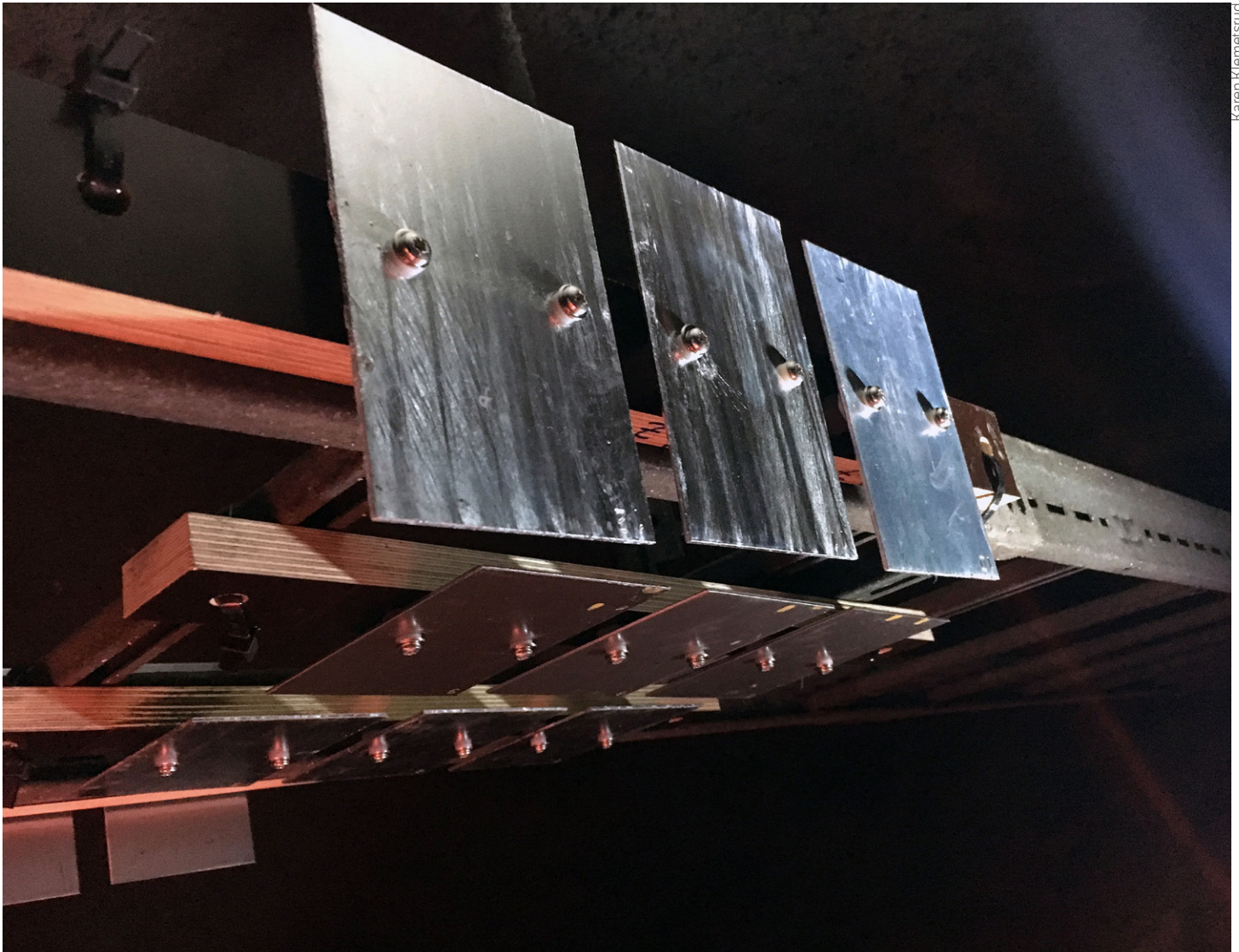




Korrosivitet i tunneler

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 394



Tittel

Korrosivitet i tunneler

Undertittel**Forfatter**

Ole Øystein Knudsen

Avdeling

Vegavdelingen

Seksjon

Tunnel og betong

Prosjektnummer

603319

Rapportnummer

Nr. 394

Prosjektleder

Karen Klemesrud

Godkjent av

Alf Kveen

Emneord

Korrosivitet, tunnel, regelverk

Sammendrag

Rapporten omhandler måling av korrosivitet i tre tunneler. Korrosivitet er målt som materialtap på sink og stål i løpet av ett år, iht. ISO 9226.

Bakgrunnen for arbeidet var å underbygge antakelser gjort mht. til korrosjon i tunneler som beskrevet i Statens vegvesen rapport 410 Korrosjonsbeskyttelse i tunneler – revidert.

Arbeidet er utført av SINTEF Materialer og kjemi i samarbeid med Statens vegvesen Sentrallaboratoriet og Tunnel- og betongseksjonen i Vegdirektoratet.

Rapporten er utarbeidet av SINTEF Materialer og kjemi.

Title

Corrosion rate in tunnels

Subtitle**Author**

Ole Øystein Knudsen

Department

Roads Department

Section

Tunnel and Concrete

Project number

603319

Report number

No. 394

Project manager

Karen Klemesrud

Approved by

Alf Kveen

Key words

Corrosion rate, tunnel, regulations

Summary

This report deals with the measurement of corrosion rate in three tunnels. The corrosion rate is measured as material loss on zinc and steel over a year, according to ISO 9226.

The background for this work was to substantiate assumptions concerning corrosion in tunnels as described in the Norwegian Roads Administration report 410 *Corrosion protection in tunnels - revised*.

The work was carried out by SINTEF Materials and Chemistry in cooperation with the Norwegian Public Roads Administration Central Laboratory and the Tunnels and Concrete Section in the Directorate of Public Roads.

The report is prepared by SINTEF Materials and Chemistry.

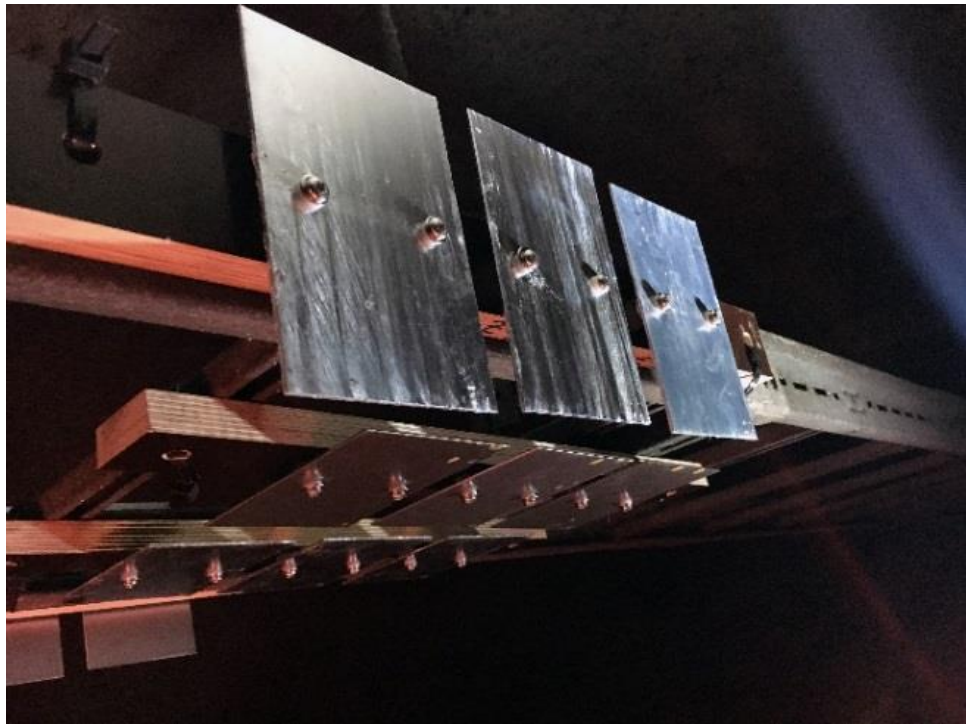
2017:00863 - Unrestricted

Rapport

Korrosivitet i tunneler

Forfatter(e)

Ole Øystein Knudsen



Rapport

Korrosivitet i tunneler

EMNEORD:**RAPPORTNR**

2017:00863

VERSJON

1.0

DATO

2018-01-17

FORFATTER(E)

Ole Øystein Knudsen

OPPDRAGSGIVER(E)

Vegdirektoratet

OPPDRAGSGIVERS REF.

Karen Klemetstrud

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

18

GRADERING

Unrestricted

GRADERING DENNE SIDE

Unrestricted

ISBN

978-82-14-06593-0

SAMMENDRAG

Valg av materiale og belegg for komponenter og utstyr i tunnel er avhengig av korrosiviteten i miljøet. I rapporten "Korrosjonsbeskyttelse i tunneler" ble korrosivitet vurdert basert på informasjon om miljøet i ulike tunneler. Da det ikke forelå målinger av korrosivitet da rapporten ble skrevet ble det gjort antagelser om korrosjonsklasser for ulike typer tunneler og lokasjoner i tunnelene. I dette prosjektet er korrosivitet målt på forskjellige plasser i tre ulike tunneler for å evaluere de antagelsene som ble gjort om korrosjonsklasser, og eventuelt senere revidere anbefalingene vedrørende korrosjonsbeskyttelse i Håndbok N500 Vegtunneler.

For sink i trafikkrommet er det målt høyere korrosjonsklasse enn antatt i Rapport 410. Ellers er antagelsene rimelig overens med det som er målt. Oversiden av horisontale flater av sink hadde spesielt høykorrosjonshastighet. Dette skyldes trolig ansamling av veistøv på disse flatene.

Anbefalingene vedrørende korrosjonsbeskyttelse i Rapport 410 og spesifisering av korrosjonsbeskyttelse i Håndbok N500 Vegtunneler tilfredsstillende de korrosjonsklassene som her er målt. Det er ikke nødvendig å revidere spesifiseringene av korrosjonsbeskyttelse i Håndbok N500 på bakgrunn av det som er målt i denne undersøkelsen.

UTARBEIDET AV

Ole Øystein Knudsen

**KONTROLLERT AV**

Astrid Bjørgum

**GODKJENT AV**

Daniel Blucher



Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.0	2018-01-17	Første versjon

Innholdsfortegnelse

1	Sammendrag og konklusjoner	4
2	Innledning	5
2.1	Bakgrunn	5
2.2	Korrosjonsklasser	5
2.3	Målsetning	5
3	Eksperimentelt	6
3.1	Materialer	6
3.2	Metode	6
3.3	Utplassering av prøver i tunneler	7
3.3.1	Lunnertunnelen	7
3.3.2	Ekeberg tunnelen	8
3.3.3	Oslofjordtunnelen	8
3.4	Testperioder for måling av korrosivitet	10
3.5	Monteringsbrakett	10
4	Resultater	11
4.1	Lunnertunnelen	11
4.2	Ekeberg tunnelen	13
4.3	Oslofjordtunnelen	14
5	Diskusjon	15
5.1	Målt korrosivitet sammenlignet med antagelsene i Rapport 410	15
5.2	Forskjellen i korrosivitet mellom sink og stål	15
5.3	Valg av materiale og belegg for komponenter i trafikkrommet	16
5.4	Valg av materiale og belegg bak vann- og frostsikring	16
6	Referanser	18

BILAG/VEDLEGG

1 Sammendrag og konklusjoner

Valg av materiale og belegg for komponenter og utstyr i tunnel er avhengig av korrosiviteten i miljøet. I rapporten "Korrosjonsbeskyttelse i tunneler" ble korrosivitet vurdert basert på informasjon om miljøet i ulike tunneler. Da det ikke forelå målinger av korrosivitet da rapporten ble skrevet ble det gjort antagelser om korrosjonsklasser for ulike typer tunneler og lokasjoner i tunnelene. I dette prosjektet er korrosivitet målt på forskjellige plasser i tre ulike tunneler for å evaluere de antagelsene som ble gjort om korrosjonsklasser, og eventuelt senere revidere anbefalingene vedrørende korrosjonsbeskyttelse i Håndbok N500 Vegtunneler.

I prosjektet er det målt korrosivitet på stål og sink i tunneler:

- Ulike typer tunneler: Undersjøisk tunnel (Oslofjordtunnelen), høytrafikkert tunnel (Ekeberg tunnelen), mindre trafikkert tunnel (Lunnertunnelen)
- Ulike plasser i tunnelen: Bak vann- og frostsikring, i trafikkrommet ved innkjøring og i trafikkrommet lenger inn.

Konklusjoner

Tabellen viser målt korrosjonsklasse på sink og stål, sammenlignet med de antagelsene som ble gjort med hensyn på korrosjonsklasse i Rapport 410. For sink i trafikkrommet er det målt høyere korrosjonsklasse enn antatt i Rapport 410. Ellers er antagelsene rimelig overens med det som er målt.

	Korrosjonsklasser		
	Rapport 410	Testplater, stål	Testplater, sink
Tørt trafikkrom høy trafikk	C3	C3	C4-C5
Tørt trafikkrom lav trafikk	C2	C3	C5-CX
Fuktig trafikkrom høy trafikk	C4		
Fuktig trafikkrom lav trafikk	C3		
Trafikkrom undersjøisk tunnel	C4	C2-C3	C4-CX
Portal	C2-C4	C3	C3-C5
Bak hvelv landtunnel	C3-C4	C1-C4	C3-C4
Bak hvelv undersjøisk	C5	C4	C4-C5

I trafikkrommet ble det målt høye korrosjonshastigheter på sink, spesielt på oversiden av horisontale flater. Dette skyldes trolig ansamling av veistøv på disse flatene.

Anbefalingene vedrørende korrosjonsbeskyttelse i Rapport 410 og spesifisering av korrosjonsbeskyttelse i Håndbok N500 Vegtunneler tilfredsstillende de korrosjonsklassene som her er målt. Det er ikke nødvendig å revidere spesifiseringene av korrosjonsbeskyttelse i Håndbok N500 på bakgrunn av det som er målt i denne undersøkelsen.

2 Innledning

2.1 Bakgrunn

Valg av materiale og belegg for komponenter og utstyr i tunnel er avhengig av korrosiviteten i miljøet. I rapporten "Korrosjonsbeskyttelse i tunneler" ble korrosivitet vurdert basert på informasjon om miljøet i ulike tunneler [1]. Da det ikke forelå målinger av korrosivitet da rapporten ble skrevet ble det gjort antagelser om korrosjonsklasser for ulike typer tunneler og lokasjoner i tunnelene. I dette prosjektet er korrosivitet målt på forskjellige plasser i tre ulike tunneler for å evaluere de antagelsene som ble gjort om korrosjonsklasser, og eventuelt senere revidere anbefalingene vedrørende korrosjonsbeskyttelse i Håndbok N500 Vegtunneler.

2.2 Korrosjonsklasser

Korrosjonsklasse C1 til CX er definert ved minimum og maksimum grenser for materialtap på stål og sink, gitt i ISO 9223 [2] og ISO 12944-2 [3], se Tabell 1. Korrosjonsklasse CX blir innført den nye versjonen av standarden som publiseres i 2018. Ved eksperimentell måling av korrosivitet måles korrosjon som vekt tap, som konverteres til et gjennomsnittlig materialtap. Både sink og konstruksjonsstål angripes av såkalt uniform korrosjon, men angrepene vil likevel variere over prøven. Dypere groper enn det som er angitt for de ulike korrosjonsklassene vil derfor normalt forekomme. Grensene er derfor kun ment for estimering av korrosjonsklasse og bør ikke brukes til å anslå forventet korrosjonsdybde i et gitt miljø.

Tabell 1. Grenser for korrosjon (μm) i løpet av ett år på stål og sink for korrosjonsklasse C1 til CX i henhold til ISO 9223 og ISO 12944-2.

Korrosjonsklasse	Stål		Sink	
	Min	Maks	Min	Maks
C1	0	1,3	0	0,1
C2	1,3	25	0,1	0,7
C3	25	50	0,7	2,1
C4	50	80	2,1	4,2
C5	80	200	4,2	8,4
CX	200	700	8,4	25

2.3 Målsetning

Måle korrosivitet på stål og sink i tunneler:

- Ulike typer tunneler: Undersjøisk tunnel (Oslofjordtunnelen), trafikkert landtunnel (Ekeberg tunnelen), mindre trafikkert landtunnel (Lunnertunnelen)
- Ulike plasser i tunnelen: Bak vann- og frostsikring, i trafikkrommet ved innkjøring, i trafikkrommet lenger inn.

3 Eksperimentelt

3.1 Materialer

To ulike materialer ble brukt:

- **Konstruksjonsstål:** Kaldvalset DC01 stål kuttet til dimensjon 150x100x2 mm.
- **Varmforsinket stål:** Varmforsinkede prøveplater av DC01 av samme dimensjon som prøvene av konstruksjonsstål. Varmforsinking ble utført av VikØrsta AS.

3.2 Metode

Korrosivitet er målt som materialtap på sink og stål i løpet av ett år, i henhold til ISO 9226 [4]. Prøvene ble merket og veid med 0,1 g nøyaktighet, før de ble montert på braketter (som vist i seksjon 3.5) og distribuert for montering. Eksponeringsstedene er beskrevet under. Etter ca. ett år ble prøvene tatt inn, demontert fra brakettene, rengjort og veid på nytt. Korrosjon ble beregnet etter følgende formel:

$$r_{corr} = \frac{\Delta m}{A \cdot \rho \cdot t}$$

Der r_{corr} er korrosjonsraten [$\mu\text{m}/\text{år}$], Δm er massetapet [g], A er prøvens areal [m^2], ρ er materialets tetthet [g/cm^3] og t er tid [år].

Stålprøvene ble rensert for korrosjonsprodukter ved å dyppe de i en løsning av 500 ml 37% HCl, 3,5 g heksametylen-tetramin, fortynnet til 1 liter. Dyppetid 10 minutter ved romtemperatur.

Sinkprøvene ble dyppet i en løsning av 200 ml 37% HCl fortynnet til 1 liter. Dyppetid 15 sekunder ved romtemperatur. Denne løsningen vil også fjerne litt sink. Ved å dyppe ueksponerte prøver ble det funnet at 0,075 g metallisk sink ble fjernet. Dette ble derfor trukket fra det målte vekttapet på de eksponerte prøvene.

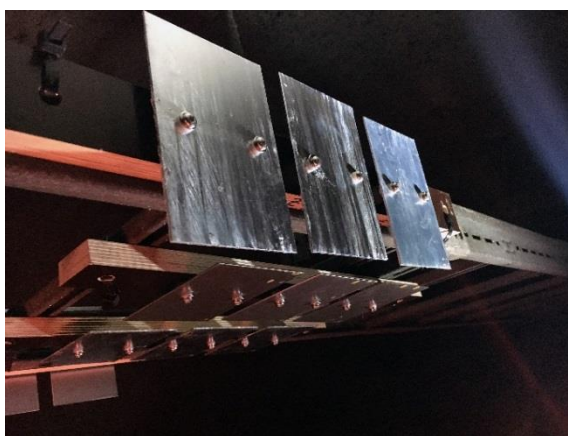
3.3 Ut plassering av prøver i tunneler

Alle prøveplater ble utplassert og hentet inn av Statens vegvesen.

3.3.1 Lunnertunnelen

Lunnertunnelen ligger på E16 i Lunner kommune i Oppland. ÅDT 3800 (2016). Lengde 3,8 km. Prøveplater ble utplassert 16.08.2016 og tatt inn 21.08.2017.

Braketter med tre prøveplater ble plassert vertikalt og horisontalt i tre lokasjoner: 1) i kabelstigen i trafikkrommet like innenfor vestre portal 2) i kabelstigen i trafikkrommet ca. midt i tunnelen og 3) bak hvelv ca. midt i tunnelen. Figur 1 og Figur 2 viser hvordan prøveplatene ble montert.



Figur 1. Prøveplater hengt opp i kabelstigen ca. midt i Lunnertunnelen. Prøveplater nær portal ble montert på tilsvarende måte.



Figur 2. Prøveplater plassert bak hvelv i Lunnertunnelen; horisontalt (liggende på bakken) t.v. og vertikalt (hengende i en festebolt) t.h.

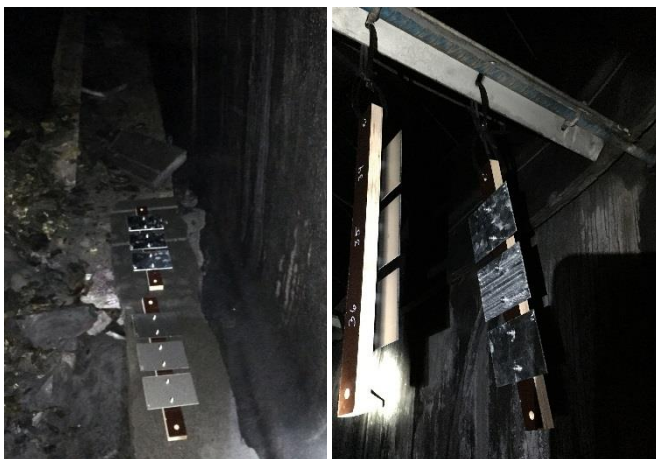
3.3.2 Ekeberg tunnelen

Ekeberg tunnelen ligger på E6 i Oslo. ÅDT i vestgående løp ca. 30 000 (2016). Lengde 1,6 km. Prøveplater ble utplassert i vestgående løp 28.09.2016 og tatt inn 21.08.2017.

Braketter med tre prøveplater ble plassert vertikalt og horisontalt orientering i tre lokasjoner: 1) i kabelstigen i trafikkrommet i det østre portalområdet (pel 1380) 2) i kabelstigen i trafikkrommet ca. midt i tunnelen bak hvelv. Figur 3 og Figur 4 viser hvordan prøveplatene er montert.



Figur 3. Prøveplater hengt opp i kabelstigen ca. midt i Ekeberg tunnelen (Prøveplater nær portal er montert på tilsvarende måte)



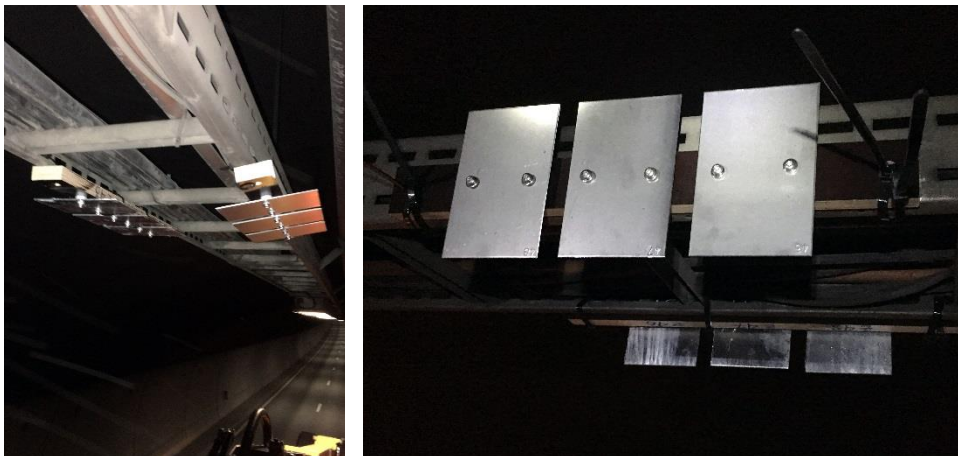
Figur 4. Prøveplater plassert bak hvelv i Ekeberg tunnelen; horisontalt (liggende på PE-skum på bakken) t.v. og vertikalt (hengende i en festebolt) t.h.

3.3.3 Oslofjordtunnelen

Oslofjordtunnelen ligger på Rv 23 og krysser Oslofjorden mellom Hurum kommune i Buskerud og Frogn kommune i Akershus. Undersjøisk tunnel med forekomst av jernoksidende bakterier på bergflater sikret med stålfiberarmert sprøytebetong. ÅDT 8600 (2016). Lengde 7,3 km. Prøveplater ble utplassert 01.11.2016 og tatt inn 16.11.2017.

Braketter med tre prøveplater på hver ble plassert i vertikalt og horisontal orientering i fire lokasjoner:

- 1) i kabelstigen i trafikkrommet i det østre portalområdet
- 2) i kabelstigen i trafikkrommet ca. midt i tunnel i nærheten av fotoboks
- 3) bak hvelv (nær omløpstunnel)
- 4) ved testfelt for bolt i omløpstunnelen (kun vertikal plassering). Figur 5, Figur 6 og Figur 7 viser hvordan prøveplatene ble montert.



Figur 5. Prøveplater hengt opp i kabelstigen ca. midt i Oslofjordtunnelen. Prøveplater nær portal ble montert på tilsvarende måte



Figur 6. Prøveplater plassert bak hvelv i Oslofjordtunnelen; horisontale prøver ble lagt på et betongfundament på bakken (t.v.) og vertikale prøver ble hengt i gamle festebolter (midt og t.h.)



Figur 7. Prøveplater plassert tilnærmet vertikalt i omløpstunnelen Oslofjordtunnelen, ved testfelt for bolter.

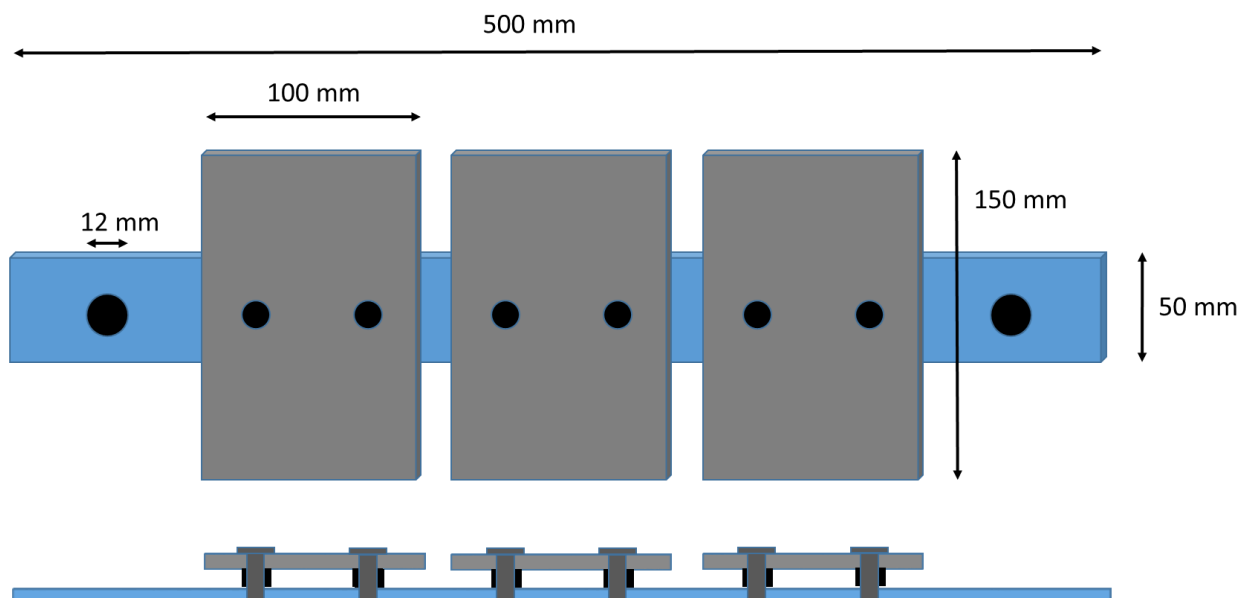
3.4 Testperioder for måling av korrosivitet

Tabell 2. Utplussing og inntak av prøver for måling av korrosivitet på de ulike teststedene

	Satt ut	Tatt inn	Eksponeringstid
Oslofjordtunnelen	01.11.2016	16.11.2017	371
Ekeberg tunnelen	28.09.2016	21.08.2017	327
Lunnertunnelen	16.08.2016	21.08.2017	370

3.5 Monteringsbrakett

Prøvene ble montert på enkle braketter av 20 mm vannfast kryssfiner, som deretter ble skrudd eller stripset fast på teststedet. Braketten er skissert i Figur 8.



Figur 8. Brakett for montering av prøver, fremstilt av vannfast kryssfiner.

4 Resultater

4.1 Lunnertunnelen

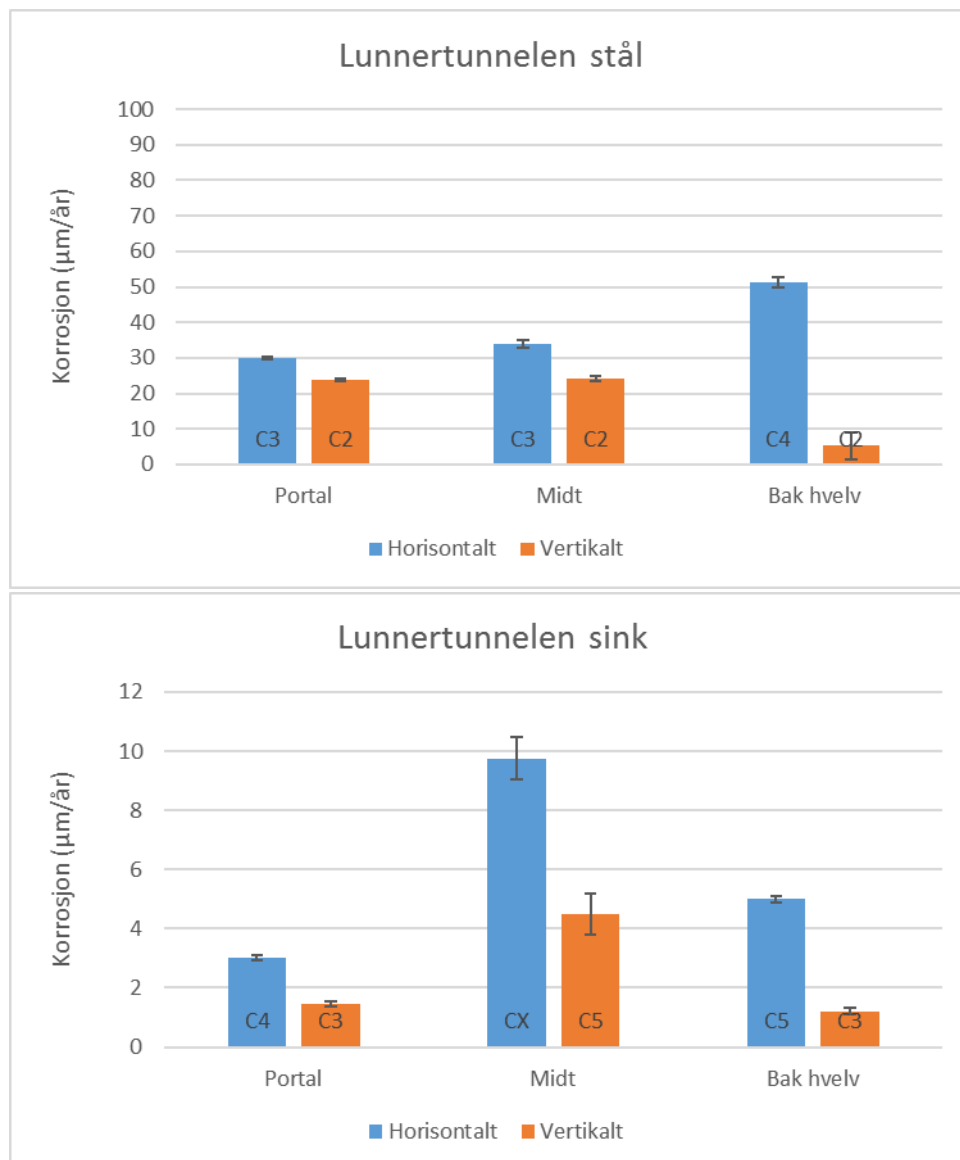
Korrosjon i løpet av ett års eksponering av sink og stål i Lunnertunnelen er vist i Figur 9. Legg merke til at skalaen er forskjellig for sink og stål. Sink er vesentlig mindre utsatt for korrosjon enn stål, og grensene for de ulike korrosjonsklassene er forskjellige for de to materialene, som vist i 2.2.

Figuren viser at det er forskjell mellom ulike eksponeringssteder, mellom vertikal/horisontal eksponering og mellom sink/stål.

For stål fant vi korrosjonsklasse C3 i trafikkrommet og liten forskjell mellom portal og midt i tunnelen. For sink variet resultatet mellom C3 og CX i trafikkrommet. Det samme funnet går igjen i de andre tunnelene. Dette tyder på at det spesifikke miljøet i veitunneler er relativt mer aggressivt mot sink enn mot stål, sammenlignet for eksempel med et marint miljø. Dette kan skyldes SO_2 eller deponering av veistøv, som vil bli diskutert i kapittel 5.

Horisontalt eksponerte sinkprøver i trafikkrommet er vesentlig mer angrepet enn de vertikalt eksponerte. Vi så også at oversiden av de horisontale prøvene var vesentlig mer angrepet enn undersiden. Forskjellen skyldes trolig akkumulering av veistøv og aggressive forbindelser på oversiden av platene. Målingen viser et gjennomsnitt av overside og underside, så de faktiske angrepet var dypere på oversiden enn det figuren viser.

De horisontalt eksponerte prøvene bak hvelvet i Lunnertunnelen ble lagt på bakken, som trolig økte korrosjonshastigheten vesentlig. Resultatet for disse prøvene representerer derfor trolig ikke miljøet bak hvelvet generelt. Prøvene i de to andre tunnelene viste ikke den samme høye korrosiviteten for horisontale prøver, som også indikerer at dette resultatet var urealistisk aggressivt. Hvis vi antar at det relative forholdet mellom horisontale og vertikale prøver er det samme bak hvelvet som i trafikkrommet, vil vi få C2 på stål og C3-C4 på sink.

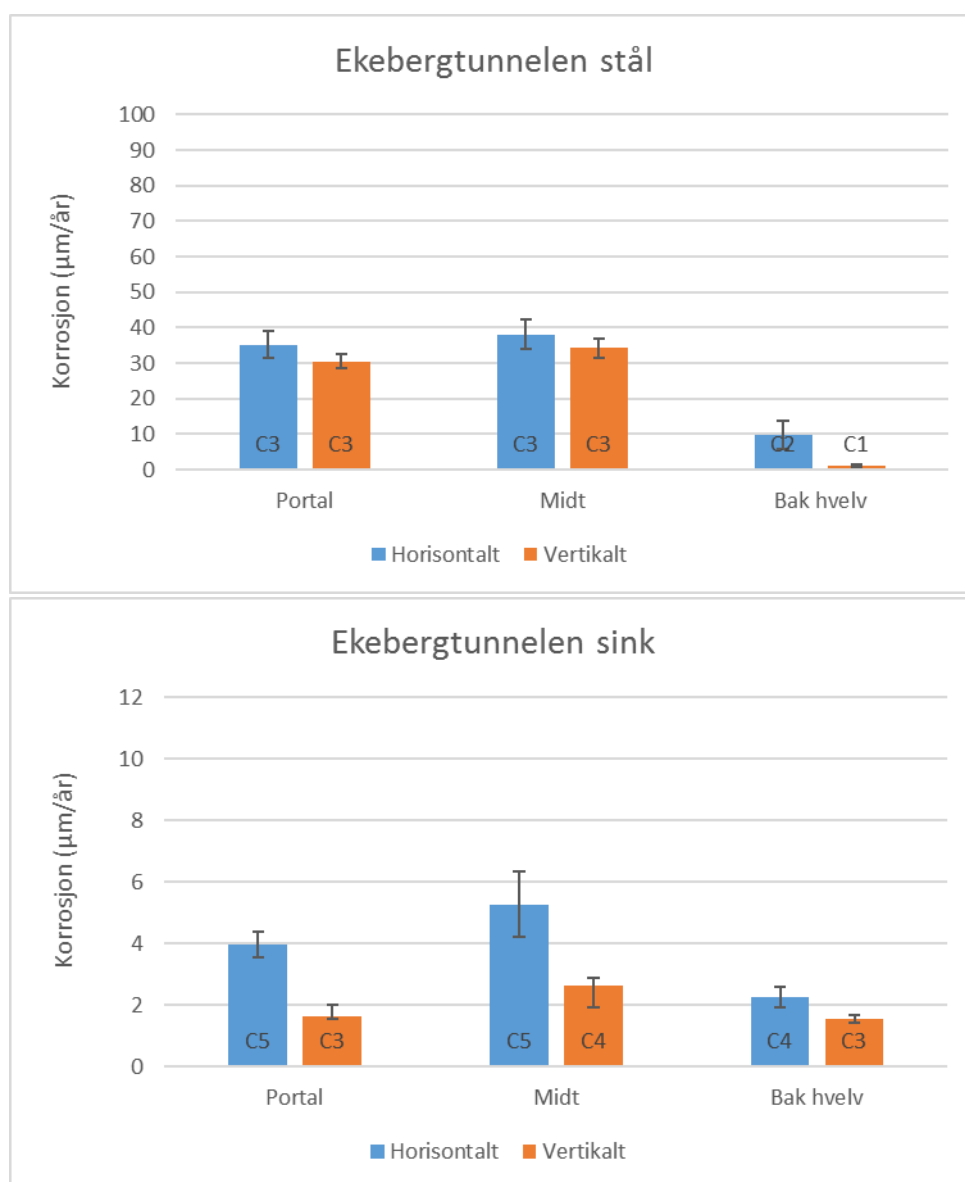


Figur 9. Målt korrosivitet i Lunnertunnelen. Øverst: stålprøver. Nederst: sinkprøver

4.2 Ekeberg tunnelen

I Ekeberg tunnelen ble det målt materialtap tilsvarende C3 på alle stålplatene i trafikkrommet. Horisontale prøver hadde i snitt litt mer korrosjon enn de vertikale, men forskjellen var liten sammenlignet med sinkprøvene. Bak hvelvet ble det målt overraskende lite korrosjon, tilsvarende miljø C1 og C2 for vertikale og horisontale prøver respektive. Gitt en ÅDT på 75 000 var det forventet høyere korrosivitet enn det som er funnet, spesielt bak hvelvet.

Som i Lunnertunnelen ble det målt høyere korrosjonsklasse på sinkprøver enn stålprøver på nesten alle testlokasjoner. Horisontale prøver midt i tunnelen var igjen mest angrepet, men angrepene var faktisk noe mindre enn i Lunnertunnelen. Dette var overraskende siden, ÅDT for Ekeberg tunnelen er 20 ganger høyere enn for Lunnertunnelen. Mindre korrosjon i Ekeberg tunnelen kan skyldes eventuelt hyppigere vasking. Sinkprøvene bekrefter lavere korrosivitet bak vann og frostsikringen målt på stål.

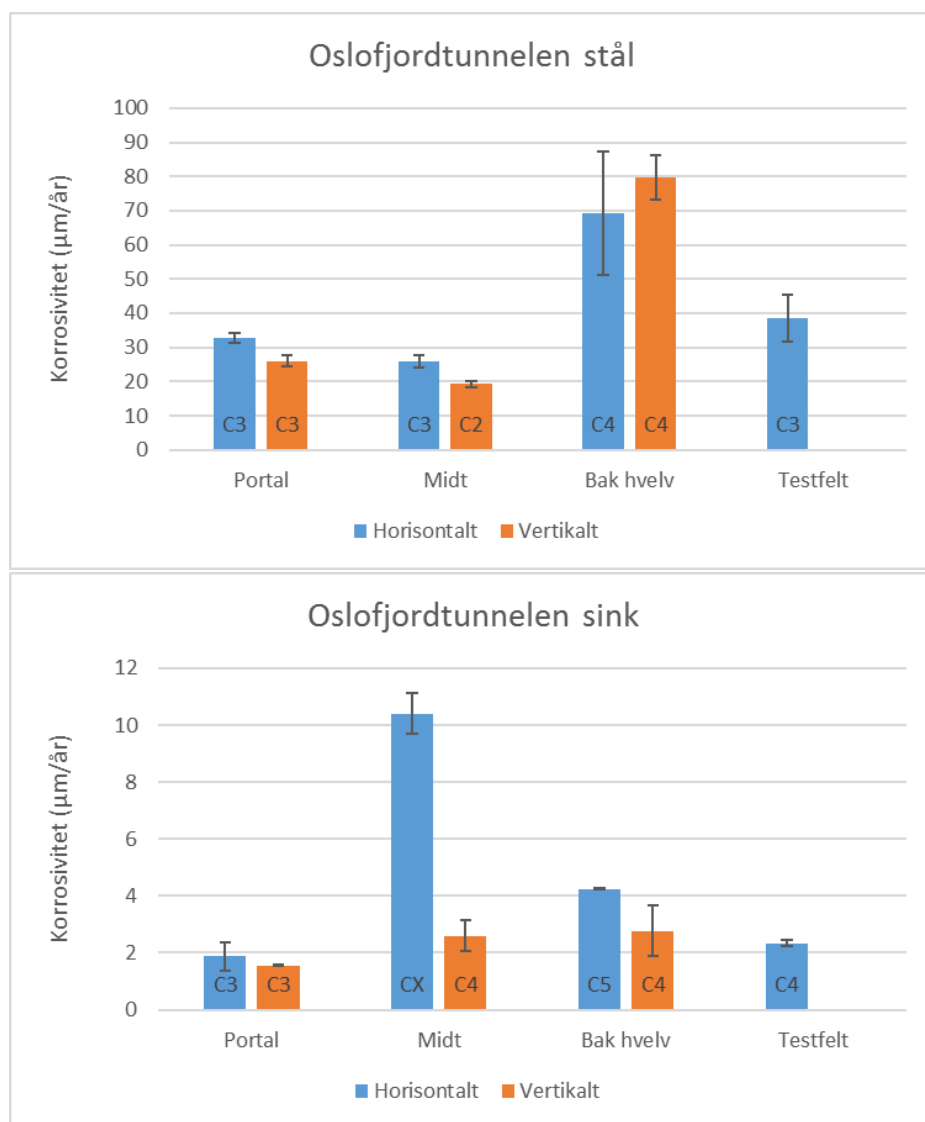


Figur 10. Målt korrosivitet i Ekeberg tunnelen. Øverst: stålprøver. Nederst: sinkprøver

4.3 Oslofjordtunnelen

Oslofjordtunnelen skiller seg fra de to andre tunnelene ved at korrosiviteten bak vann og frostsikringen er høyere, hvilket er naturlig siden dette er en undersjøisk tunnel med innsig av saltvann. På stålplatene ble det målt C4 bak hvelvet. I trafikkrommet ble det målt korrosjon tilsvarende C3 på stål. I testfeltet for sikringsbolter ble det også målt C3 (tilnærmet vertikalt eksponerte prøver). I trafikkrommet var horisontale prøver gjennomgående noe mer angrepet enn vertikale prøver, i størrelsesorden 30%. Bak hvelvet var spredningen for stor til å si noe om forskjell mellom vertikale og horisontale prøver.

På sink ble det målt C3 ved tunnelåpningen, som på stål. I testfeltet ble det funnet verdier på grensen mellom C3 og C4 på sink, også overens med målingene på stål. Verdiene bak hvelvet var på grensen mellom C4 og C5, dette også som får stål. I trafikkrommet midt i tunnelen ble det som i Lunnertunnelen funnet korrosjonsklasse CX på de horisontale prøvene. Korrosjonsproduktene var vanskelige å fjerne på disse prøvene, slik at vi måtte bruke mer konsentrert syre. Dette har nok ført til at vi også har fjernet noe metallisk sink, men resultatet er så langt over grensen for CX at dette ikke kan være forklaringen. De vertikale prøvene ga korrosjonsklasse C4.



Figur 11. Målt korrosivitet i Oslofjordtunnelen. Øverst: stålprøver. Nederst: sinkprøver

5 Diskusjon

5.1 Målt korrosivitet sammenlignet med antagelsene i Rapport 410

Tabell 3 viser en sammenligning av de antagelsene som ble gjort vedrørende korrosjonsklasser i Rapport 410 med korrosjonsklassene som er funnet i denne undersøkelsen. Sammenligningen viser at det først og fremst er på sink i trafikkrommet at anbefalingene i Rapport 410 avviker.

Tabell 3. Antagelser om korrosjonsklasse i Rapport 410 med målt korrosjonsklasse i denne undersøkelsen

	Korrosjonsklasser		
	Rapport 410	Testplater, stål	Testplater, sink
Tørt trafikkrom høy trafikk	C3	C3	C4-C5
Tørt trafikkrom lav trafikk	C2	C3	C5-CX
Fuktig trafikkrom høy trafikk	C4		
Fuktig trafikkrom lav trafikk	C3		
Trafikkrom undersjøisk tunnel	C4	C2-C3	C4-CX
Portal	C2-C4	C3	C3-C5
Bak hvelv landtunnel	C3-C4	C1-C4	C3-C4
Bak hvelv undersjøisk	C5	C4	C4-C5

5.2 Forskjellen i korrosivitet mellom sink og stål

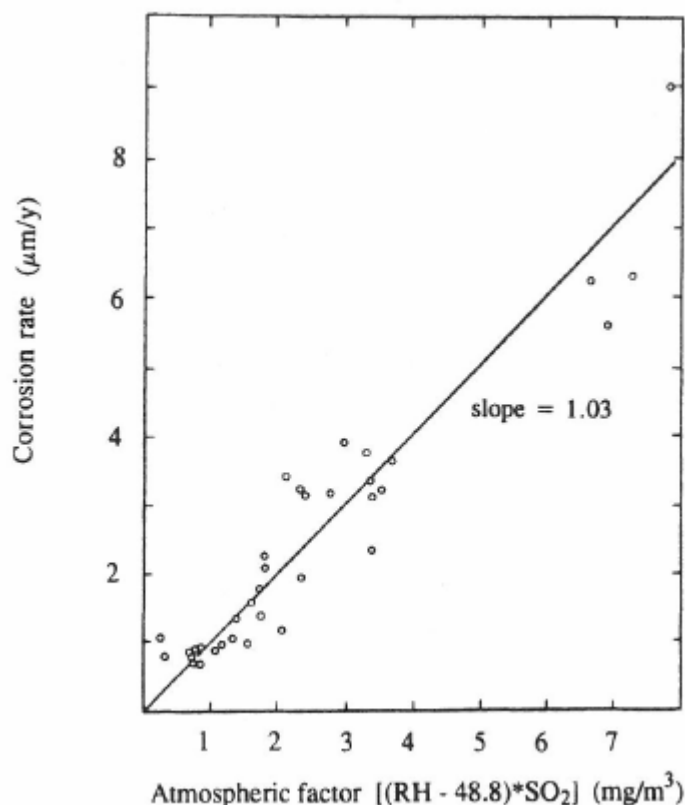
Som indikert over kan SO₂ fra eksos forklare forskjellen i korrosjonsklasse målt for stål og sink. SO₂ vil reagere med vann og danne en svakt sur svovelsyreløsning. Figur 12 viser korrosjon på sink i atmosfærer med ulikt innhold av SO₂. Korrosjon på sink øker raskt når innholdet av SO₂ øker, og viser en lineær sammenheng med SO₂ og relativ fuktighet:

$$\text{Korrosjonshastighet } [\mu\text{m}/\text{år}] = (\text{RH} - 48,8) \cdot \text{SO}_2 [\text{mg}/\text{m}^3] \quad (1)$$

Den høyeste korrosjonsraten vi har målt på sink i denne undersøkelsen er omkring 10 μm/år, som tilsvarer en faktor på omkring 10 (X-aksen) i Figur 12. Med relativ fuktighet på 80% kan vi regne oss tilbake til at SO₂ konsentrasjonen skal være omkring 0,3 mg/m³, ut fra ligning 1.

Kombinasjonen av høy luftfuktighet og deponering av veistøv på horisontale flater kan også forklare den høye korrosjonsraten. Sink er i utgangspunktet et reaktivt materiale, men har lav korrosjonshastighet i atmosfære som følge av et beskyttende sjikt av sinkkarbonat som felles ut på overflata. Dannelse og vedlikehold av dette sjiktet krever at overflata tørker opp med jevne mellomrom. På konstant fuktige overflater dannes det i stedet lite beskyttende sinkhydroksid. Under deponert veistøv vil det kunne være konstant fuktig hvis veistøvet er hygroskopisk.

Disse effektene vil ha mindre påvirkning på stål, siden det i langt mindre grad beskyttes av overflatefilmer under de betingelsene som er relevante her.



Figur 12. Korrosjon på sink som funksjon av SO₂ konsentrasjon i atmosfæren [5]

5.3 Valg av materiale og belegg for komponenter i trafikkrommet

Håndbok N500 Vegtunneler, revisjon 2016, spesifiserer rustfritt stål av type EN 1.4404 for teknisk utrustning i trafikkrommet. Denne undersøkelsen viser at dette materialvalget vil ha lang levetid. Siden det er lite klorid i trafikkrommet vil EN 1.4404 ikke være utsatt for korrosjon og dermed ha tilnærmet ubegrenset levetid.

Resultatene viser at sinkbelegget på varmforsinket stål kan ha relativt kort levetid i trafikkrommet, spesielt på oversiden av horisontale flater. Med en korrosjonsrate på 10 µm/år vil et belegg på 55 µm (ISO 1461, godstykkelse 1,5 – 3 mm) ha en levetid på 5 år. Etter at sinken har korrodert bort vil det underliggende stålet korrodere. Med en korrosjonsrate på stål på omkring 30-40 µm/år vil vi miste 1 mm vegtøkkelse på omkring 30 år. Siden godstykkelsen på kabelbruer er lav kan grensen for akseptabelt materialtap være mindre enn 1 mm. Det er dermed ikke sikkert at ønsket levetid på 25 år oppnås. Pulverlakkert og varmforsinket stål vil gi vesentlig lengre levetid.

For eldre tunneler med teknisk utrustning i varmforsinket stål kan det ikke forventes særlig mer enn 25 års levetid, og i noen tilfeller kanskje også kortere.

5.4 Valg av materiale og belegg bak vann- og frostsikring

Håndbok N500 Vegtunneler, revisjon 2016, angir 50 års levetid for vann- og frostsikring og spesifiserer følgende korrosjonsbeskyttelse for forankringsbolter og festedetaljer på baksiden:

- For landtunneler, enten varmforsinket stål med pulverlakkert eller rustfritt stål av type EN 1.4401 eller EN 1.4404

- For saltvannsonen i undersjøiske tunneler, varmforsinket stål med to lag pulverlakk eller EN 1.4462 duplex stål

I landtunnelene ble det funnet korrosjonsklasse C3 – C4 bak vann og frostsikringen. Varmforsinking alene vil kreve 100 – 200 µm beleggtykkelse for å sikre 50 års levetid på belegget. Så tykke sinkbelegg vil ofte være sprø og ha dårligere adhesjon, sammenlignet med de beleggtykkelsene som spesifiseres in N500 i dag. Varmforsinket stål med pulverlakk, som spesifisert, er derfor et bedre valg. I følge Outokumpu er EN 1.4401 og 1.4404 anbefalt opp til C4 miljø, se Tabell 4 [6]. Anbefalingen for korrosjonsbeskyttelse i Håndbok N500 for forankringsbolter og festedetaljer bak vann- og frostsikring i landtunneller tilfredsstiller de korrosjonsklassene som er funnet.

I undersjøiske tunneler viser målingene C4 – C5 miljø bak vann- og frostsikring. Erfaringer fra undersjøiske tunneler har vist at varmforsinket stål med pulverlakk har stått godt, selv i et så aggressivt miljø [1], som er bakgrunnen for at dette belegget er anbefalt i Håndbok N500, med en forsterket pulverlakk. Da anbefalingen ble gitt ble det antatt et C5 miljø bak vann- og frostsikringen, slik at målingene som her er gjort ikke endrer på den anbefalingen. For korrosjonsklasse C5 anbefaler Outokumpu blant annet EN 1.4462, men ikke EN 1.401 eller EN 1.4404 [6], se Tabell 4. Anbefalingen for forankringsbolter og festedetaljer bak vann- og frostsikring i saltvannsonen i undersjøiske tunneler i Håndbok N500 tilfredsstiller de korrosjonsklassene som er funnet.

Tabell 4. Anbefalte rustfrie stål for ulike korrosjonsklasser [6]

Corrosivity category	Corrosivity	Examples indoor	Examples outdoor	Typically used stainless steel grades
C1	Very low	Offices, schools and museums.	Dry or cold zone: Central Arctic/ Antarctica and certain deserts.	4016, 4521, 4307, 4372, LDX 2101®
C2	Low	Unheated storage facilities and sport halls.	Temperate zone: rural areas and small towns. Dry or cold zone: deserts and subarctic areas.	4016, 4521, 4307, 4372, LDX 2101®
C3	Medium	Food processing plants, laundries, breweries and dairies.	Temperate zone: urban areas and coastal areas with low deposition of chlorides. Subtropical and tropical zone: areas with low pollution.	4521, 4301, 4404, LDX 2101®, 2304
C4	High	Industrial processing plants and swimming pools.	Temperate zone: polluted urban areas, industrial areas, coastal areas without spray and exposure to de-icing salts. Subtropical and tropical zone: areas with medium pollution.	4404, 4438, 4439, 904L, 254 SMO®, 4565, 2304, 2205, 2507
C5	Very high	Mines, caverns for industrial purposes, and unventilated sheds in subtropical and tropical zones.	Temperate and subtropical zone: industrial areas, coastal areas and sheltered positions on coast line.	904L, 254 SMO®, 4565, 654 SMO®, 2205, 2507
CX	Extreme	Unventilated sheds in humid tropical zones with penetration of outdoor pollution.	Subtropical and tropical zone: extreme industrial areas, coastal and offshore areas.	254 SMO®, 4565, 654 SMO®, 2507

6 Referanser

1. Knudsen, O.Ø., Korrosjonsbeskyttelse i tunneler, Statens vegvesen, Report no. 410, Oslo, 2015
2. ISO 9223, Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification, Geneve, 1992
3. ISO, 12944-5, Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems. Part 5: Protective paint systems. 2018, The International Organization for Standardization: Geneve.
4. ISO 9226: Corrosion of metals and alloys — Corrosivity of atmospheres — Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity, Geneva, 2012
5. Zhang, X.G., Corrosion and Electrochemistry of Zinc. 1996, New York: Springer.
6. Outokumpu, Handbook of Stainless Steel. 2013: Outokumpu Stainless AB.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no



Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO
Tlf: (+47) 22073000
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen