og utforming vil kunne påvirke graden av trykkøkning
- Mye tyder på at mengden gasslommer som er igjen i anlegget ved oppstart har en påvirkning på anleggets evne til å ta opp trykkøkningen

ANDRE MULIGE ÅRSAKER TIL TRYKKØKNING

- Trykkøkning i sprinkleranlegg kan skyldes variasjoner på trykket på tilførselen fra det lokale vannverket
- Hvis man har opplevd plutselige eller spesielle trykkøkninger på anlegget kan det være fornuftig å kontakte vannverket for å undersøke om det er loggført unormale trykkøkninger

ANLEGG UTEN TRYKKØKNING

Det kan være flere mulige årsaker til at man i enkelte anlegg med forsinkede rør ikke har registrert en trykkøkning:

- Overflaten i rørene er tilstrekkelig passivert til at korrosjonshastigheten er så lav at man ikke registrerer noe vesentlig trykkutvikling
- Vannkvaliteten er slik at korrosjonshastigheten er tilstrekkelig lav
- Gasslommene i anlegget er av en slik størrelse at det absorberer trykkøkningen i anleggene slik at det ikke registreres høye trykk

ANBEFALINGER OG MULIGE TILTAK

Anbefalinger

- Opplæring av personell
- Trykkmåling
- Trykkreduksjon
- Gjennomspyling av rør

Mulige tiltak

- Justering av pH
- Passivering
- Inhibitor
- Nitrogenfylling



ANBEFALINGER

OPPLÆRING AV PERSONELL

- Personell må få tilstrekkelig opplæring til at de forstår hva det vil si hvis trykket øker i disse anleggene
- For å unngå ulykker ved arbeid på sprinkelsystemer er det viktig å forholde seg til enkelte sikkerhetsrutiner
- Før man har fulgt de nødvendige forholdsregler må man ikke benytte bor, hullsag eller andre skjæreredskaper

Fare!



HYDROGEN

Brennbar gass

Unngå flammer
og åpen ild

AUTOMATISK TRYKKMÅLING

- Montere en pressostat som gir varsling ved 1,5X normalt operasjonstrykk
- T-kobling under manometeret på nedstrøm side i tillegg til en pressostat
- Når det varsles om for høyt trykk må man gjøre en manuell trykkavlastning ved alle høypunkt
- Varsles ved b-alarm



TRYKKREDUKSJON

- For å unngå lekkasjer og farlige situasjoner som følge av høyt trykk vil det være nødvendig med trykkreduksjon
 - Manuell
 - Automatisk



Foto:
Engineered Corrosion
Solutions



Foto:
www.pottersignal.com



Foto:
<http://www.nibco.com/>

TRYKKREDUKSJON - MANUELL OG AUTOMATISK

Manuell trykkreduksjon

- Del av obligatorisk periodisk ettersyn
 - NS-EN 12845
 - INSTA-900
- Går gjennom anlegget og får luftet ut gass fra ulike høypunkter slik at man forhåpentligvis får redusert mengden hydrogengass

Automatisk trykkreduksjon

- Installer automatiske trykkreduksjonsventiler på høypunkter i anlegget
- Disse vil slippe ut gass når det er gass ved høypunktet

GJENNOMSPYLING VED SAMMENSTILLING OG MODIFIKASJON

- Alle nye anlegg skal gjennomspyles før de igangsettes
- Alle deler i områder hvor det har blitt utført modifikasjoner må gjennomspyles før oppstart av anlegget

Årsak:

- Alle fremmedlegemer vil kunne føre til tetting av dyser
- Spon fra boring og andre fremmedlegemer vil kunne føre til tildekkingskorrosjon eller galvanisk korrosjon og må derfor fjernes

GJENNOMSPYLING AV ANLEGG I DRIFT

- Når metaller korroderer dannes det korrosjonsprodukter
- TI er ikke kjent med tilfeller hvor korrosjonsprodukter av sink har tettet igjen sprinklerhodene
- TI vil ikke anbefale gjennomspyling av anlegg som er satt i drift
- Mulig å sette inn serviceventil for å unngå gjennomspyling av anlegg ved årlig vedlikehold

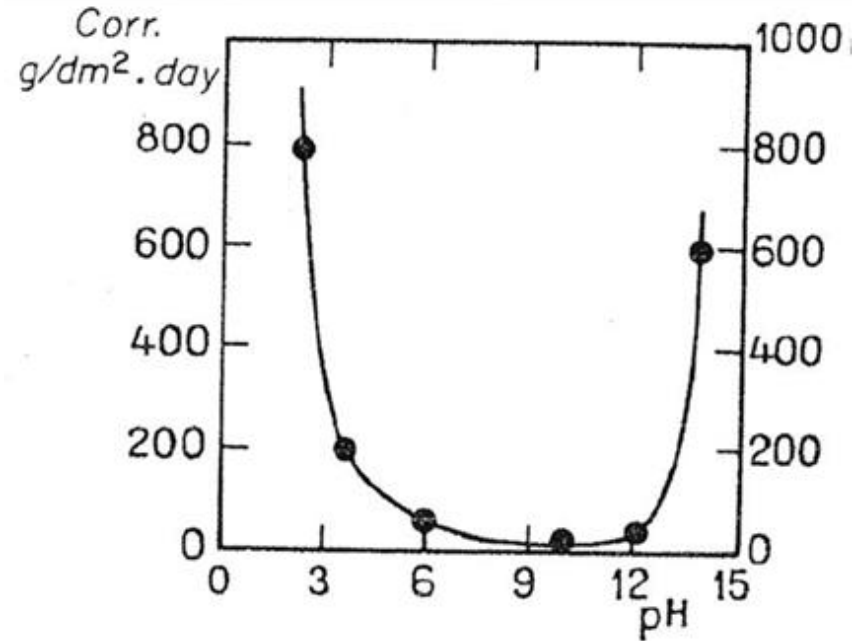


Foto: Petter Dyrnes, TI

MULIGE TILTAK

JUSTERING AV pH

- Korrosjonshastigheten til sink er lavest ved pH 10
- Injeksjon av alkaliske løsninger til innløpsvannet i anlegget
 - Natriumkarbonat (Na_2CO_3)
 - Natriumhydroksid (NaOH)
- Kjemikalier som ikke fører til økt hardhet vil ikke føre til økt utfelling av salter som kan tette dyser
- pH bør holdes under 11,5 for å unngå etseskader på mennesker



PASSIVERING

Tilsats av natriumkarbonat og magnesiumhydroksid i suspensjon

- Natriumkarbonat har vist en passiverende effekt på sink [5]
- Økt pH fører til økt passivering av stål og redusert korrosjonshastighet
- Om man i tillegg tilsetter en suspensjon av magnesiumhydroksid kan man kanskje oppnå utfelling av magnesiumkarbonat på sinkoverflaten

- Dette bør testes før man forsøker å gjøre dette på anlegg i drift
- Dette for å undersøke faren for utfelling av produkter som kan tette dysene

INHIBITOR

Skal inhibitorer benyttes så må man være sikre på at disse tilfredsstillende følgende krav:

- Reduserer korrosjon tilstrekkelig på både sink og stål
- Må ikke være til fare for akvatisk liv
- Må ha tilstrekkelig kompatibilitet med alle materialer som benyttes i et sprinkleranlegg
- Inhibitoren må ha tilstrekkelig effekt i anlegg uten fri tilførsel av oksygen

- PJE A/S har for tiden en mulig inhibitor til testing hos Sintef i Trondheim
- Resultatene av dette vil forhåpentligvis være klare i juni

NITROGENFYLLING

- Ca. 90 % av oksygen tilgjengelig for korrosjon i våtanlegg kommer fra luft som er igjen i rørene ved fylling
- Fjerning av luft ved samtidig etterfylling av nitrogen vil kunne føre til økt levetid for rørene og redusert korrosjonshastighet
- Vil ikke fjerne muligheten for utvikling av H₂-gass

Coupons in compressed air and water (12 months after cleaning and weighing).



Coupons in 98% nitrogen and water (12 months after cleaning and weighing).



Foto: Josh Tihen [6]

LEVETID - FORUTSETNING FOR ESTIMATENE

Følgende antagelser har vært gjeldende:

- Sinklagets tykkelse: 63 μm
- Veggtykkelse: 1,6 mm
- Temperatur innløpsvann: 14 °C
- 10 % luftfylt rør
- Jevn fordeling av luft
- At alt oksygen ble benyttet til korrosjon av sink først
- Beregningene ser på generell korrosjon
- Levetid basert på nødvendig veggtykkelse ved 40 bar trykk

Gjennomsnittlig korrosjonshastighet fra litteraturen (mm/år) [7,8,9,10,11,12,13,14]		
Oksygen (O ₂)	Sink	Stål
	Stagnerende/ semi-stagnerende	Stagnerende/ semi-stagnerende
Mettet	0,18	0,26
Utarmet	0,04	0,02

LEVETID - RESULTATER

Levetid på rørene med antagelse om stillestående system uten lekkasje av O₂

Zn (Korroderert bort)	1,7 år	Fylling en gang per år 10% gassfase som fordeler oksygenet jevnt
Total levetid til grense for 40 bar	41,2 år	WT 330 µm (DN 65)
Fe (gjennombrudd)	72,7 år	
Totalt til gjennombrudd	74,4 år	

KONKLUSJON

- Problemet med hydrogenutvikling i rørene skyldes korrosjon av sink
- Levetiden til rørene vil være over 40 år forutsatt at man trykkavlaster rørene med jevne mellomrom
- Ingen av tiltakene foreslått i denne presentasjonen vil kunne stanse reaksjonen for korrosjon av sink
- Avlufting, manuell eller automatisk, må vurderes i alle anlegg med forsinkede rør
- Spesielle sikkerhetsrutiner ved arbeid og vedlikehold på forsinkede rør
- Det er ikke anbefalt å bytte til annet rørmateriale underveis for anlegg hvor det allerede blir benyttet forsinkede rør
- Problemet med utvikling av hydrogen er det samme uavhengig av hvilken forsinkingsmetode som har blitt benyttet

BEHOV FOR MER INFORMASJON?

Kontakt: Line Teigen Døsland

E-post: line.teigen.dosland@teknologisk.no

Telefon: +47 915 37 472

Adresse: Kabelgaten 2, 0580 Oslo
Pb141 Økern, 0509 Oslo

BIBLIOGRAFI

- 1) R. Thomas, Varmforzinking, Stockholm: Nordisk Förzinkingsforening , 1978
- 2) A. Y. Chatalov, *Doklady Akademii Nauk SSSR* , 1952
- 3) «Boundless.com,» [Internett]. [Funnet 18. November 2015]
- 4) «The Engineering Toolbox,» [Internett]. Available: http://www.engineeringtoolbox.com/gases-solubility-water-d_1148.html. [Funnet 19 November 2015]
- 5) X. G. Zhang, Corrosion and Electrochemistry of Zinc, New York: Springer Science+Business Media, LLC., 1996.
- 6) J. Tihen, Corrosion Inhibition of Dry and Pre-Action Fire Suppression Systems Using Nitrogen Gas
- 7) American Galvanizers Association, [Internett]. Available: <http://www.galvanizeit.org/corrosion/corrosion-protection/zinc-coatings/electroplating>. [Funnet 15 Desember 2015]
- 8) Engineered Corrosion Solutions, «Wet Pipe Nitrogen Inerting (WPNI) - FAQs,» [Internett]. Available: <http://ecscorrosion.com/wet-pipe-nitrogen-inerting-wpni-faqs/>. [Funnet 16 Desember 2015]

- 9) N. F. e. al, «Corrosion of Carbon steel in waters of varying purity and velocity,» 2014
- 10) T. Yamate og S. Murakawa, «Study on the Corrosion of Steel and Zinc with Flow. Velocity and Corrosion Control by the Vacuum. Membrane Deaeration System in Tap Water. Analysis on the corrosion of steel and zinc and galvanic corrosion of gunmetal/galvanized steel pipes,» i *CIB W062 33rd International Symposium on Water Supply and Drainage for Buildings*.
- 11) P. A. Schweitzer, Red., Corrosion Engineering Handbook, 2. red., New York: Marcel Dekker, 1996
- 12) P. Su og D. B. Fuller, «Corrosion and Corrosion Mitigation in Fire Protection Systems,» FM Global, Norwood, 2014
- 13) «Corrosion Doctors,» [Internett]. Available: <http://corrosion-doctors.org/Corrosion-by-Water/Constituents.htm>. [Funnet 17 Desember 2015]
- 14) *Materials Research*, pp. 524-531, 2011