

<b>Oppdragsgiver Client</b> Finans Norge Postboks 2473 Solli 0202 OSLO Norge		<b>Utførende enhet/lab. Department/laboratory responsible</b> Teknologisk Institutt as Materialteknologi Pb 141 Økern NO-0509 OSLO	
<b>Rapportnr. Report no.</b> <b>3400-15-022194</b>			
<b>Tittel Title</b> <b>Vurdering av situasjonen med korrosjon i forsinkede rør</b>			
<b>Dato Date</b> 02.02.2016	<b>Utarbeidet av Prepared by</b> Line Teigen Døssland <i>Line T. Døssland</i>	<b>Godkjent av Approved by</b> Martin Smestad Foss <i>Martin Smestad Foss</i> Department Manager	<b>Innleveringsdato for prøve Date of receipt of test object</b>  <b>Prøvetaking utført av TI Sampling by TI</b> Nei No
<b>Revisjonsnr. Revision no.</b> -	<b>Konfig.kont. Config.contr.</b> Ja Yes	<b>Antall sider No. of pages</b> 29	<b>Ant. vedlegg No. of append.</b> 2
<b>Kopi nr. Copy no.</b>	<b>Akkreditert test (ISO 17025) Accredited test (ISO 17025)</b> Nei No	<b>Kundens ref. Client's ref.</b> Håvard Grønstad	<b>Bestillingsnr. Order no.</b> FG 570-6750
<b>Fordeling Distribution</b> Pdf til oppdragsgiver			

Prøvsresultater gjelder utelukkende de prøvede objekter. Utdrag av rapporten må ikke gjengis uten skriftlig godkjenning fra Teknologisk Institutt as.

Test results relate only to the items tested. The report shall not be reproduced except in full, without the written approval of the laboratory.

## Innhold

1.	Sammendrag.....	4
2.	Bakgrunnsinformasjon.....	4
3.	Teori .....	5
3.1	Vurdering av data fra andre undersøkelser .....	5
3.2	Ulike forsinkingsmetoder .....	6
3.2.1	Varmforsinking ved dypping i bad .....	6
3.2.2	Pre-galvanisering .....	7
3.2.3	Elektrogalvanisering .....	7
3.3	Korrosjon av sink .....	8
3.3.1	Korrosjon av sink i ferskvann.....	8
3.3.2	Atmosfærisk korrosjon av sink.....	11
3.3.3	Korrosjon av sink i sjøvann .....	11
3.4	Korrosjon av karbonstål.....	11
3.5	Galvanisk korrosjon og sammenføyning av ulike materialer .....	13
3.6	Beregninger .....	14
3.7	Trykkøkning i et bestemt anlegg .....	15
3.8	Lekkstrømskorrosjon .....	16
3.9	Hydrogens egenskaper.....	17
4.	Andre vurderinger .....	17
4.1	Plassering og utforming av sprinklersystemene .....	17
4.2	Vannanalyser .....	18
4.3	Andre mulige årsaker til trykkøkning.....	18
4.4	Anlegg hvor det ikke er registrert trykkøkning .....	19
5.	Mulige tiltak .....	19
5.1	Opplæring av personell.....	19
5.2	Trykkmåling .....	20
5.3	Trykkreduksjon.....	20
5.4	Justering av pH på innløpsvannet.....	20
5.5	Passivering ved bruk av natriumkarbonat og magnesiumhydroksid .....	21
5.6	Bruk av inhibitor.....	21
5.7	Gjennomspyling .....	22
5.7.1	I forbindelse med sammenstilling og modifikasjoner .....	22
5.7.2	Anlegg som er satt i drift .....	22
5.8	Nitrogenfylling .....	22
5.9	Lagring .....	23
6.	Levetid.....	23
7.	Bruk av forsinkede rør i tørranlegg og pre-action-anlegg .....	25
7.1	Tørranlegg .....	25

# Rapport

## Report

Rapportnr. Report no.

3400-15-022194

Revisjonsnr Rev.nr. -

Side Page 3 av of 29

Dato Date 02.02.2016



---

7.2	Pre-action-anlegg.....	25
8.	Diskusjon og oppsummering.....	26
8.1	Årsaken.....	26
8.2	Tiltak.....	26
8.3	Levetid.....	26
9.	Konklusjon.....	27
10.	Videre arbeid.....	27
11.	Bibliografi.....	28

## 1. Sammendrag

Teknologisk Institutt as (TI) har fått i oppdrag å utføre en vurdering av problematikken rundt anvendelse av forsinkede rør i sprinkleranlegg. I prosjektbeskrivelsen er TI blitt bedt om å utføre en kartlegging, sammenfatning og kvalitetssikring av allerede foreliggende funn rundt bruk av forsinkede rør i sprinkleranlegg. I tillegg til dette har TI blitt bedt om å utarbeide råd og veiledninger for bruk, kontroll og vedlikehold. Man ønsket også at TI skulle foreta en vurdering av levetiden for eksisterende anlegg med forsinkede sprinklerrør. Hovedfokus i denne rapporten er våtanlegg med forsinkede rør.

## 2. Bakgrunnsinformasjon

Årsaken til at TI har blitt forespurt om å foreta en vurdering av problematikken rundt bruk av forsinkede sprinklerrør er at det på enkelte anlegg har blitt rapportert om kraftig trykkøkning. I tillegg til dette har det blitt rapportert om et tilfelle med stikkflammer fra et rør. Dette skjedde i forbindelse med sveising av rør som hadde vært i bruk i tre år.

Slik Teknologisk Institutt har forstått situasjonen har det blitt meldt inn 10-15 tilfeller hvor anlegg med forsinkede sprinklerrør har fått betydelig trykkøkning. Det finnes 1-2 millioner meter med forsinkede rør ute på det norske markedet. I kategorien forsinkede rør så finner man elektrogalvaniserte, pre-galvaniserte og varmforsinkede rør. Kun pre-galvaniserte rør og varmforsinkede rør benyttes i sprinkleranlegg.

Bakgrunnen til at forsinkede rør har blitt brukt i den utstrekningen som det har er at man i begynnelsen forventet like lang eller lengre levetid for forsinkede rør som for sorte stålrør. Rørene var godkjent i henhold til kravene i FM 1630 [1] for bruk i både våte og tørre systemer. I tillegg til dette hadde det blitt utført livsløpstester som viste gode resultater for forsinkede sprinklerrør. Fra de utførende selskapenes side hadde de tynnveggede forsinkede rørene store fordeler i forhold til vanlige karbonstålrør. Disse er lettere og dermed enklere å håndtere. I tillegg så ga de forsinkede overflatene utvendig på røret et tilfredsstillende utseende og man slapp i mange tilfeller å male rørene på utsiden.

I alle anleggene hvor det er benyttet forsinkede rør er det rimelig å anta at man vil finne en blanding av ulike materialer. Man vil først og fremst finne kobberlegeringer rundt sprinklerhodet. I tillegg til dette vil det trolig være noe kobberlegeringer i enkelte av anleggenes sprinklerventil. I tillegg til dette så er det trolig enkelte anlegg hvor karbonstålrør har blitt benyttet for de minste rørdimensjonene ettersom varmgalvaniserte rør ikke har vært tilgjengelig i alle dimensjoner fra alle leverandørene.

### 3. Teori

#### 3.1 Vurdering av data fra andre undersøkelser

I forbindelse med problemstillingen med korrosjon av forsinkede sprinklerør har det blitt gjort noen vurderinger tidligere. Disse vurderingene har blitt gjort av blant annet Sintef Materialer og Kjemi, Inspecta og SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

I de beregningene som har blitt gjort tidligere har man gått ut fra en korrosjonshastighet på 31  $\mu\text{m}/\text{år}$ . Årsaken til dette er at dette er oppgitt som tabellverdi for korrosjonshastigheten til sink i vann med pH 8,3, hardhet på 110 ppm og tilgang på luft. TI er ikke enig i at denne korrosjonshastigheten kan benyttes som representativ i sprinklersystemet. Dette skyldes at det i sprinklersystemene i utgangspunktet ikke er fri tilgang på oksygen. Dette skulle forhåpentligvis medføre en noe lavere korrosjonshastighet enn 31  $\mu\text{m}/\text{år}$ .

Korrosjonshastigheten til sink i kokt destillert vann ved romtemperatur er oppgitt til å være 5,0  $\text{mg}/\text{dm}^2/\text{dag}$  i henhold til et forsøk hvor sink ble eksponert i 7 dager [2]. Dette svarer til 26  $\mu\text{m}/\text{år}$  og er lavere enn korrosjonshastigheten man kan forvente for vann mettet med luft. Korrosjonshastigheten til sink i destillert vann som sakte ble boblet med oksygen ble i et lignende forsøk funnet til 43  $\text{mg}/\text{dm}^2/\text{dag}$  som tilsvarer 218  $\mu\text{m}/\text{år}$ . Ut fra dette så ville trolig en korrosjonshastighet av sink på 20  $\mu\text{m}/\text{år}$  være en mer realistisk antagelse enn 31  $\mu\text{m}/\text{år}$ . Dette skyldes blant annet at korrosjonshastigheten normalt vil være redusert med 30 % i bløtt kranvann i forhold til destillert vann [3].

Fra bildene i en av de tidligere rapportene var det mulig å se at korrosjonsangrepet var størst i de områdene som var fylt med vann og mindre over vannlinjen. Det var også mulig å se korrosjonsproduktene som hadde blitt dannet på sinkoverflaten. Dette var hvite relativt voluminøse korrosjonsprodukter som tyder på at det er snakk om sinkhydroksid og sinkoksid. Dette stemmer godt overens med de teoretiske betraktningene som har blitt gjort.

I en av vurderingene utført tidligere ble det gjort en evaluering av mengder, tid og tiltak. Der kom man frem til at det ved en korrosjonshastighet på 31  $\mu\text{m}/\text{år}$  teoretisk sett kan dannes 0,007 liter hydrogen gass per  $\text{cm}^2$  med røroverflate. Dette innebærer at for et rør med ytre diameter 76,1 mm kan det dannes 17 liter hydrogen gass per meter rør per år. Med en total sinktykkelse på 65  $\mu\text{m}$  vil det da kunne utvikles 35 liter hydrogen per meter rør.

I henhold til beregningene utført tidligere så kan trykkoppybyggingen teoretisk sett komme opp i 49 bar. Dette forutsetter en korrosjonshastighet på 31  $\mu\text{m}/\text{år}$  og at alt hydrogenet forblir inne i røret.

I vurderingen utført av Inspecta kom man frem til at de fleste av tiltakene som har blitt foreslått tidligere ikke vil kunne stoppe korrosjonsreaksjonen og at korrosjonsreaksjonen vil kunne fortsette så lenge det er sink på overflaten.

Sveriges tekniske forskningsinstitut (SP) har ved en tidligere anledning vurdert korrosjonsbestandighet av sprinklerør [4]. I denne undersøkelsen ble to prøvebiter fra tre ulike rør eksponert i kranvann som var mettet med oksygen. To av rørene som ble eksponert var forsinkede, mens det ene røret var ubehandlet karbonstål. Resultatene av denne undersøkelsen er gitt i Tabell 1: Korrosjonshastighet til karbonstål og galvanisert stål i destillert vann som blir boblet med oksygen. Konklusjonen fra denne undersøkelsen var at forsinkede rør hadde en korrosjonshastighet på 20  $\mu\text{m}/\text{år}$  og ubehandlede karbonstålrør hadde en korrosjonshastighet på 54  $\mu\text{m}/\text{år}$ . Disse korrosjonshastighetene er gjeldene for vann mettet med oksygen.

Tabell 1: Korrosjonshastighet til karbonstål og galvanisert stål i destillert vann som blir boblet med oksygen

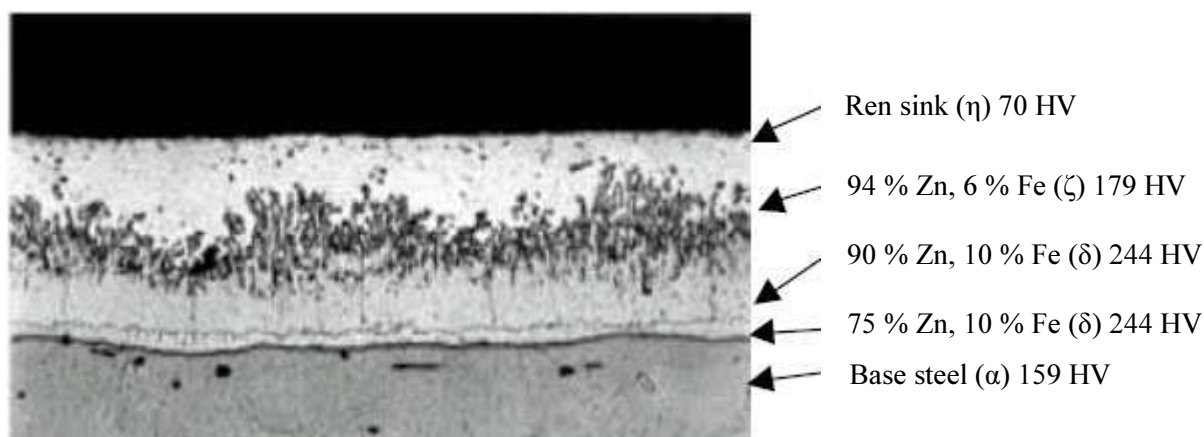
Prøve	Korrosjon per år, middelerdi [mm]
Ubehandlet stål, 1	0,054
Galvanisert stål, 2	0,020
Galvanisert stål, 3	0,020

## 3.2 Ulike forsinkingsmetoder

### 3.2.1 Varmforsinking ved dypping i bad

Varmgalvanisert stål har blitt benyttet i ulike industrier i mange år for å beskytte stål mot korrosjon. Varmgalvaniseringsprosessen innebærer å påføre sink ved å dyppe deler i bad med smeltet sink. Denne prosessen går over flere trinn hvor man først fjerner glødeskall ved beising (dypping i løsning av syre), deretter bruker man et flussmiddel som hindrer oksidering av overflaten før det dypes ned i et bad med flytende sink. Temperaturen på sinkbadet er normalt ca. 460 °C. Når stålet kommer i kontakt med den flytende sinken skjer det reaksjoner slik at det bygges opp ulike jern-sinksjikt. Innholdet av jern avtar mot overflaten og helt ytterst er det som oftest et sjikt av ren sink som dannes når stålet tas ut av badet. Ettersom enkelte deler av belegget består av en legering mellom jern og sink med høy hardhet så fører dette til at belegget kan sprekke ved kraftig bøyning av stålet. Figur 1 viser et eksempel på hvordan de ulike fasene fordeler seg i et sinkbelegg som er påført ved dypping i bad. Forkortelsen HV i figuren står for Hardhet Vickers.

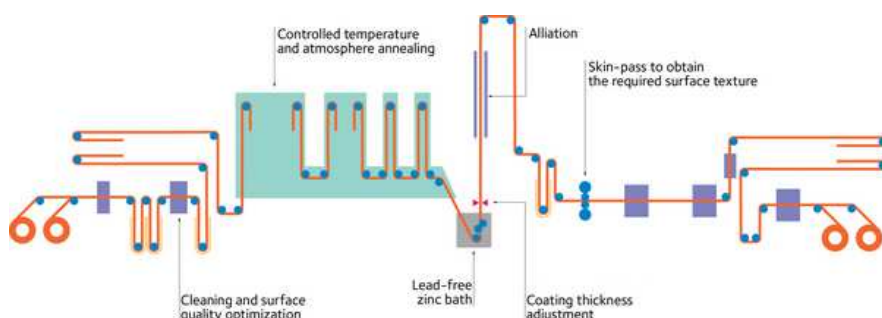
Sinkykkelsen til varmforsinket stål avhenger i stor grad av stålkvaliteten. Tykkelsen vil kunne være 85-115  $\mu\text{m}$  litt avhengig av stålkvalitet [5].



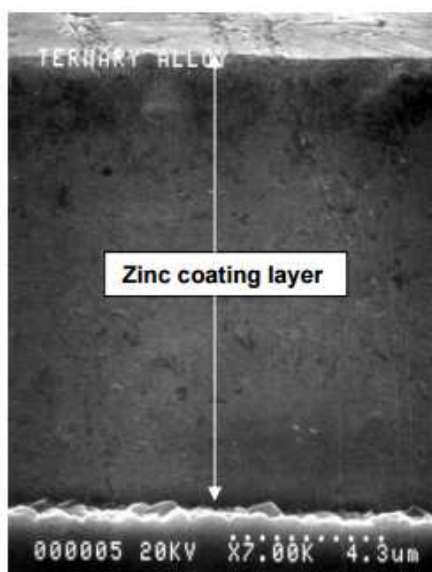
Figur 1: Typisk tverrsnitt for sinkbelegg ved varmforsinking ved dypping [6]

### 3.2.2 Pre-galvanisering

Dette er begrepet som benyttes om rør som er laget av plater som har blitt kontinuerlig galvanisert og deretter sveist sammen til rør. Figur 2 viser en prinsippskisse for prosessen ved kontinuerlig galvanisering av tynnplater. I denne prosessen er sinkbadet tilsatt små mengder aluminium (0,15-0,19%) [7]. Det som har blitt tilsatt av aluminium fører til at det dannes en legering som består av tilnærmet 45% aluminium (Al), 35% Fe and 20-35% Zn ( $Fe_2Al_{5-x}Zn_x$ ) på overflaten av stålet istedenfor en jern-sink legering slik som det gjør ved tradisjonell varmgalvanisering. Dette legeringslaget er tynt og kan derfor bøyes og formes uten at belegget sprekker så lett. Normale tykkelser er 7-80  $\mu m$  [8] [9]. Figur 3 viser et tverrsnitt av et sinkbelegg som er påført med kontinuerlig galvanisering.



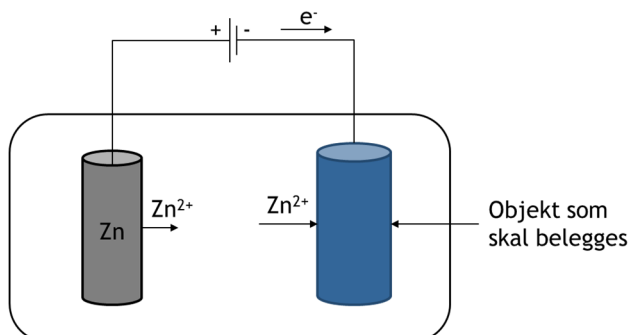
Figur 2: Prinsippskisse for kontinuerlig galvanisering av stålplater



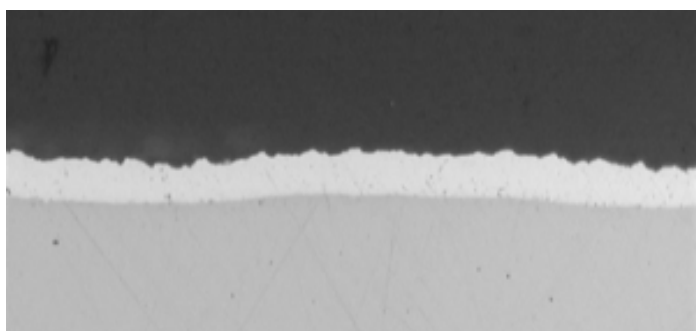
Figur 3: Tverrsnitt av kontinuerlig galvanisert sinkbelegg [7]

### 3.2.3 Elektrogalvanisering

I dette tilfellet påføres sinken ved bruk av elektrolytisk avsetning. Først avfettes overflatene som skal forsinkes før de renses for rust og glødeskall ved syrebeising. Deretter plasseres stålgenstanden i en sinksaltoppløsning og så kobles den til det negative uttaket på en likeretter. Anoden er ren sink, se prinsippskisse i Figur 4. Når strømmen kobles til så skjer det en utfelling av sink på ståloverflaten. Dette sinkbelegget har kun mekanisk vedheft til overflaten [5]. Tykkelsen ved elektrolytisk forsinking er normalt lav (f.eks. 10  $\mu m$ ). Elektrogalvanisering brukes først og fremst som et dekorativt belegg og ikke som korrosjonsbeskyttelse [10]. Elektrogalvanisering benyttes ikke for rør som skal benyttes i sprinkleranlegg.



Figur 4: Prinsippkisse for elektrolytisk galvanisering



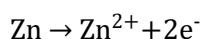
Figur 5: Tverrsnitt som viser et elektrogalvanisert belegg [11]

### 3.3 Korrosjon av sink

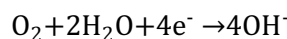
#### 3.3.1 Korrosjon av sink i ferskvann

Korrosjonsmekanismene som omtales i denne rapporten er gjeldende både for pre-galvaniserte rør og varmforsinkede rør.

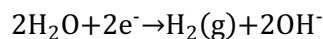
En av beskyttelsesmekanismene når man bruker sinkbelegg til beskyttelse av stål er at sink korroderer og ofrer seg til fordel for stål. Reaksjonsmekanismen for anodereaksjonen ved korrosjon av sink er:



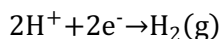
En mulig katodereaksjon er:



Denne reaksjonen fører til at oppløst oksygen forbrukes. Når alt oksygenet er forbrukt så vil ikke denne reaksjonen lenger være mulig. Da vil den eneste mulige katodereaksjonen være hydrogenutvikling fra vann:

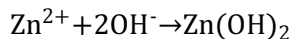


Det er trolig hydrogenutvikling som er årsaken til trykkoppbyggingen i rørene. Hydrogenutvikling er en mulig katodereaksjon for korrosjon av sink. Dette kan sees fra Figur 6 som viser Pourbaix diagram for sink. Linjen b viser linjen for oksygenreduksjon og linjen a viser linjen for hydrogenutvikling (hydrogenreduksjon).





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



Sinkhydroksid er et hvitt, voluminøst produkt som kun er løst tilknyttet sinkoverflaten. Dette produktet beskytter dermed dårlig mot korrosjon og korrosjonsprosessen kan fortsette uten en betydelig reduksjon slik man ser for beskyttende passive filmer. For sink vil man dermed beholde en relativt høy korrosjonsrate over lenger tid da hydroksidutfelling forsinkes økningen i pH samtidig som sinkhydroksidet som dannes ikke senker mulighetene for korrosjon betydelig.

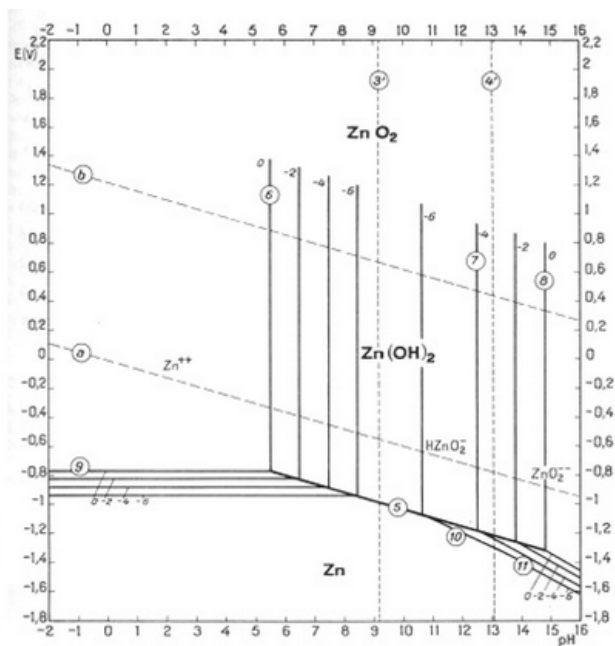
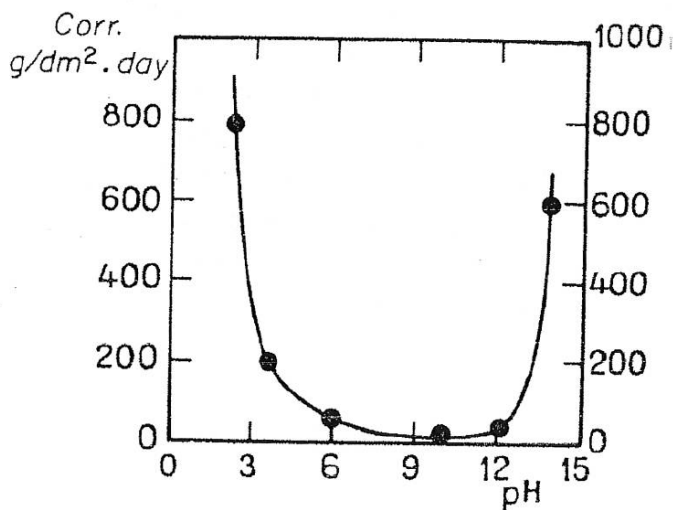


FIG. 1. Potential-pH equilibrium diagram for the system zinc-water, at 25°C. [Established by considering  $\alpha\text{-Zn}(\text{OH})_2$ .]

Figur 6: Pourbaix diagram for sink

Korrosjonshastigheten til sink er i stor grad påvirket av pH [12]. Figur 7 viser korrosjonshastigheten til sink som funksjon av pH.



Figur 7: Korrosjonshastigheten til sink avhengig av pH [12]

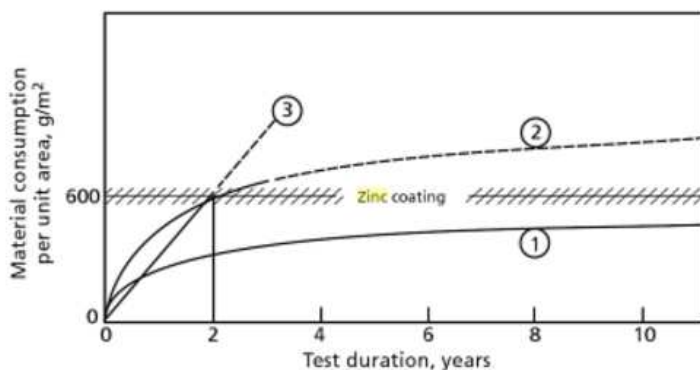
Korrosjonshastigheten til sink og sinks evne til å bli dekket av en korrosjonsbeskyttende film er sterkt påvirket av vannets egenskaper. Som man kan se ut fra Figur 6 og Figur 7 så er pH en av faktorene som har sterk påvirkning på korrosjonshastigheten av sink. En annen faktor som har sterk påvirkning på korrosjon av sink er hardheten. I Norge har vi stort sett bløtt vann og dette er mer korrosivt for sink enn det hardt vann er. For å ta et eksempel så har drikkevannet i Oslo en hardhet på 2,4-3,2 dH° [13]. Vann blir kategorisert som bløtt så lenge hardheten er under 8 dH°. Når vannet har høyere hardhet så øker sannsynligheten for at et beskyttende belegg av sinkkarbonat, magnesium- og kalsiumsalter får felle ut på overflaten av sinken.

Forsinket stål benyttes en del i kuldeanlegg uten store problemer. En av leverandørene av slike anlegg (evapco) skriver i et av sine dokumenter at for å forsikre seg om lang levetid for slike anlegg så er det viktig med en plan for passivering i oppstarten [14]. Hvis man ikke har dette så er det en fare for at det forsinkede materialet korroderer raskt og at det dannes voluminøse sinkprodukter. De oppfordrer derfor alle som skal benytte slike systemer til å ha en innkjøringsplan for passivering før anlegget settes i drift. Dette innebærer at man har en plan for å holde vannkjemien innenfor bestemte parametere mens man benytter sirkulerende vann i et system uten temperaturpåvirkninger. Passiveringen kan ta mellom 4 og 6 uker. Og da er det spesielt viktig med pH kontroll og at man har kontroll på vannkvaliteten de første ukene. De kritiske parameterne for passivering av sink er gitt i Tabell 2.

Tabell 2: Kritiske parametere for passivering av sink

Parameter	Passiveringsverdi
pH	7,0-8,0
Konduktivitet	<2 400
Kalsium hardhet	>50 ppm (~2,8 dH°)
Klorider	<250 ppm
Sulfater	<250 ppm
Alkalitet	<300 ppm
Klor (biocid)	<0,5 ppm

Det er gjort noen undersøkelser av korrosjon av sink i drikkevann hvor man blant annet har sett på effekten av oksygeninnholdet i vannet. Figur 8 viser korrosjonshastigheten per enhetsareal av sink som en funksjon av tid. De ulike kurvene viser korrosjonshastigheten for ulike situasjoner. Linje 1 viser korrosjonshastigheten for vann med økt pH og lav strømningshastighet. Linje 2 viser korrosjonshastigheten ved lav pH og høy strømningshastighet. Begge disse kurvene viser korrosjonshastigheten ved et opprinnelig oksygeninnhold på 6 til 8 mg/l. Linje 3 viser korrosjonshastigheten ved pH 7 og et opprinnelig oksygeninnhold på 0,5 mg/l.



Figur 8: Typisk korrosjonshastighet per enhetsareal for sink i drikkevann i forhold til det originale sinkbelegget som en funksjon av tid [15].

1: Økt pH og lav strømningshastighet

2: lav pH og høy strømningshastighet.

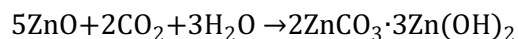
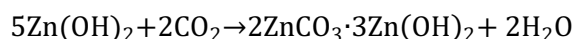
3: lav pH og lavt oksygeninnhold

En mulig medvirkende årsak til problematikken som oppstår i sprinkleranleggene kan være blandingen mellom ulike materialer i anleggene. I de fleste anleggene har man en sprinklerventil bestående av et ventilhus i støpejern og en tilbakeslagsventil i en kobberlegering. I tillegg til dette så består mange av sprinklerhodene som er på markedet i dag av en eller annen form for kobberlegering. Dette kan føre til at man får noe galvanisk korrosjon i de tilfellene hvor man har elektrisk kontakt mellom ulike materialer. Man vil da få akselerert korrosjonsprosessen på sink.

Hydrogenutvikling blir påvirket av tilstedeværelsen av ulike ioner i løsningen. Tilstedeværelse av ionene  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{As}^{3+}$ ,  $\text{Sn}^{2+}$  og  $\text{Sb}^{3+}$  vil kunne bidra til økt hydrogenutvikling på sinkoverflaten [16]. Man kan regne med at det som minimum er tilstedeværelse av jernioner og kobberioner i vannet som man finner i sprinkleranleggene. Tilstedeværelsen av jernioner vil skyldes at ventilhuset til sprinklerventilen består av støpejern. Tilstedeværelsen av kobberioner vil i enkelte tilfeller kunne komme fra selve sprinklerventilen og fra sprinklerhodene som stort sett er laget i en form for kobberlegering.

### 3.3.2 Atmosfærisk korrosjon av sink

Grunnen til at sink har gode korrosjonsegenskaper som det har ved atmosfærisk eksponering skyldes i stor grad at det over tid dannes en karbonatfilm på overflaten av sinken. Dette skjer ved at sinkoksid og/eller sinkhydroksid reagerer med karbondioksid fra atmosfæren [16]. Dette skjer etter følgende reaksjonsmekanismer:



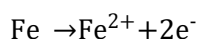
Filmen av basisk sinkkarbonat som dannes på overflaten er mindre løselig i vann enn sinkoksid og sinkhydroksid. Denne bidrar derfor til redusert korrosjon av sink ved atmosfærisk eksponering.

### 3.3.3 Korrosjon av sink i sjøvann

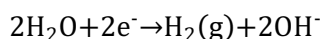
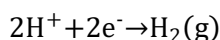
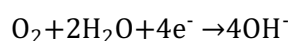
Sjøvann inneholder en del klorider og man skulle derfor forvente at sink korroderer hurtig i sjøvann. Dette er likevel ikke tilfellet. Man har funnet ut at tilstedeværelsen av magnesium- og kalsiumsalter i sjøvann er årsaken til at korrosjonshastigheten til sink i sjøvann er såpass lav som den er [17]. Dette skyldes at det felles ut kalsium- og magnesiumkarbonat på overflaten når man har en fordelaktig pH. Dette beskytter overflaten mot korrosjon.

### 3.4 Korrosjon av karbonstål

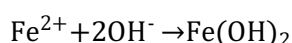
Anodereaksjonen når stål korroderer er gitt under.



Det er tre mulige katodereaksjoner ved korrosjon av stål. Disse er gitt under.

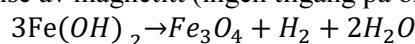


Jernionene reagerer med hydroksidionene og danner jernhydroksid

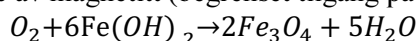


Jernhydroksid vil reagere videre avhengig av tilgangen på oksygen. Ved ingen tilgang på oksygen kan jernhydroksid oksidere i en prosess med protonene i vannet og danne magnetitt, ved svært begrenset tilgang på oksygen vil det dannes magnetitt ved en reaksjon med oksygen og ved god tilgang på oksygen vil det dannes rust. Reaksjonene for dette er vist under.

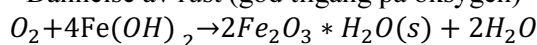
Dannelse av magnetitt (ingen tilgang på oksygen)



Dannelse av magnetitt (begrenset tilgang på oksygen)



Dannelse av rust (god tilgang på oksygen)

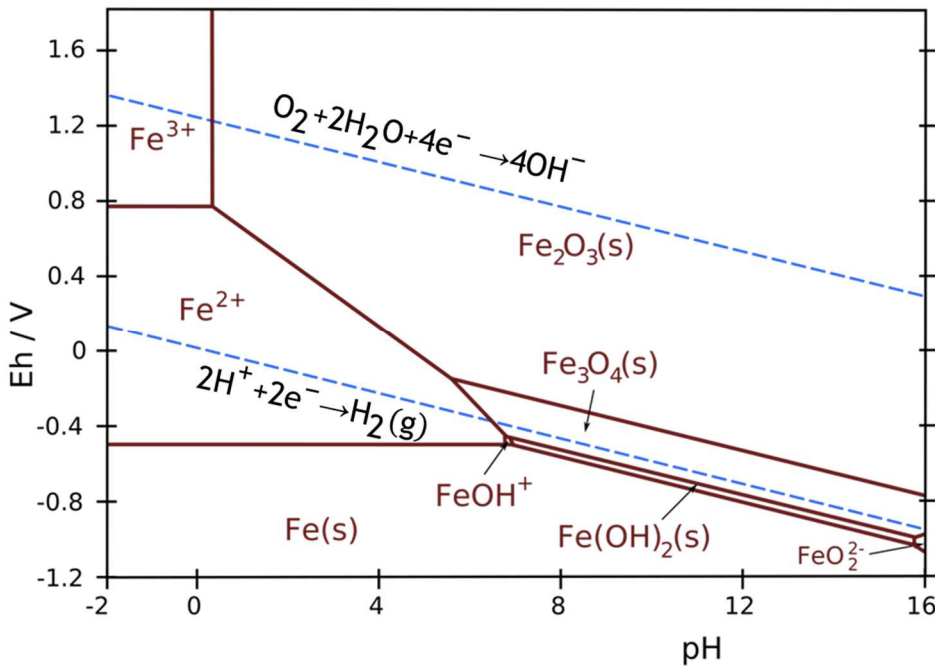


Filmene som dannes av magnetitt er normalt meget beskyttende og korrosjonsraten vil synke betraktelig når jernhydroksid er stabilt og man har begrenset tilgang på oksygen. I systemer med god tilgang på oksygen vil korrosjonsraten kunne opprettholdes høy over lengre tid, da man kun får en begrenset beskyttelse fra rust som normalt er voluminøs og dårlig knyttet til ståloverflaten.

I væsker med nøytral og nær nøytral pH så er oksygenreduksjon den mest aktuelle katodereaksjonen. Stabiliteten til de ulike fasene med jern kan man se fra Pourbaix-diagrammet for jern som er vist i Figur 9. Figuren viser at betydelig korrosjon normalt vil forekomme ved en pH under 6.5. Ved lav pH vil man kunne få oppløsning av jern som divalente ioner. Ved høyere pH viser figuren at man kan forvente passivering av metalloverflaten. Den primære katodereaksjonen vil normalt være reduksjon av oksygen for området under oksygenlinjen. Når oksygenet da er brukt opp vil korrosjonsreaksjonen normalt (uten tilgang på syre i væsken) bli redusert betraktelig fordi man da kun har hydrogenutvikling som katodereaksjon. Ved moderat til høy pH vil tilgangen på hydrogen i vannet være svært begrenset. I tillegg til dette så pleier karbonstål å korrodere på en slik måte at et jevnt passiveringssjikt oppstår ved pH over 8. Enkelte steder kan likevel passivsjiktet brytes ned og dette kan føre til lokal korrosjon.

Som vist i diskusjonen på korrosjon vil man forvente hydrogenutvikling både ved korrosjon av jern og sink. Denne prosessen er pågående selv på passivert materiale, men er da så begrenset at det ikke oppstår problemer med trykkøkning innen de tidsskalaene man opererer med for sprinklerrør (år).

Man vil ikke oppleve samme utstrekning av problemet med hydrogengassproduksjon ved korrosjon av stål som man opplever ved korrosjon av sink. Grunnen til dette er den ulike beskyttelsen man oppnår ved utfelling av hydroksid på overflaten. For stål vil man raskt få en meget beskyttende passivfilm på overflaten mens passivfilmen på sink ikke er tett nok til å begrense korrosjonsraten. Kombinasjonen av en dårlig beskyttende film og utfelling av hydroksid på sinkoverflaten gjør at korrosjonsraten (og dermed hydrogenutviklingsraten) kan holde seg høyere over lengre tid på en sinkoverflate. Dette kan forklare situasjonene med kraftigere trykkoppbygning i forsinkede rør kontra stålrør.

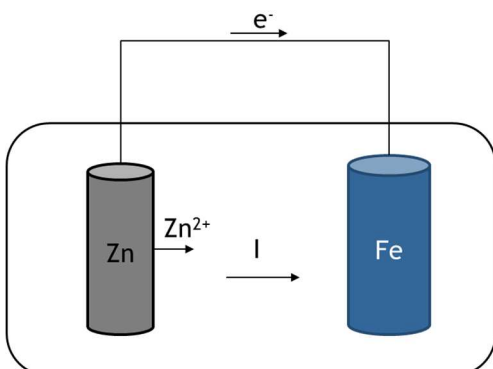


Figur 9: Pourbaix-diagram for jern

### 3.5 Galvanisk korrosjon og sammenføring av ulike materialer

En av årsakene til at sink har blitt benyttet mye til beskyttelse av stål er at sink er mindre edelt enn stål og vil kunne beskytte stålet også når det oppstår en skade i sinkbelegget. Dette skyldes i utgangspunktet fenomenet galvanisk korrosjon som er en korrosjonsform som oppstår når man føyer sammen materialer med ulik plassering i den galvaniske spenningsrekka. En gjengivelse av den galvaniske spenningsrekken er gitt i vedlegg 1. I denne figuren er de mest edle av metallene plassert lengst nede til venstre og de minst edle plassert lengst oppe til høyre.

Når man sammenfører to materialer med ulik plassering i den galvaniske spenningsrekken så vil dette føre til akselerert korrosjon på det minst edle av materialene. For å ta et eksempel så kan man se på en sammenkobling mellom sink og karbonstål. Når sink og karbonstål er sammenkoblet i en elektrolytt (vann) vil sink korrodere og ofre seg til fordel for stålet. Korrosjonshastigheten til stål vil gå ned, mens korrosjonshastigheten til sink vil øke. Figur 10 viser en prinsippskisse for galvanisk korrosjon mellom sink og stål. Figur 10: Prinsippskisse for galvanisk korrosjon



Figur 10: Prinsippskisse for galvanisk korrosjon

Flere faktorer vil være med å påvirke tendensen for at galvanisk korrosjon vil oppstå. Først og fremst er det nødvendig med metallisk kontakt mellom to materialer med ulik plassering i spenningsrekken. I tillegg til dette så vil potensialforskjellen mellom de ulike materialene være en vesentlig faktor. Desto større potensialforskjell (større avstand i spenningsrekka) det er mellom materialene desto høyere sannsynlighet er det for at galvanisk korrosjon kan oppstå. I tillegg til dette så har arealforskjellen mellom de ulike materialene mye å si, dette gjelder spesielt hvis materialene er sammenkoblet i en elektrolytt med god ledningsevne.

Arealforholdet mellom anode (det minst edle materialet) og katode (det mest edle materialet) er en svært viktig faktor for å avgjøre korrosjonshastigheten ved galvanisk korrosjon. Følgende sammenheng gjelder for korrosjonshastigheten.

$$\text{Strøm anode} = \text{Strøm katode}$$

$$i_a \cdot A_a = i_k \cdot A_k$$

$$i_a = \frac{i_k \cdot A_k}{A_a}$$

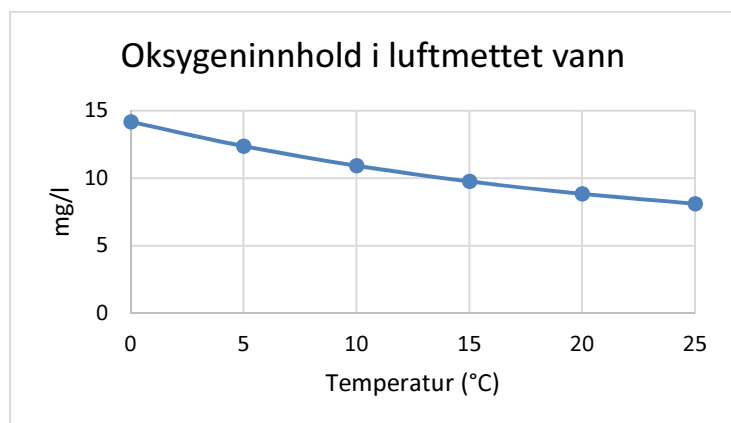
Strømtettheten på anoden  $i_a$  er proporsjonal med korrosjonshastigheten på anoden. Man kan dermed se at korrosjonshastigheten på anoden blir større hvis anoden er mindre enn katoden. Ut fra dette kan man se at det er mest hensiktsmessig om arealet på det minst edle materialet er større enn arealet til det mest edle materialet.

### 3.6 Beregninger

Før det dannes hydrogengass inne i rørene vil korrosjonsprosessen ha forbrukt alt oksygenet. Det finnes tabeller som viser innholdet av oksygen i luftmettet vann [17].

Tabell 3: Oksygeninnhold i luftmettet vann

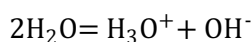
T (°C)	mg/liter	ml/liter
0	14,16	9,9
5	12,37	8,65
10	10,92	7,64
15	9,76	6,83
20	8,84	6,18
25	8,11	5,67



Figur 11: Graf som viser sammenhengen mellom temperatur og oksygeninnholdet i luftmettet vann.

Tabell 3 viser oksygeninnholdet i luftmettet destillert vann. Figur 11 viser sammenhengen mellom temperatur og oksygeninnholdet i luftmettet destillert vann. Det er rimelig å anta at mengden oksygen i ferskvann er relativt lik mengden oksygen i destillert vann ved en gitt temperatur. Temperaturen på innløpsvannet vil kunne variere fra ulike vannverk og med ulike tidspunkt på året, men for å kunne gjøre et estimat på hvor mye pH vil ha økt til etter at alt oksygenet er forbrukt har man valgt å gå ut i fra en temperatur på 14 °C som kan antas å være normal gjennomsnittstemperatur på innløpsvannet. Fra data fra mattilsynets innrapporteringsskjema for vannanalyser fra 2013 er det mulig å finne at gjennomsnittlig pH på vannet som er levert fra de kommunale vannverkene i Oslo er 7,7. Verdier for pH har store variasjoner avhengig av hvilke vannverk vannet er hentet fra og når på året prøvene er analysert, men for å gjøre en beregning mulig er det nødvendig å velge en verdi og det er derfor valgt å benytte en opprinnelig pH på 7,7.

Vannlikevekten er fra litteraturen oppgitt å være:



Likevektskonstanten for denne reaksjonen er:

$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1.00 \cdot 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{dm}^6$$

Følgende definisjon er gjeldende for pH:

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

Gitt at vi har en liter innløpsvann med en temperatur på 14 °C. Da vil mengden oksygen i innløpsvannet være tilnærmet 10 mg/l. Dette svarer til en  $3,13 \cdot 10^{-4}$  mol/l.

For beregningenes skyld antas det at alt av  $\text{O}_2$  i innløpsvannet forbrukes og at det ikke er noe mer  $\text{O}_2$  i likevekt med vannet. Når alt oksygenet da har ført til korrosjon av sink vil det ha blitt dannet  $1,25 \cdot 10^{-3}$  mol/l med  $\text{OH}^-$  noe av dette vil reagere med sink og felle ut som sinkhydroksid ( $\text{Zn}(\text{OH})_2$ ) mens noe av hydroksidet vil bli igjen i løsningen og føre til økt pH. Dette innebærer at hvis ikke noe av hydroksidet reagerer videre med sink ville pH kunne økt til 11,1 på bakgrunn av at oksygenet i vannet forbrukes.

Opprinnelig konsentrasjon av  $\text{OH}^-$  i innløpsvannet var  $5,01 \cdot 10^{-7}$  ettersom opprinnelige pH er antatt å være 7,7.

Når alt oksygenet er brukt opp vil korrosjonsreaksjonen for sink føre til utvikling av hydrogengass.

### 3.7 Trykkøkning i et bestemt anlegg

TI har fått tilgang til trykkprotokollen fra et av anleggene med trykkøkning. Grafer som viser trykkøkningen som funksjon av tid er gitt i vedlegg 2. Fra disse grafene så er det mulig å se at trykkøkningen i anlegget er lineær, men at stigningstallet for trykkøkningen er avhengig av når på året trykkøkningen har skjedd. Stigningstallet er lavest ved avlesningene gjort i mars og april og høyest ved avlesningene gjort i juni og juli. Dette tyder på at trykkøkningen er høyest i månedene med høy temperatur. Dette kan ha en sammenheng med at korrosjonshastigheten øker ved høyere temperatur. At trykkøkningen er høyest ved høyere temperatur har også en sammenheng med at trykk for ideelle gasser normalt sett vil øke ved høyere temperatur. I tillegg så er gassers løselighet i vann lavere ved høyere temperatur. Det gjennomsnittlige stigningstallet for trykket er 0,11 bar/dag. Hvis man da ikke gjør noen tiltak for å redusere trykket vil man i dette bestemte anlegget kunne komme opp i trykk på tilnærmet 40 bar i løpet av et år.

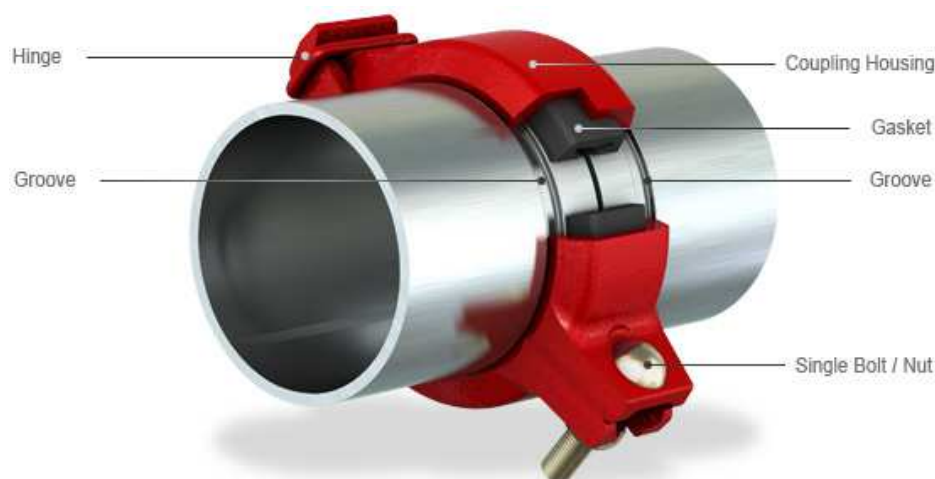
### 3.8 Lekkstrømskorrosjon

Det er fra arbeidsgruppen som jobber med problematikken rundt forsinkede sprinklerrør stilt spørsmål ved om lekkstrømmer kan ha påvirket prosessen som skjer. Normalt sett er lekkstrømskorrosjon noe som er forventet på utsiden av rør. Det er derfor lite trolig at lekkstrømskorrosjon er årsaken til korrosjonsproblematikken med de forsinkede rørene.

Det finnes likevel spesialtilfeller hvor lekkstrømskorrosjon kan oppstå på innsiden av rør. Dette er da stort sett hvis man har korrosjon i nærheten av en isolerende kobling, en elektrolytt (spesielt med lav motstand) gjennom koblingen og spenning over koblingen [18]. Om det er dette som fører til korrosjon og hydrogenutvikling kan man forsøke å teste ved å bruke en lekkasjestrømtang.

Måten rørene er koblet sammen på ved bruk av rillekoblinger kan føre til at man har koblinger med høy motstand. Hvis man for eksempel har malte koblingshus så er det en økt motstand over koblingen. Rørene er ofte ikke i fysisk kontakt med hverandre over koblingen. Det er derfor en mulighet for at lekkstrømmer kan ha bidratt til å akselerere prosessen i enkelte av anleggene.

Slike lekkstrømmer kan komme fra ledninger med høy spenning som ligger i nært opptil rørledningene. Lekkstrømmer kan også komme fra jordfeil i bygningsmassen eller som følge av at en elektriker har valgt et sprinklerrør som jordingspunkt. I tillegg til dette så kan man i enkelte tilfeller ha lekkstrømmer ved lynnedslag.



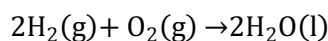
Figur 12: Prinsippskisse for rillede koblinger

De fleste rapporterte tilfellene for lekkstrømskorrosjon i litteraturen handler om utvendig korrosjon i jord eller vann [18, 19]. TI tror derfor at det er lite sannsynlig at hovedårsaken til korrosjon og trykkoppbygging i rørene er lekkstrømskorrosjon.

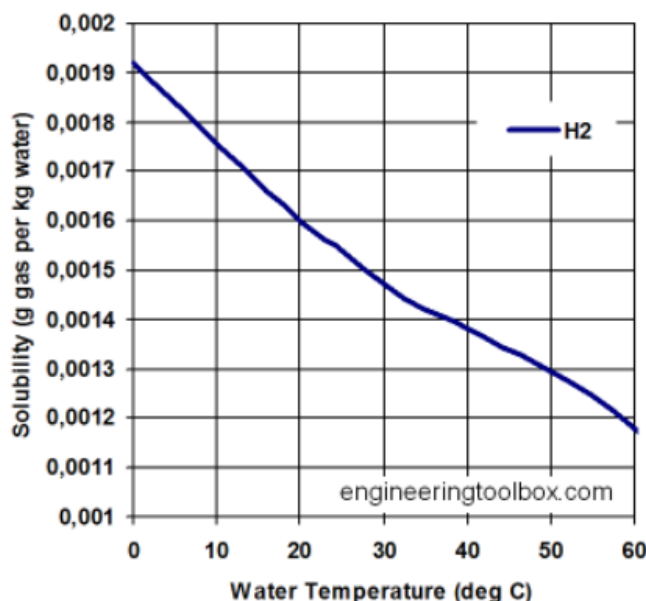


### 3.9 Hydrogens egenskaper

Hydrogengass ( $H_2$ ) er svært brennbar og vil kunne antennes i konsentrasjoner mellom 4 og 75 volumprosent [20]. Reaksjonen for forbrenning av hydrogen er gitt under.



Figur 13 viser løseligheten til hydrogengass i vann ved ulike temperaturer [21].



Figur 13: Løselighet av hydrogengass i vann ved ulike temperaturer [21]

Hydrogengass er lettere enn luft og vil derfor stige til det høyeste punktet i rørene. Hydrogengass vil også stige til det høyeste punktet i et rom ved en eventuell lekkasje. Hydrogengass har en høy diffusjonshastighet i luft 2 cm/s (STP). Dette gjør at hydrogen spres raskt og vil tynnes raskt ut i luft. Dette vil trolig begrense skadene av en eventuell lekkasje. Til sammenligning har bensin en diffusjonshastighet i luft på 0,2 cm/s (STP) [22].

## 4. Andre vurderinger

### 4.1 Plassering og utforming av sprinklersystemene

I henhold til informasjon som TI har fått fra prosjektgruppen er det mye som tyder på at problemene med trykkøkning er størst for anleggene hvor rønettene ligger med bakfall fra tilførselen. Mens det er mindre problemer med trykkøkning for anleggene som har en enklere utforming og stiger mot et høyere punkt.

Det er flere mulige teorier bak at problemene er størst i anlegg som ligger i bakfall. En mulig teori er at mange av disse anleggene har mer innviklet geometri med flere lavpunkter og høypunkter enn anlegg som stiger mot et naturlig høypunkt. Dette mistenkes å føre til at det vil samles opp mer gass i disse områdene enn i de enklere systemene.

En annen mulig årsak til at trykkøkningene er mer markante i anleggene som ligger i bakfall kan være verdt å undersøke. Det kan være at man i anleggene med bakfall blir hjulpet av tyngdekraften i forbindelse med fylling og at disse anleggene faktisk inneholder mindre gassvolumer enn det de enklere anleggene som stiger mot et høypunkt gjør. Det er derfor en mulighet at den prosentvise størrelsen på gasslommene som kan ta unna trykkøkningen er større for anlegg som ligger i bakfall.

## 4.2 Vannanalyser

Det er tatt vannprøver fra tre ulike sprinklerkretser i et bygg i Oslo vest. Resultatene av disse vannanalysene er gitt i Tabell 4 - Tabell 6. Den forenklete testrapporten 3000-15-022194 er gitt i sin helhet i Vedlegg 3.

Tabell 4: Resultater av analyser for System 332.001, Parkering og kjeller

Parameter	Metode:	Resultater:
pH	NS-EN 12176	8,35
Jern, Fe	NS-EN ISO 11885	220 µg/l
Sink, Zn	NS-EN ISO 11885	200 µg/l
Kobber, Cu	NS-EN ISO 11885	< 10 µg/l
Magnesium, Mg	NS-EN ISO 11885	4,3 mg/l
Kalsium, Ca	NS-EN ISO 11885	15 mg/l

Tabell 5: Resultater av analyser for System 332.002, U1, 1. og 2. etasje

Parameter	Metode:	Resultater:
pH	NS-EN 12176	9,64
Jern, Fe	NS-EN ISO 11885	136 µg/l
Sink, Zn	NS-EN ISO 11885	300 µg/l
Kobber, Cu	NS-EN ISO 11885	< 10 µg/l
Magnesium, Mg	NS-EN ISO 11885	2,6 mg/l
Kalsium, Ca	NS-EN ISO 11885	14 mg/l

Tabell 6: Resultater av vannanalyser for system 332.003, 3, 4, 5 og 6

Parameter	Metode:	Resultater:
pH	NS-EN 12176	8,88
Jern, Fe	NS-EN ISO 11885	250 µg/l
Sink, Zn	NS-EN ISO 11885	300 µg/l
Kobber, Cu	NS-EN ISO 11885	< 10 µg/l
Magnesium, Mg	NS-EN ISO 11885	4,4 mg/l
Kalsium, Ca	NS-EN ISO 11885	15 mg/l

Resultatene av vannanalysen viser en økning i pH i alle tre systemene hvis man sammenligner med pH 7,7 som er den gjennomsnittlige pH for det kommunale drikkevannet i Oslo. Dette tyder på at man har korrosjon av sink og dannelse av alkaliske sinkkorrosjonsprodukter i alle tre systemene.

I alle anleggene viste vannanalysene forekomst av sink og jern. Dette tyder på at det er noe korrosjon i anlegget. Det er høy sannsynlighet for at jernforekomsten hovedsakelig kommer fra sprinklerventilen som har et ventilhus i støpejern. Mengdene kobber er under detekterbare grenser for analysemetoden som er benyttet.

Det gjennomsnittlige innholdet av kalsium for de tre systemene er 15 mg/l. Dette tilsvarer en hardhet på tilnærmet 2 °dH. Dette svarer til antagelsene om at drikkevannet i Norge er bløtt.

## 4.3 Andre mulige årsaker til trykkøkning

Trykkøkning i sprinkleranlegg kan også skyldes trykkvariasjoner på vanntilførselen fra vannverket. Man kan i enkelte spesielle tilfeller oppleve store trykkøkninger fra vannverkens side. Hvis man har opplevd plutselige trykkforandringer på et anlegg kan det være lurt å ta kontakt med vannverket som er ansvarlig for vanntilførselen til det aktuelle anlegget og undersøke om de har loggført trykkvariasjoner utenom det normale.

#### 4.4 Anlegg hvor det ikke er registrert trykkøkning

Det finnes anlegg hvor det er benyttet forsinkede rør hvor man ikke har registrert noen økning i trykket. Det kan være flere årsaker til dette. En mulig årsak kan være at rørene har blitt passivert tilstrekkelig før bruk slik at korrosjonshastighetene er så lave at utviklingen av hydrogengass skjer så sakte at man ikke detekterer unormalt høy trykkøkning. Slik passivitet kan oppstå ved lagring av rørene der sinken får tid til å danne et passivsjikt av karbonat før installasjonen. Passivitet kan også oppnå under installasjon ved at vannet man bruker har ioner eller gasser i seg som gir nok tilgang på disse elementene til at et beskyttende passivsjikt felles ut.

En annen mulighet er at vannkvaliteten inn på anleggene uten merkbar trykkøkning er av en slik kvalitet at korrosjonshastigheten er tilstrekkelig lav til at hydrogenutviklingen kun skjer ved lav hastighet. Ved lav korrosjonsrate vil man i mange tilfeller få en veldig lav produksjon av hydrogengass. Vedlike hold og andre prosesser som utlikner trykk vil i disse tilfellene maskere en oppbygning av trykket.

En tredje mulighet er at det anleggene har så store gasslommer at man kan absorbere trykkøkningen i disse uten at det registreres unormalt høye trykkøkninger.

### 5. Mulige tiltak

#### 5.1 Opplæring av personell

Det er viktig at alt av driftspersonell som jobber med anlegg hvor det er brukt varmgalvaniserte sprinklerrør får tilstrekkelig opplæring om hva det kan bety når trykket øker i disse anleggene. Dette er nødvendig for å kunne gjøre tilstrekkelig tiltak hvis problemet oppstår.

For å unngå ulykker ved arbeid på sprinklersystemer med forsinkede rør er det nødvendig å forholde seg til visse sikkerhetsrutiner [23]:

- Kontakt huseier/driftsleder for å få informasjon om anleggsforholdene.
- Sjekk trykkforhold på anlegget før arbeidet påbegynnes.
- Hvis det ikke er manometer i anlegget bør dette monteres på uttappingsventilen
- Foreta en trykkavlastning ved å åpne avtappingsventilen på sprinklerventilen forsiktig før arbeidet på ledningen igangsettes.
- Anlegget luftes ut på det høyeste punktet for å få ut så mye hydrogengass som mulig samtidig som resten av vannet i anlegget tappes ut. I lukkede rom med små volum må det utvises forsiktighet når gassen utluftes. Hvis det er mulig så anbefales det å føre gassen ut i frisk luft og/eller sørge for god luftsirkulasjon.
- Alle former for åpen ild eller verktøy som kan føre til gnister skal ikke benyttes før man er sikker på at gjenværende konsentrasjoner av hydrogengass er under 4 volum%. Det finnes portable hydrogendetektorer på markedet som tillater måling av hydrogen ned til konsentrasjoner på 15 ppm og opp til konsentrasjoner på 100 % [24].
- De delene av rørledningsnett som det skal jobbes på, bør demonteres. Der hvor det ikke er koplingsmulighet og rørene må kappes skal det brukes rørkutter. Ikke bruk skjære eller boreverktøy som utvikler gnister.
- Ved oppfylling skal rørnettet gjennomspyles og luftes godt ut.
- Hvis det skal utføres endringer på et igangsatt anlegg som medfører varme arbeider eller hulltagning anbefales det at rørlengden demonteres før arbeidet igangsettes. Eventuelt kan man sørge for tilstrekkelig utlufting av anlegget for å sørge for at det ikke finnes gjenværende hydrogengass.
- Arbeidet må dokumenteres.

Man må aldri benytte bor, hullsag eller andre skjæredskaper på rørene før man har tatt nevnte forholdsregler.

Det er likevel verdt å merke seg at hydrogen blander seg meget hurtig til luft til ufarlige konsentrasjoner. Hvis man slipper ut ca. 2000 liter flytende hydrogen i friluft så vil dette nå ufarlige konsentrasjoner i løpet av ca. et minutt [25].

## 5.2 Trykkmåling

Et mulig sikkerhetstiltak som det er mulig å gjennomføre enkelt vil være å montere på en pressostat som gir varsling når trykket på nedstrøm side overstiger 1,5x normalt operasjonstrykk. Denne kan monteres inn ved å sette inn en T-kobling under manometeret på nedstrøm side. På den ene enden av T-en monteres manometeret på den andre siden monteres pressostaten må kobles til brannalarmsentralen og gi alarm når trykket overstiger 1,5 x normalt operasjonstrykk. En mulig komponent som vil klare å gjøre denne jobben er Potter PS 100-2.

Når man da får alarm om at trykket har blitt for høyt så er det viktig å iverksette tiltak. Et mulig tiltak for å redusere trykket vil da være å manuelt avluften fra alle høypunkter i anlegget. Eventuelt å tømme hele anlegget for vann samt luften ut. Hvis det er mulig å finne en løsning som tillater å avluften ved et høypunkt uten å tømme hele anlegget for væske så vil dette være det mest gunstige for anleggets totallevetid.

## 5.3 Trykkreduksjon

Et annet mulig sikkerhetstiltak vil være å installere automatiske avluftingsventiler i høypunktene i anleggene. Man vil da fjerne hydrogengass fra anlegget og redusere trykk. Man vil slik kunne unngå at det oppstår en oppkonsentrering av hydrogengass i rørsystemene. En av ulempene med å velge denne sikkerhetsmekanismen er at eierne av anleggene ikke får noen varsling om prosessen som har oppstått. Man vil aldri oppnå et så høyt trykk på rørene at man vil bli bekymret over trykkøkningen. En annen ulempe med en slik metode er at det kan være flere steder i anlegget som opptrer som høypunkter hvor hydrogengass kan samles opp. Anleggene er ofte bygget slik at det er en del bend som kan føre til høypunkter. For å være helt sikker på at man klarer å evakuere anlegget helt er man derfor nødt til å sette inn avluftingsventiler ved alle slike høypunkter. I forbindelse med montering av slike ventiler er det viktig at disse monteres i godt ventilerte områder og ikke inne i tette områder som en bod eller lignende. Automatiske avluftingsventiler vil trolig likevel være et bra sikkerhetstiltak ettersom man da sørger for at trykket i anlegget holdes nede på et nivå som er under det maksimale trykket som anlegget tåler. Man vil da kunne unngå tilfeller med lekkasjer og personskader som følge av for høye trykk. Hvis man benytter en avluftingsventil tilsvarende Potter PAAR-B så vil man kunne sikre at denne stenges hvis vannnivået blir så høyt at man slipper ut vann istedenfor gass.

Det har som en del av prosjektet blitt foreslått å montere sikkerhetsventiler. Dette mener Teknologisk Institutt at ikke er den beste løsningen. Bakgrunnen for dette er at sikkerhetsventiler har mange ulemper. For det første så er disse nødt til å monteres slik at de har tilgang på avløp. I tillegg til dette så vil disse igjen kun føre til at trykket på anlegget reduseres. Det vil dermed ikke være noen som varsles om prosessen som foregår inne i rørene. Det er ingen garanti for at det er hydrogengass som forsvinner ut av røret med mindre man sørger for at sikkerhetsventilen plasseres på det høyeste punktet av rørene. Hvis man ikke sørger for at sikkerhetsventilene plasseres på det høyeste punktet i rørene er det en stor sannsynlighet for at det eneste som tappes av er vann og at man da sitter igjen med store volumer med hydrogengass inne i røret. Det man da kan risikere er at man ved en eventuell brann slipper ut hydrogengass istedenfor vann hvor man skal slukke brannen. Dette kan føre til store personskader ettersom hydrogen har et brennbar område på 4-75 volumprosent og et eksplosivt område på 18,3-59 volumprosent av luft.

## 5.4 Justering av pH på innløpsvannet

Ettersom sink har lavere korrosjonshastighet ved høyere pH så kan det være hensiktsmessig å justere pH på innløpsvannet ved bruk av injeksjon med løsninger av natriumkarbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) eller natriumhydroksid ( $\text{NaOH}$ ). Løsninger av disse forbindelsene vil ikke føre til økt hardhet på vannet og vil dermed ikke føre til økt utfelling av kalsium eller magnesiumsalter som kan tette dyser i systemet. Så lenge pH holdes under 11,5 så vil faren for etseskader på mennesker i forbindelse med bruk av anlegget være lav [26].

Korrosjonshastigheten for sink er lavest ved pH på omtrent 10. For å sørge for en jevnest mulig dosering av base så bør dette tilføres ved bruk av automatiske injeksjonssystemer ved fylling. Slike pumper finnes tilgjengelig på markedet.

Dypping av forsinkede overflater i karbonatløsninger har vist seg å ha positive egenskaper med tanke på korrosjon av sink. Det samme gjelder for tilstedeværelse av karbonationer i en vandig løsning [16]. Det er derfor tenkelig at tilsats av karbonat kan ha en positiv effekt på å senke hastigheten for korrosjonsprosessen av sink.

### **5.5 Passivering ved bruk av natriumkarbonat og magnesiumhydroksid**

TI mener at tilsats av natriumkarbonat og magnesiumhydroksid i suspensjon kanskje kan vurderes som et mulig tiltak for å redusere korrosjon innvendig i rørene. Natriumkarbonat har tidligere vist seg å ha en passiverende effekt på sink [16]. TI tror derfor at tilsats av natriumkarbonat tidlig i sprinkleranleggets levetid kan ha en positiv effekt på den totale levetiden til anlegget. I tillegg til den passiverende effekten på sink så vil natriumkarbonat være med på å øke pH i rørene, noe som kan være med på å føre til økt passivering av stål og dermed senke korrosjonsratene på stål. Hvis man i tillegg til natriumkarbonat tilsetter en suspensjon med magnesiumhydroksid kan det tenkes at man kan få noe av de samme effektene som i sjøvann hvor man får utfelling av et beskyttende belegg av magnesiumkarbonat på overflaten av sinken. Dette vil trolig kunne redusere korrosjonsraten noe. Etter at man har latt denne løsningen være inne i røret en periode så vil det være naturlig å tømme rørene og etterfylle med nytt vann.

TI mener likevel at før man eventuelt gjør noe slik i et faktisk anlegg så bør man sette opp en testrigg og undersøke hvilke effekter man kan oppnå, både positive og negative. Man bør blant annet undersøke om tilsats av slike forbindelser kan føre til tetting av sprinklerhoder og redusert effekt av disse.

### **5.6 Bruk av inhibitor**

Man har historisk sett vært bekymret for bruk av inhibitorer i rør til bruk i sprinkleranlegg. Dette har blant annet bakgrunn i at man har vært bekymret for at slike inhibitorer kan føre til reaksjonsprodukter som kan tette igjen sprinklerhodene. Man har også vært bekymret for at tilsetninger i sprinklerlørene kan være negative for miljøet, liv og helse. Sprinkleranlegg slik de er montert i Norge i dag står avskilt mellom drikkevannstilførselen kun ved bruk av tilbakeslagsventiler. Av denne årsaken er det viktig at eventuelle tilsetninger ikke er farlig for mennesker ved eventuelt tilbakeslag til drikkevannstilførselen. Det er også viktig at inhibitorene ikke er farlige for akvatisk liv ettersom sprinkleranleggene tappes ned ved årlig vedlikehold.

Det finnes produsenter som mener de har inhibitorer som kan være egnet til bruk i forsinkede sprinkleranlegg. Dette gjelder blant annet Pipe Joint Engineering (PJE a/s) i samarbeid med Krüger aquacare. Denne inhibitoren er for øyeblikket til testing hos Sintef. Resultatet av denne testingen kommer til å være tilgjengelig i juni 2016. Det aktuelle produktet heter Hydrex 3111 og benyttes i dag som inhibitor i varmtvannsystemer. Denne inneholder natriumhydroksid, silikatløsning og polyfosfat.

For å kunne benytte inhibitorer er det svært viktig at man undersøker den kjemiske kompatibiliteten mellom inhibitoren og materialene som benyttes. Dette gjelder for alle deler, altså sprinkleventil med ventilhus, sprinkelhoder, pakninger og selve rørmaterialet.

Det er også svært viktig at testene for å undersøke effekten av inhibitoren minner om de faktiske forholdene i et sprinkelanlegg. Man bør derfor sørge for at testene utføres uten fri tilførsel av oksygen.

## 5.7 Gjennomspyling

### 5.7.1 I forbindelse med sammenstilling og modifikasjoner

Det er svært viktig at alle sprinkleranlegg gjennomspyles i forbindelse med oppstart etter sammenstilling og modifikasjoner. Dette er for å unngå at det blir liggende igjen spon fra kutting og andre fremmedlegemer inne i rørene. Alt av fremmedlegemer fra sammenstilling og modifikasjoner kan medføre tetting av dyser. I tillegg til dette så vil spon og lignende som blir liggende i bunnen av rørene kunne føre til akselerert korrosjon av sink og stål. Slike korrosjonsangrep kan være svært lokale og kan føre til kraftig redusert levetid.

### 5.7.2 Anlegg som er satt i drift

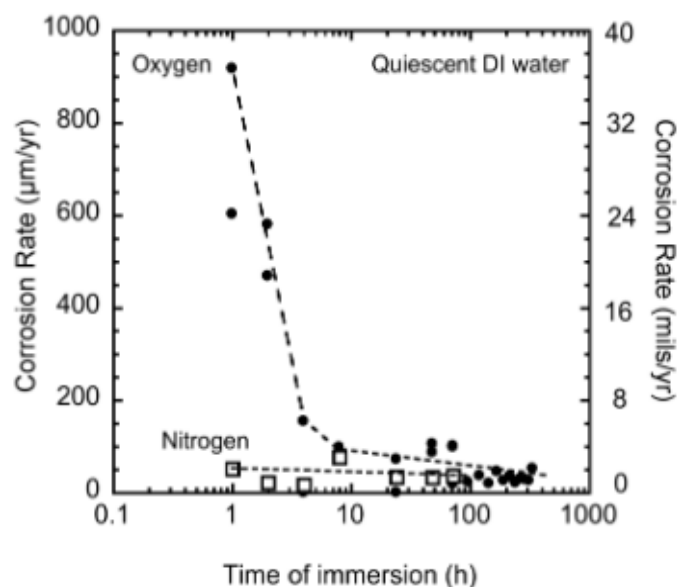
Når metaller korroderer så dannes det korrosjonsprodukter. I enkelte tilfeller som ved korrosjon av stål ved høy pH så kan korrosjonsproduktene føre til en fastsittende og beskyttende film på overflaten. I andre tilfeller kan korrosjonsproduktene som dannes være voluminøse og ha dårlig vedheft til overflaten. Hvis man får dannelse av slike korrosjonsprodukter i verste fall føre til tetting av sprinklene og dårlig effekt av anlegget. En annen negativ effekt av korrosjonsproduktene er at disse kan føre til økt friksjon i rørene og dermed høyere trykktap enn det man har beregnet for ved installasjon av anleggene.

I presentasjonen som Sintef holdt på sprinklerkonferansen i 2015 var det mulig å se at korrosjonsproduktene som har blitt dannet i et av de kjente tilfellene med korrosjon av forsinkede sprinklerør [27]. Her var det mulig å se at store volum med sinkkorrosjonsprodukter hadde samlet seg opp i bunnen av røret. Disse korrosjonsproduktene er hovedsakelig sinkhydroksid ( $Zn(OH)_2$ ), sinkkarbonat ( $ZnCO_3$ ) og sinkoksid ( $ZnO$ ). Disse er stort sett lettsmuldrende og myke og har lav sannsynlighet for å tette rør eller sprinkelhoder. Ingen av leverandørene av rør som TI har hatt kontakt med kjenner til at det har vært problemer med tetting av dyser i anlegg hvor det er benyttet forsinket stål. Det er ingen observasjoner og tidligere rapporter som tyder på at korrosjonsproduktene man får ved korrosjon av sink har større tendens til å tette sprinklerhodene enn korrosjonsproduktene som dannes ved korrosjon av stål.

Ved å gjøre gjennomspyling på rør som er satt i drift vil man frigjøre mer ukorroderet sink hvor korrosjonsprosessen kan fortsette. Det man da i praksis gjør er å rengjøre sinkoverflaten for passiverende korrosjonsprodukter slik at man får økt korrosjon. TI vil derfor ikke anbefale gjennomspyling av anlegg som er satt i drift.

## 5.8 Nitrogenfylling

Både sink og karbonstål korroderer hvis det er oksygen tilstede. For å redusere korrosjonsangrepet er det derfor hensiktsmessig å tømme sprinklerørene for luft før fylling av vann. Omtrent 90 % av oksygenet som er tilgjengelig for korrosjonsprosessen kommer fra luft som blir stående igjen i rørene ved fylling av rørene [28]. Dette vil ikke redusere hydrogenutviklingen, men det vil føre til redusert korrosjonshastighet og dermed økt levetid for rørene. Figur 14 viser korrosjonshastighet som funksjon av tid på karbonstål for et system som inneholder oksygen ved startpunktet og for et nitrogenboblet system. Dette viser hvilken effekt forhånds-fylling av nitrogen vil ha på korrosjonshastigheten til stål.



Figur 14: Korrosjonsrate som funksjon av tid på karbonstål for system med oksygen på startpunktet og for et nitrogenboblet system [29].

En mulig løsning kan være fjerning av  $O_2$  samtidig med fylling av  $N_2$ . Det finnes løsninger for å fylle sprinkleranlegg med nitrogen før påfylling med vann på markedet i dag. Både Potter og Engineered Corrosion Solutions leverer løsninger for dette.

### 5.9 Lagring

En av årsakene til at forsinket stål har god bestandighet i atmosfæren er at sinkhydroksid og sinkoksid reagerer videre med  $CO_2$  og danner basisk sinkhydroksid. Denne reaksjonen tar normalt opp til 12 måneder før den har reagert så fullstendig at man kan regne med at man har et godt fastsittende belegg av basisk sinkkarbonat på overflaten. Det kan derfor tankes at rørdeler som har ligget på lager i 6-12 måneder har bedre korrosjonsbestandighet enn deler som ikke har blitt lagret lenge før bruk. Dette vil det være vanskelig å bekrefte uten å gjøre noen faktiske forsøk med rør som lagres i ulike intervaller.

## 6. Levetid

Ettersom det er flere ulike rørprodusenter på markedet med ulike tykkelser for sinkbelegg og godstykkelse så blir det vanskelig å si noe spesifikt om levetiden til alle rørene. Det kan være det her blir nødvendig å gjøre individuelle beregninger og vurderinger for rørene som blir levert av de ulike leverandørene.

Av generelle betraktninger er det verdt å merke seg at antallet ganger anleggene tappes ned og fylles med vann vil påvirke levetiden til rørene. Dette skyldes at korrosjonshastigheten til både sink og stål vil være høyere i perioden med påfylling av nytt vann enn i periodene hvor vannet blir stående i ro i rørene.

Det er også verdt å merke seg at når sinkbelegget har korrodert bort vil man fortsatt ha en resttykkelse for karbonstål som tilsvarer den opprinnelige godstykkelsen til rørene før forsinking.

For å kunne gjøre vurderinger av den teoretiske levetiden til rørene så har man funnet tall for korrosjonshastigheten til sink og stål i vann med tilgang på oksygen og vann uten oksygen. Man har i estimatene valgt å benytte gjennomsnittsverdier for å øke robustheten til beregningene. Tallene for korrosjonshastighet er hentet fra en rekke kilder [10, 30, 28, 31, 32, 33, 34]. Tabell 7 viser gjennomsnittlige korrosjonshastigheter for sink og stål i stagnerende eller semi-stagnerende vann med og uten oksygen.

Tabell 7: Gjennomsnittlig korrosjonshastighet fra litteraturen (mm/år)

Oksygen (O <sub>2</sub> )	Sink	Stål
	Stagnerende/semi-stagnerende	Stagnerende/semi-stagnerende
Mettet	0,18	0,26
Utarmet	0,04	0,02

Fra denne tabellen er det mulig å se at korrosjonshastigheten for både sink og stål går markant ned når alt oksygenet i rørene er brukt opp.

Det kan fra data som er innhentet ses at korrosjonsraten på sink og jern i et luftfritt vann uten CO<sub>2</sub> eller divalente ioner som kan felle ut som hydroksid slik som Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> er i samme størrelsesorden. Det vil si at sinklaget på overflaten ikke vil føre til betydelig forlenget levetid sammenliknet med et karbonstålrør, men muligens en forsterket beskyttelse mot pitting. Dette grunnet sinkens rolle som offeranode.

For å tallfeste et eksempel på tenkelig levetid for et sprinklersystem med forsinkede rør benyttes et eksempel med sinktykkelse på 63 µm og veggtykkelse på 1,6 mm. I tillegg til dette så brukes et eksempel med DN 100 og veggtykkelse 2,34 mm og sinktykkelse på 63 µm.

For å kunne gjøre beregninger vil det være nødvendig å gjøre noen antagelser. Følgende antagelser har blitt gjort. Den gjennomsnittlige temperaturen på innløpsvannet er antatt å være 14 °C. Det er antatt at sprinklersystemet inneholder 10 volum% med gassfase (luftfase). Det er antatt at alt av oksygen i systemet blir forbrukt til korrosjon av sink først. Beregningene ser på generell korrosjon. Ved tilfeller av pitting kan lokal korrosjonsrate være høyere enn det som er beregnet.

Man kan da fra korrosjonsratene i Tabell 7 estimere forventet levetid for et forsinket rør. Forutsetningene er da 10 % luftfylt rør. Det antas at røret fylles en gang i året med nytt vann som medfører noe tilførsel av oksygen til systemet. Man antar at mengden oksygen fordeles jevnt i systemet. I de tilfellene man har luftlommer kan lokal forhøyet korrosjon forekomme. Dette inkluderes ikke i disse beregningene. Levetiden er fordelt på sinkbelegget og stålveggen i røret, det er oppgitt tall for nødvendig veggtykkelse for å opprettholde integritet ved 40 bar trykk og gjennomrusting. Verdiene er konservative og lengre levetid kan sees hvis man ikke har pitting på rørene. Resultatene av beregningene for estimert levetid kan sees i Tabell 8. Levetidsestimatene forutsetter at man ikke har lekkasje av oksygen.

Tabell 8: Levetid på rørene med antagelse om stillestående system uten lekkasje av O<sub>2</sub>

Zn (Korrodert 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)
Total levetid til grense for 40 bar	57,9 år	WT 530 µm (DN 100)
Fe (gjennombrudd)	72,7 år	
Totalt til gjennombrudd	74,4 år	



## 7. Bruk av forsinkede rør i tørranlegg og pre-action-anlegg

Forsinkede rør benyttes også en del i tørranlegg og pre-action-anlegg. Forskjellene mellom disse anleggene og de anleggene som har vært hovedproblemstillingen i denne rapporten er at disse anleggene i utgangspunktet er fylt med luft og ikke vann.

### 7.1 Tørranlegg

Slike anlegg er ikke forhåndsfylt med vann, men forhåndsfylt med luft fra en kompressor. Slike anlegg blir spesielt mye benyttet i områder hvor det er en fare for frysing. Man slipper da vannskader på grunn av frostsprengning og at vannet fryser fast inne i røret. Selv om slike anlegg i utgangspunktet skal være tørre er det svært sjelden at disse er helt tørre. Det kan finnes noe vannrester i anlegget fra trykktestingen når anlegget er nytt. Hvis man ikke har tilstrekkelig helning og tømmemuligheter så er det en fare for økt korrosjon i tørranlegg i forhold til i våte anlegg. I tørre anlegg har man stort sett en kontinuerlig tilførsel av oksygen og noe fuktighet. Dette fører til et svært korrosivt miljø. I noen tilfeller vil man kunne få gjennomrusting av slike anlegg på få år hvis ikke gassfasen eller mulighetene for vannlommer kontrolleres.

I slike anlegg vil man oppnå mindre korrosjon om man trykksetter anleggene ved bruk av nitrogen. Nitrogen vil ikke føre til korrosjon av rørene på samme måte som oksygen. Det er gjort flere undersøkelser hvor man ser på effekten av å fylle rørene med nitrogen istedenfor luften som normalt er tilgjengelig.

Tabell 9 oppsummerer resultatene av en slik undersøkelse hvor man har undersøkt effekten av å fylle et slikt anlegg med nitrogen istedenfor luft. Man kan fra denne tabellen se at korrosjonshastigheten går mest ned i anlegg med karbonstål. Det er likevel mulig å se at man også i anlegg med galvanisert stål får en reduksjon av korrosjonshastigheten ved å benytte nitrogen istedenfor den tilgjengelige luften.

Tabell 9: Effekten av å bruke nitrogen gass i istedenfor luft i tørranlegg. [32]

Eksponeringstid (Måneder)	Korrosjonshastighet ( $\mu\text{m}/\text{år}$ )									
	Galvanisert stål					Karbonstål				
	N <sub>2</sub>	STDev	Luft	STDev	CR Ratio Luft/N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	STDev	Luft	STDev	CR Ratio Luft/N <sub>2</sub>
2	13,7	6,9	29,2	1,5	2,1	2,8	0,5	142	40	51
4	11,2	6,4	17,8	1,0	1,6	3,3	0,5	150	17	45
10	6,4	2,5	7,4	0,8	1,2	3,6	0,5	150	15	42
12	7,4	3,3	9,4	1,0	1,3	3,6	0,3	75,2	20	21

N<sub>2</sub>: Nitrogen, 0,2 l/min, 40 psi  
Luft: Tilgjengelig luft, 0,2 l/min, 40 psi

### 7.2 Pre-action-anlegg

Slike anlegg har en stor likhet med tørranlegg med tanke på at disse også i utgangspunktet er trykksatt og forhåndsfylt med luft. Hovedforskjellen mellom et tørranlegg og et pre-action-anlegg er at pre-action-anlegg fylles med vann som følge av at et visst antall brann- og røykdetektorer varsler at en brann holder på å utvikles. Slike anlegg benyttes ofte i områder hvor man ønsker ekstra beskyttelse mot uønsket utslipp av vann, som for eksempel arkiver, museer og sykehus. Hvis man ikke får designet slike anlegg med tilstrekkelig stor helning til at vannet kan fjernes tilstrekkelig etter forhåndsfylling med vann i tilfeller uten faktisk branttilløp så er ikke dette en egnet anleggstype. Dette er heller ikke en egnet anleggstype i studenthjem og leiligheter hvor det ofte kan være røykutvikling som følge av at folk er uforsiktige i forbindelse med matlaging eller lignende. Da blir rørene fylt med nytt vann hele tiden og mye korrosjon kan forekomme slik som for tørranleggene der man har vann fanget i rørene.

I slike anlegg som er i drift så bør man sørge for at gassen i anleggene ved normal bruk er nitrogen. Dette vil kunne gi redusert korrosjon i pre-action-anlegg på tilsvarende måte som for tørranlegg.

## 8. Diskusjon og oppsummering

Denne rapporten har hovedsakelig tatt for seg problematikken med gassdannelse ved bruk av forsinkede rør i våtanlegg.

### 8.1 Årsaken

Problemet med hydrogenoppbygging stammer hovedsakelig fra korrosjon av sink. Når sinkbelegget har korrodert bort så vil problemet med trykkoppbygging i rørene bli mer eller mindre borte. Dette skyldes at drivkraften for hydrogenreaksjonen ikke er like stor ved korrosjon av stål som ved korrosjon av sink.

### 8.2 Tiltak

Korrosjonshastigheten til både stål og sink reduseres når det ikke er fri tilgang på oksygen. Dette innebærer at levetiden i rørene fortsatt kan være høy forutsatt at man gjør noen tiltak for å trykkavlaste rørene som har problemer med oppbygging av høyt trykk. Slike anlegg må utstyres med en eller annen form for trykkavlastingsmekanisme. Denne kan enten være manuell eller automatisk. Hvis man velger en manuell trykkavlastingsmekanisme har man fordelene av at man kan måle trykket og koble denne målingen til brannsentralen. Da kan man få en varslings om at det foregår en korrosjonsprosess inne i røret.

Det er viktig at alt personell som skal arbeide med sprinkleranlegg hvor det er benyttet forsinkede rør får tilstrekkelig opplæring i de nødvendige sikkerhetstiltakene.

Lagring av rørene i 6-12 måneder før bruk vil trolig kunne føre til økt passivering og dermed redusert hastighet for hydrogeneringen.

Teknologisk Institutt har basert på analysene som er gjort kommet frem til at aktiv passivering av installerte rør kan være en god metode. Dette består av en prosess der man fyller rørene med en egnet vannløsning før bruk for å danne et egnet passivsjikt. Ideelt sett kan dette være magnesiumkarbonat. Passivering kan dermed oppnås ved å fylle rørsystemet med en løsning av natriumkarbonat og magnesiumhydroksid.

Konsentrasjonen kan da justeres slik at dette felles ut på overflaten av sinken og danner en beskyttende film. TI anbefaler at en slik løsning testes under kontrollerte forhold for å finne optimale forhold for utfelling av film før det benyttes i de aktuelle sprinkleranleggene.

Ingen av tiltakene foreslått i denne rapporten vil kunne stanse korrosjon av sink helt, men noen av tiltakene vil trolig kunne føre til redusert korrosjonshastighet for stål og sink.

### 8.3 Levetid

Levetidsestimatene som har blitt utført av TI viser at våtanlegg hvor det har blitt benyttet varmforsinkede sprinklerrør kan ha en minste levetid på rundt 41 år.

## 9. Konklusjon

- Problemet med hydrogenutvikling i rørene skyldes trolig korrosjon av sink.
- Levetiden til rørene kan være rundt 41 år forutsatt at man trykkavlaster rørene med jevne mellomrom.
- Ingen av tiltakene foreslått i denne rapporten vil kunne stanse reaksjonen for korrosjon av sink.
- Avlufting, manuell eller automatisk, bør vurderes i alle anlegg med forsinkede rør.

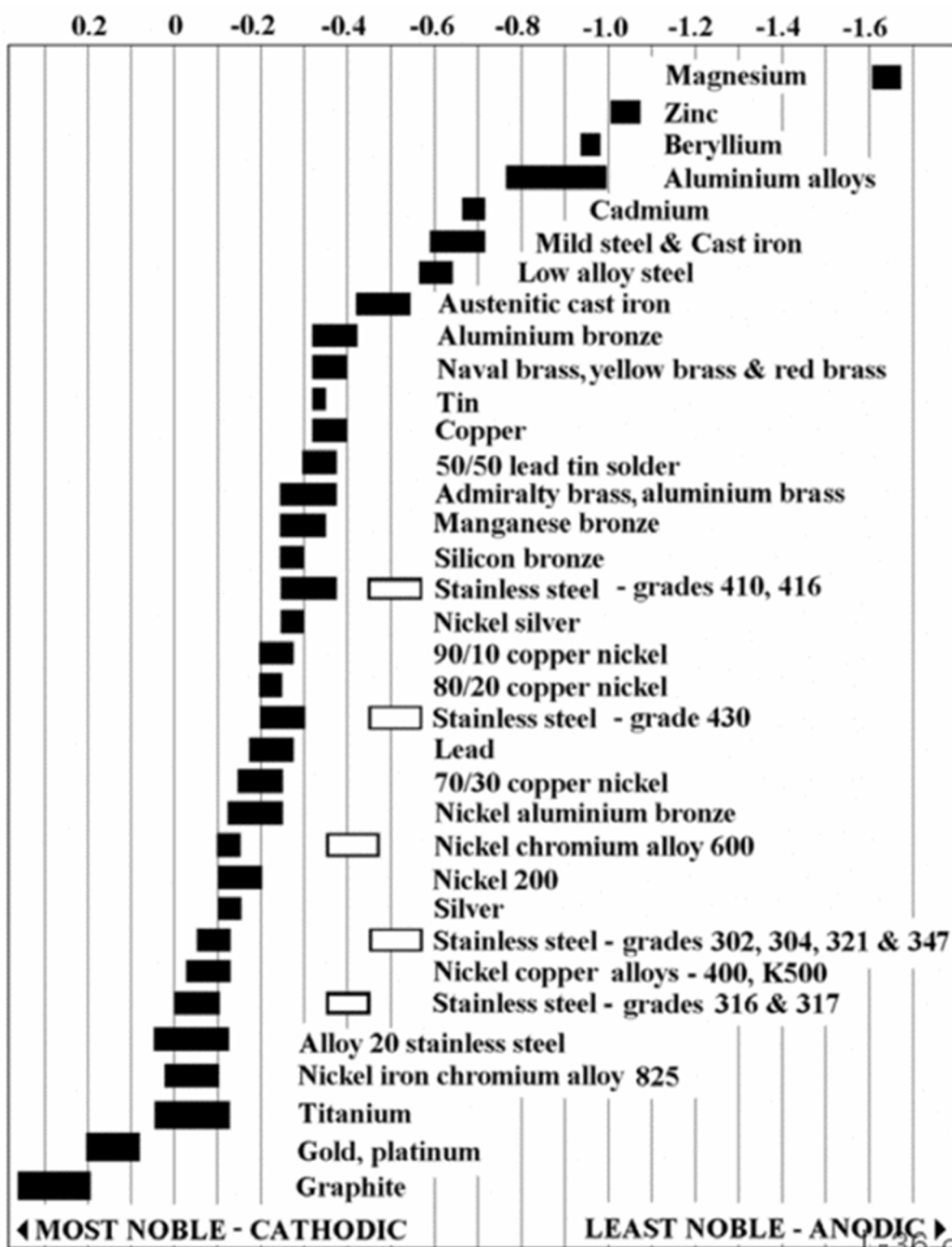
## 10. Videre arbeid

For å evaluere hvilke av tiltakene som er foreslått i denne rapporten som vil være mest hensiktsmessig og vil gi størst effekt så kan det bli nødvendig å gjøre videre arbeid. Spesielt utprøving av tiltak som er foreslått på utfelling av karbonat på overflaten sees på som aktuelle da dette kan benyttes på eksisterende og nye anlegg. TI kan utføre slike forsøk hvis det er interesse for at disse gjennomføres. TI anser ideen om en slik passivering og som konfidensiell mellom TI og partnerne i dette prosjektet. Dette betyr at TI forbeholder seg retten til en eventuell testing og utvikling av dette konseptet i samarbeid med nåværende partnere. Sammenliknbare tester med ulike metoder som også inkluderer kommersielt tilgjengelige metoder kan også være aktuelt.

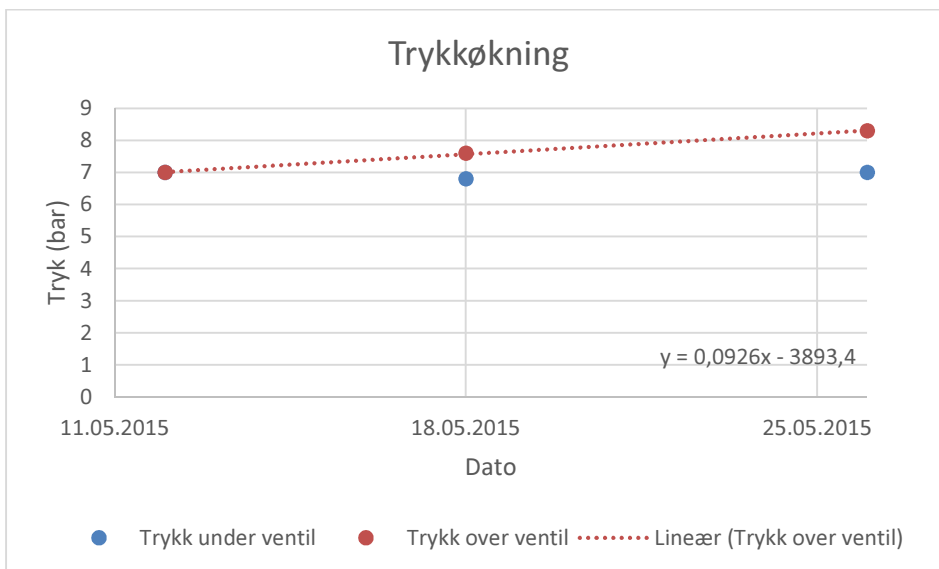
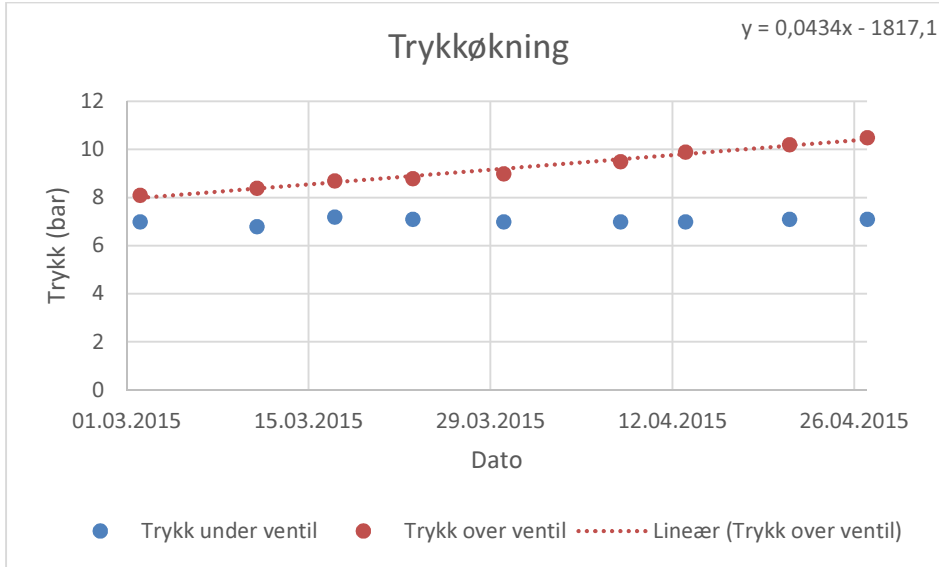
## 11. Bibliografi

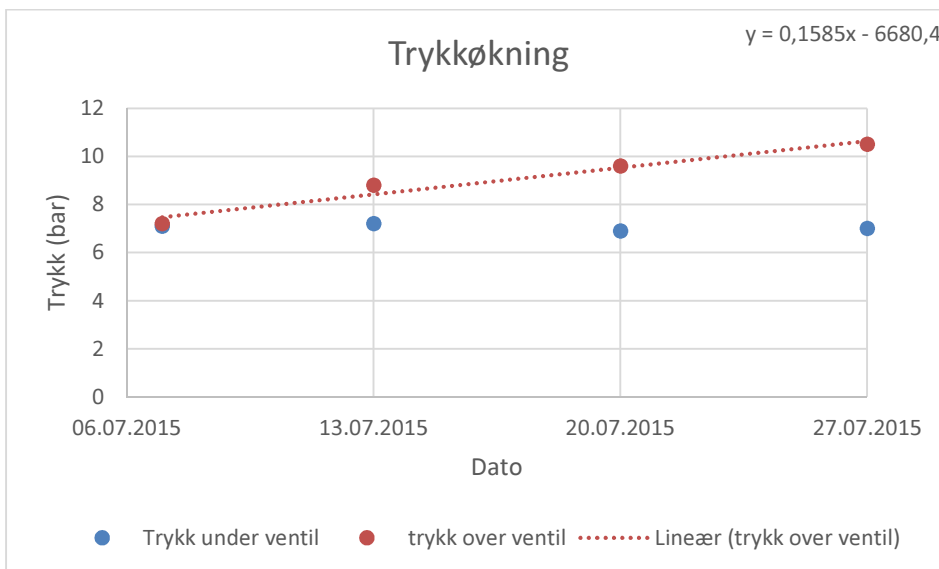
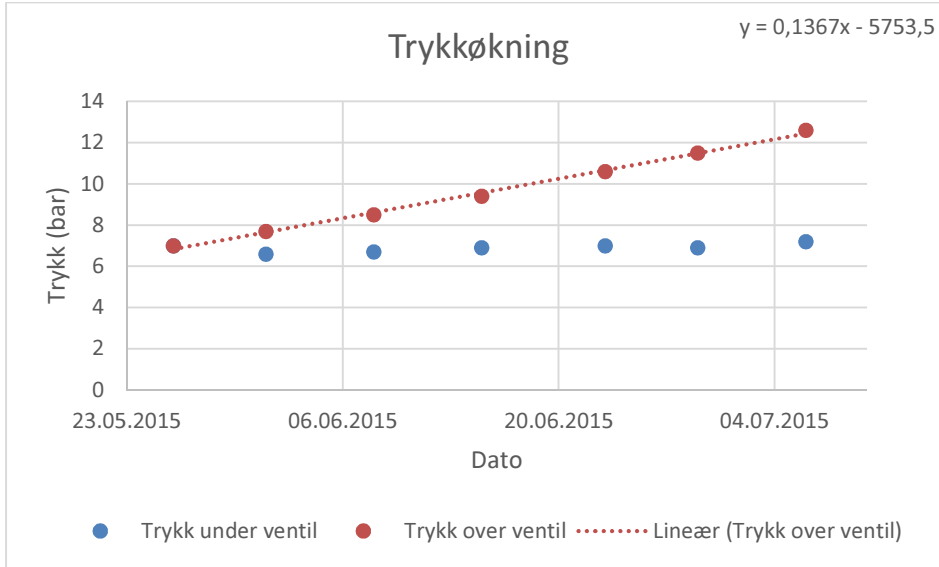
- [1] FM Approvals, «Approval Standard for Steel Pipe for Automatic Sprinkler Systems, Class Number 1630,» November 2013.
- [2] B. D. Craig, Red., Handbook of Corrosion Data, Materials Park, Ohio: ASM International, 1989.
- [3] I. Suzuki, Technology, Corrosion-Resistant Coatings, Tokyo: Marcel Dekker, 1989.
- [4] L. Lindman, «PX06452 Korrosjonsbestandighet av sprinklerrør,» SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås, 2011.
- [5] R. Thomas, Varmforzinking, Stockholm: Nordisk Förzinkingsforening, 1978.
- [6] G. O. Oluwadare, «Evaluation of Influence of Process Variables on the Corrosion Performance of Hot-dip-galvanized Steel,» *Trends in Applied Sciences Research*, pp. 320-326, 2007.
- [7] GalvInfo Center, «GalvInfoNote 2.4 The Role of Aluminum in Hot-Dip Galvanizing,» 2009.
- [8] KRUGE, «www.kruge.no,» [Internett]. Available: <http://www.kruge.no/cgi/frontend.cgi?template=product&nodeid=42654&section=Rilledede lettvektsrør>. [Funnet 1 Desember 2015].
- [9] Wuppermann, *WGalweld - All-round protection for tubes*, 2015.
- [10] American Galvanizers Association, [Internett]. Available: <http://www.galvanizeit.org/corrosion/corrosion-protection/zinc-coatings/electroplating>. [Funnet 15 Desember 2015].
- [11] ArcelorMittal, «ArcelorMittal,» [Internett]. Available: <http://automotive.arcelormittal.com/europe/products/coatings/electroalvanized/EN>. [Funnet 17 Desember 2015].
- [12] A. Y. Chatalov, *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 1952.
- [13] Oslo Kommune, «Oslo Kommune,» [Internett]. Available: <https://www.oslo.kommune.no/vann-og-avlop/drikkevannkvalitet/>. [Funnet 1 Desember 2015].
- [14] evapco, *Engineering Bulletin No. #36A: White Rust on Galvanized Steel*, 2009.
- [15] M. Schutze, M. Roche og R. Bender, *Corrosion Resistance of Steels, Nickel Alloys, and Zinc in Aqueous Media: Waste Water, Seawater, Drinking Water, High-Purity Water*, Wiley-VCH, 2015.
- [16] X. G. Zhang, *Corrosion and Electrochemistry of Zinc*, New York: Springer Science+Business Media, LLC., 1996.
- [17] L. L. Shreir, *Corrosion Volume 1 Metal/Environment Reactions*, London: Newnes-Butterworths, 1963.
- [18] E. W. McAllister, Red., *Pipelines Rules of Thumb Handbook: A Manual to Quick, Accurate Solutions to Everyday Pipeline Engineering Problems*, Burlington: Elsevier, 2009.
- [19] H. H. Uhlig, *Corrosion and Corrosion Control - an introduction to corrosion science and engineering*, Cambridge: John Wiley & Sons Inc., 1971.
- [20] «Boundless.com,» [Internett]. Available: <https://www.boundless.com/chemistry/textbooks/boundless-chemistry-textbook/nonmetallic-elements-21/hydrogen-148/properties-of-hydrogen-571-3498/>. [Funnet 18 November 2015].
- [21] «The Engineering Toolbox,» [Internett]. Available: [http://www.engineeringtoolbox.com/gases-solubility-water-d\\_1148.html](http://www.engineeringtoolbox.com/gases-solubility-water-d_1148.html). [Funnet 19 November 2015].
- [22] E. Jordanger, S. Møller-Holst, O. Maurstad og D. A. Brevik, «Hydrogen som energibærer - Energi- og utslippsregnskap for valgte energikjeder,» Sintef Energiforskning AS, Trondheim, 2002.
- [23] T. Backe og O. Larmerud, *Advarsel til alle medlemmer i Rørentreprenørene Norge*, Oslo, 2015.
- [24] H2Scan. [Internett]. Available: <http://www.h2scan.com/specs/90000005%20R5,%20HY-ALERTA%20500,%20TECHNICAL%20DATA%20SHEET.pdf>.

- [25] Norsk Hydrogenforum, «hydrogen.no,» [Internett]. Available: <http://www.hydrogen.no/om-hydrogen/hva-er-hydrogen/sikkerhet/>. [Funnet 16 Desember 2015].
- [26] Giftinformasjonen, «Helsebiblioteket.no,» 2010. [Internett]. Available: <http://www.helsebiblioteket.no/forgiftninger/gasser-og-kjemikalier/etseskader-etter-eksponering-for-alkalier-behandlingsanbefaling-ved-forgiftning>. [Funnet 9 Desember 2015].
- [27] D. D. B. Blücher, P. D. O. Ø. Knudsen, L. Eliassen og V. Ellefskas, Forfattere, *Corrosion in water filled galvanized pipes*. [Performance]. 2015.
- [28] Engineered Corrosion Solutions, «Wet Pipe Nitrogen Inerting (WPNI) - FAQs,» [Internett]. Available: <http://ecscorrosion.com/wet-pipe-nitrogen-inerting-wpni-faqs/>. [Funnet 16 Desember 2015].
- [29] N. F. e. al, «Corrosion of Carbon steel in waters of varying purity and velocity,» 2014.
- [30] 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*.
- [31] P. A. Schweitzer, Red., *Corrosion Engineering Handbook*, 2. red., New York: Marcel Dekker, 1996.
- [32] P. Su og D. B. Fuller, «Corrosion and Corrosion Mitigation in Fire Protection Systems,» FM Global, Norwood, 2014.
- [33] «Corrosion Doctors,» [Internett]. Available: <http://corrosion-doctors.org/Corrosion-by-Water/Constituents.htm>. [Funnet 17 Desember 2015].
- [34] *Materials Research*, pp. 524-531, 2011.
- [35] «L-36,» [Internett]. Available: <http://l-36.com/corrosion.php>. [Funnet 18 Desember 2015].
- [36] L. L. Shreir, Red., *Corrosion Volume 2 Corrosion Control*, London: Newnes-Butterworths, 1963.

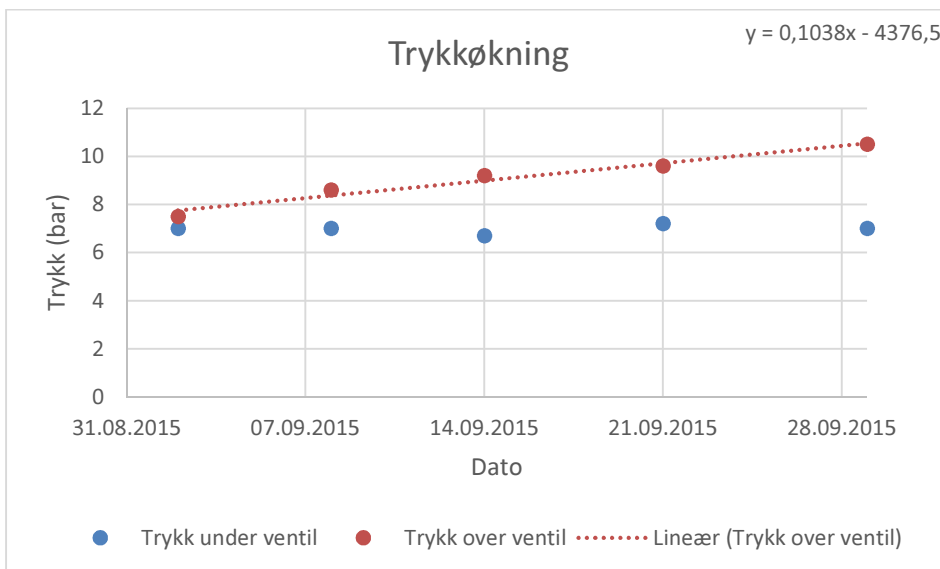
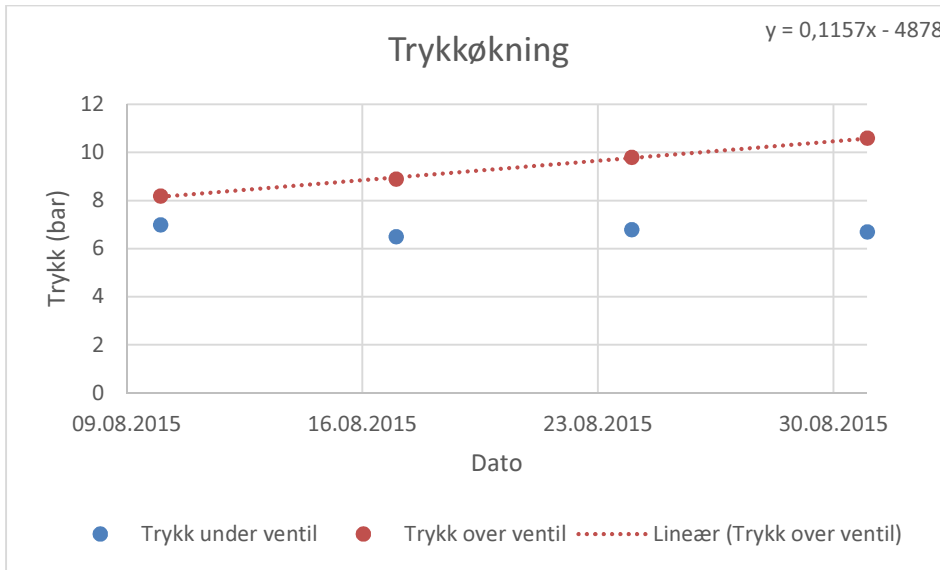


Figur A 1: Den galvaniske spenningsrekken i sjovann [35]









## Forenklet testrapport

### Simplified Test Report



Side Page 1 av of 2

Oppdragsgiver Client Teknologisk Institutt as		Utførende enhet/lab. Department/laboratory responsible Teknologisk Institutt as	
Arbeidsnr. Work order no. <b>3000-15-022194</b>			
Kunders ref. Client's ref. Line Teigen Døstland	Best.-/Arbeidsnr. Order-/ref.no -	Oppdrag mottatt. In date 11 desember 2015	Testansvarlig Test responsible Sharon M. Lover
Beskrivelse Description Analyse av vannprøver for pH, Fe, Zn, Cu, Ca og Mg		Annen informasjon Other information System 332.001, System 332.002 & 332.003	
Akkreditert test (ISO 17025) Accredited test (ISO 17025) <input type="checkbox"/> Ja Yes <input checked="" type="checkbox"/> Nei No	Prøvetaking utført av TI Sampling by TI <input type="checkbox"/> Ja Yes <input checked="" type="checkbox"/> Nei No	Kravspesifikasjon Requirements spec. -	
Beskrivelse av test/Prøve resultater Description of test/test results  Tre vannprøver var mottatt hos TI Kongsberg for analyse av pH, jern, sink, kobber, kalsium og magnesium. Prøvene var merket: 1. System 332.001 parkering og kjeller 2. System 332.002 UI, 1. og 2. etg 3. 332.003 A,B,C 3,4,5,og 6 4. Prøvene var forbeholdt iht standard og analysert 11 desember 2015 – 16 desember 2015.  <b>Resultater:</b> se side 2			
Godkjent i.h.t. krav Approval acc. to requirements <input type="checkbox"/> Ja Yes <input type="checkbox"/> Nei No <input checked="" type="checkbox"/> Ikke relevant Not applicable		Prøvearkivering Sample filing <input type="checkbox"/> Ja Yes <input checked="" type="checkbox"/> Nei No	
Dato Date 16 desember 2015		Signatur Signature Sharon M. Lover	

Sharon M. Lover

SK 0017.1a - N2

Teknologisk Institutt as

 Postadresse:  
 Pb. 141 Østern  
 0204 Oslo  
 Besøksadresse:  
 Kibergveien 2, 0280 Oslo

 Telefon: 22 86 30 00  
 Telefaks: 22 71 46 02  
 E-post: [firmapost@ti.no](mailto:firmapost@ti.no)  
 Web: [www.teknologisk.no](http://www.teknologisk.no)

Org.nr. 94 340 640

 Kongsberg: Pb. 1016, NO-3601 Kongsberg  
 Stavanger: Fossumveien 10, NO-4033 Stavanger  
 Haugesund: Pb. 93, NO-4269 Aaldernes  
 Bergen: Pb. 23, NO-5246 Agnesnes

## Forenklet testrapport

### Simplified Test Report

Enkeltvis avlesningsmålinger Desapris og resultat result:

**Resultater:**

## 1. System 332.000 Parkering og kjeller:

Parameter	Metode:	Resultat:
pH	NS-EN 12176	8,35
Jern, Fe	NS-EN ISO 11885	220 µg/l
Sinc, Zn	NS-EN ISO 11885	200 µg/l
Kobber, Cu	NS-EN ISO 11885	<10 µg/l
Magnesium, Mg	NS-EN ISO 11885	4,3 mg/l
Kalsium, Ca	NS-EN ISO 11885	15 mg/l

## 2. System 332.002, U1, 1. Og 2. Etg:

Parameter	Metode:	Resultat:
pH	NS-EN 12176	9,64
Jern, Fe	NS-EN ISO 11885	136 µg/l
Sinc, Zn	NS-EN ISO 11885	300 µg/l
Kobber, Cu	NS-EN ISO 11885	<10 µg/l
Magnesium, Mg	NS-EN ISO 11885	2,6 mg/l
Kalsium, Ca	NS-EN ISO 11885	14 mg/l

## 3. 332.003, A,B,C 3,4,5 og 6

Parameter	Metode:	Resultat:
pH	NS-EN 12176	8,88
Jern, Fe	NS-EN ISO 11885	250 µg/l
Sinc, Zn	NS-EN ISO 11885	300 µg/l
Kobber, Cu	NS-EN ISO 11885	<10 µg/l
Magnesium, Mg	NS-EN ISO 11885	4,4 mg/l
Kalsium, Ca	NS-EN ISO 11885	15 mg/l