



Korrosjonsbeskyttelse for stålbruer - Inspeksjoner

Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012-2015

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 453



Tittel

Vurdering av korrosjonsbeskyttelse for stålbruer

Undertittel

Grunnlagsmaterieell og inspeksjoner

Forfatter

Ole Øystein Knudsen

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Seksjon

Tunnel og betong

Prosjektnummer

603242

Rapportnummer

Nr. 453

Prosjektleder

Synnøve A. Myren/ Bård Pedersen

Godkjent av

Bård Pedersen

Emneord

Varige konstruksjoner, dupleksbelegg, sink, korrosjon, materialteknologi

Sammendrag

Denne rapporten inngår i en serie rapporter fra Statens vegvesens etatsprogram Varige konstruksjoner 2012-2015.

Det har vært gjennomført inspeksjoner på ni bruer i Region midt og Region vest for å kartlegge korrosjonsskader i dupleksbelegg. Målsetning med inspeksjonene har vært å forstå hvordan korrosjonsskadene har oppstått. Basert på funnene er det foreslått nedbrytningsmekanismer, gitt innspill til revisjon av Håndbok R762 Prosesskode 2 og utarbeidet en plan for laboratorietesting av belegg.

Title

Corrosion protection of steel bridges

Subtitle

Inspections and basis for further work

Author

Ole Øystein Knudsen

Department

Traffic Safety, Environment and Technology Department

Section

Tunnel and concrete

Project number

603242

Report number

No. 453

Project manager

Synnøve A. Myren/ Bård Pedersen

Approved by

Bård Pedersen

Key words

Durable structures, duplex coatings, zinc, corrosion, materials technology

Summary

This report belongs to a series of reports from the R&D-programme Durable structures 2012-2015, carried out by the Norwegian Public Roads Administration.

A total of nine bridges within the Central and Western regions were inspected in order to examine corrosion damages in Duplex coatings. The goal of this investigation was to understand the basic mechanisms of the corrosion damages. Based on the findings, degradation mechanisms were proposed, input to Handbook R762 was given and plans for further laboratory testing were proposed.

Forord

Denne rapporten inngår i en serie rapporter fra **etatsprogrammet Varige konstruksjoner**. Programmet hører til under Trafikksikkerhet-, miljø- og teknologiavdelingen i Statens vegvesen, Vegdirektoratet, og foregår i perioden 2012-2015. Hensikten med programmet er å legge til rette for at riktige materialer og produkter brukes på riktig måte i Statens vegvesen sine konstruksjoner, med hovedvekt på bruer og tunneler.

Formålet med programmet er å bidra til mer forutsigbarhet i drift- og vedlikeholdsfasen for konstruksjonene. Dette vil igjen føre til lavere kostnader. Programmet vil også bidra til å øke bevisstheten og kunnskapen om materialer og løsninger, både i Statens vegvesen og i bransjen for øvrig.

For å realisere dette formålet skal programmet bidra til at aktuelle håndbøker i Statens vegvesen oppdateres med tanke på riktig bruk av materialer, sørge for økt kunnskap om miljøpåkjenninger og nedbrytningsmekanismer for bruer og tunneler, og gi konkrete forslag til valg av materialer og løsninger for bruer og tunneler.

Varige konstruksjoner består, i tillegg til et overordnet implementeringsprosjekt, av fire prosjekter:

- Prosjekt 1: Tilstandsutvikling bruer
- Prosjekt 2: Tilstandsutvikling tunneler
- Prosjekt 3: Fremtidens bruer
- Prosjekt 4: Fremtidens tunneler

Varige konstruksjoner ledes av Synnøve A. Myren. Mer informasjon om prosjektet finnes på vegvesen.no/varigekonstruksjoner

Denne rapporten tilhører **Prosjekt 1: Tilstandsutvikling bruer** som ledes av Bård Pedersen. Prosjektet vil generere informasjon om tilstanden for bruer av betong, stål og tre, og gi økt forståelse for de bakenforliggende nedbrytningsmekanismene. Dette vil gi grunnlag for bedre levetidsvurderinger og reparasjonsmetoder. Innenfor områdene hvor det er nødvendig vil det etableres forbedrede rutiner og verktøy for tilstandskontroll- og analyse. Prosjektet vil også frembringe kunnskap om konstruktive konsekvenser av skader, samt konstruktive effekter av forsterkningstiltak. Prosjektet vil gi viktig input i forhold til design av material- og konstruksjonsløsninger for nyere bruer, og vil således ha leveranser av stor betydning til Prosjekt 3: Fremtidige bruer.

Rapporten er utarbeidet av *Ole Øystein Knudsen, SINTEF Materialer og kjemi* på oppdrag fra Varige konstruksjoner.

Rapport

Vurdering av korrosjonsbeskyttelse for stålbruer

Grunnlagsmateriell og inspeksjoner

Forfatter(e)

Ole Øystein Knudsen



Rapport

Vurdering av korrosjonsbeskyttelse for stålbruer

Grunnlagsmateriell og inspeksjoner

EMNEORD:
Dupleksbelegg; sink;
Korrosjon;
Materialteknologi

VERSJON
2.0

DATO
2015-09-16

FORFATTER(E)
Ole Øystein Knudsen

OPPDRA GSGIVER(E)
Statens Vegvesen

OPPDRA GSGIVERS REF.
Bård Pedersen

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
23

GRADERING
Unrestricted

GRADERING DENNE SIDE
Unrestricted

ISBN
978-82-14-05838-3

SAMMENDRAG

Det har vært gjennomført inspeksjoner på ni bruer i Region midt og Region vest med hensyn på korrosjonsskader i dupleksbelegg. Målsetning med inspeksjonene har vært å forstå hvordan korrosjonsskadene har oppstått. Basert på funnene er det foreslått nedbrytningsmekanismer, revideringer til Håndbok 026- Prosesskode 2 og en plan for laboratorietesting av belegg senere i prosjektet.

UTARBEIDET AV
Ole Øystein Knudsen

KONTROLLERT AV
Astrid Bjørgum

GODKJENT AV
Daniel Blucher

Dokumentet har gjennomgått SINTEFs godkjenningsprosedyre og er sikret digitalt

PROSJEKTNR
102008483

RAPPORTNR
SINTEF A26688

VERSJON
2.0

1 av 23

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.0	2015-01-30	Første versjon

2.0	2015-09-16	Revidert etter innspill fra Statens Vegvesen
-----	------------	--

Innholdsfortegnelse

1	Sammendrag og konklusjoner	4
2	Innledning	5
2.1	Bakgrunn	5
2.2	Målsetninger	6
2.3	Omfang	6
3	Inspeksjoner	7
3.1	Nordhordlandsbrua	7
3.2	Askøybroen	9
3.3	Osterøybrua	10
3.4	Imarsundbrua	11
3.5	Mjosundbrua	12
3.6	Dromnessundbrua	13
3.7	Melhusbrua	14
3.8	Stordabrua	15
3.9	Bømlabrua	17
4	Diskusjon	19
4.1	Årsak til de observerte korrosjonsskadene	19
4.1.1	Nålestikk	19
4.1.2	Malingsbelegg med lav filmtykkelse	19
4.1.3	Avflassing av toppstrøk og etterfølgende korrosjon (Stordabrua, Bømlabrua)	19
4.1.4	Korrosiviteten på stedet	20
4.2	Effekt av type malingsbelegg	20
4.3	Effekt av TSZ legering	21
4.4	Hvorfor får vi mest korrosjon på undersiden av bruene?	21
4.5	Forslag til korrosjonsmekanisme	21
5	Forslag til endringer i Prosesskoden	22
5.1	Tykkelsesmåling av malingsbelegget	22
5.2	Overmalingsintervaller	22
6	Forslag til videre arbeid	22

1 Sammendrag og konklusjoner

I forbindelse med etatsprosjektet «Varige konstruksjoner» er en av aktivitetene å vurdere erfaringer med Statens vegvesens (SVV) system for korrosjonsbeskyttelse. Det har vært gjennomført inspeksjoner på noen bruer i Region midt og Region vest. Resultatet av disse undersøkelsene viser at det er behov for å ha en gjennomgang av etatens praksis når det gjelder korrosjonsbeskyttelse av bruer, spesielt i maritimt miljø.

Målsetning med arbeidet har vært:

- Gjennomgang av utførte inspeksjoner og rapporter mottatt fra SVV
- Bistå prosjektgruppen i SVV med å evaluere de funn som er registret i rapportene fra de utvalgte bruene og andre bruer der overflatebehandlingen er inspisert.
- Rapportere fra gjennomførte inspeksjoner og undersøkelser i dette prosjektet
- Foreslå nedbrytningsmekanismer som ligger bak de observerte skadene

Rapporten sammenfatter inspeksjon av korrosjonsskader på flater belagt med dupleksbelegg bestående av termisk sprøyta sink og maling på følgende bruer:

		Åpningsår	Miljø	Høyde (m)	Metallisering	Malingssystem
1	Nordhordlandsbrua	1994	Plaskesone		100% Zn	3 strøk alkyd/KK Correx toppstrøk*
2	Askøybroen	1992	Over sund	62	100% Zn	3 strøk alkyd/KK Correx toppstrøk
3	Osterøybrua	1997	Over sund	58	85/15	Epoksy + polyuretan
4	Imarsundbrua	2007	Over sund	Ca 10	100% Zn	Epoksy + polyuretan
5	Mjosundbrua	1995	Over sund	14	100% Zn	4 strøk alkyd/KK
6	Dromnessundbrua	1996	Over sund	8-16	100% Zn	3 strøk alkyd/KK Correx toppstrøk
7	Melhusbrua	2003	Over elv	10	100% Zn	3 strøk alkyd/KK Correx toppstrøk
8	Stordabrua	2000	Over sund	18	85/15	Epoksy + polyuretan
9	Bømlabrua	2001	Over sund	36	85/15	Epoksy + polyuretan

* Det er antatt at det er Correx toppstrøk på alle bruene med alkyd/KK systemet, siden alle har en farge som avviker fra alkyd/KK toppstrøket angitt i prosesskoden fra den tiden (118, metallgrå)

Korrosjonsskader er funnet i ulik grad på de ulike bruene. Årsak til skadene er trolig:

1. Korrosjonsskader der malingsbelegget har spesifisert filmtykkelse eller høyere antas å skyldes nålestikk. Det er imidlertid ikke mulig å fastslå for sikkert at angrepene skyldes nålestikk enda, siden korrosjonsangrepet har ødelagt den opprinnelige skaden i malingsfilmen.
2. I områder med mye korrosjon eller mange punktangrep er det målt lav filmtykkelse for malingsbelegget.
3. På to bruer har toppstrøket flaket av med påfølgende korrosjonsangrep, trolig som følge av reduserte barriere-egenskaper til malingsfilmen.

Basert på funnene er det foreslått nedbrytningsmekanismer, revideringer til Håndbok 026- Prosesskode 2 og en plan for laboratorietesting av belegg.

2 Innledning

2.1 Bakgrunn

I forbindelse med etatsprosjektet «Varige konstruksjoner» er en av aktivitetene å vurdere erfaringer med Statens vegvesens (SVV) system for korrosjonsbeskyttelse. Det har vært gjennomført inspeksjoner på noen bruer i Region midt og Region vest. Resultatet av disse undersøkelsene viser at det er behov for å ha en gjennomgang av etatens praksis når det gjelder korrosjonsbeskyttelse av bruer, spesielt i maritimt miljø.

Spesifikasjon av beleggsystemene på de ulike bruene er gitt i Tabell 1 under. I følge prosesskoden som gjaldt på det tidspunkt da bruene ble malt (før 2004) er det følgende beleggsystemer som er benyttet:

System 1.

Metallisering pluss alkyd/klorkautsjuk (duplekssystem)

Blåserensing: Renhet: Sa3. Ruhet: Medium G, $Ry_5 = 50 - 85 \mu\text{m}$

Beleggsystem:

1. min $100 \mu\text{m}$ ren termisk sprøytet sink eller aluminium
 2. maks $10 \mu\text{m}$ etsprimer spes. nr. 4
 3. $50 \mu\text{m}$ sinkfosfat alkyd klorkautsjuk spes. nr. 115 (lys grå)
 4. $50 \mu\text{m}$ sinkfosfat alkyd klorkautsjuk spes. nr. 116 (gul)
 5. $50 \mu\text{m}$ dekkmalning alkyd klorkautsjuk spes. nr. 117 (metallfarget)
 6. $50 \mu\text{m}$ dekkmalning alkyd klorkautsjuk spes. nr. 118 (metallfarget)
- Total beleggtykkelse: $300 \mu\text{m}$

For å få ønsket farge på brua ble toppstrøket ofte skiftet ut med Correx som er en silikonmodifisert alkydmaling. Dette gjelder trolig alle bruene med dette beleggsystemet som er inkludert i denne rapporten, med unntak av Mjosundbrua.

System 3.

Metallisering pluss epoksy/polyuretan (duplekssystem)

Blåserensing: Renhet: Sa3, Ruhet: Medium G, $Ry_5 = 50 - 85 \mu\text{m}$

Beleggsystem:

1. min $100 \mu\text{m}$ ren termisk sprøytet sink
 2. $25 \mu\text{m}$ epoksy tiecoat/sealer
 3. $100 \mu\text{m}$ epoksy mastik
 4. $75 \mu\text{m}$ polyuretan eller polyuretan akryl
- Total beleggtykkelse: $300 \mu\text{m}$

System 3 er i prinsippet det samme som System 1 i revisjon av 2004.

2.2 Målsetninger

Overordnet målsetning for prosjektet er å foreslå nye prosedyrer for overflatebehandling av bruer som kan brukes direkte i Håndbok 026- Prosesskode 2 som reduserer de observerte korrosjonsproblemene. Prosjektet har tre aktiviteter:

- A. Grunnlagmateriell - inspeksjoner
- B. Vurdere dagens systemer for overflatebehandling
- C. Anbefalinger

Denne rapporten utgjør leveransen i aktivitet A. Målsetning med dette arbeidet har vært:

- Gjennomgang av utførte inspeksjoner og rapporter mottatt fra SVV
- Bistå prosjektgruppen i SVV med å evaluere de funn som er registret i rapportene fra de utvalgte bruene og andre bruer der overflatebehandlingen er inspisert.
- Rapportere fra gjennomførte inspeksjoner og undersøkelser i dette prosjektet
- Foreslå nedbrytningsmekanismer som ligger bak de observerte skadene

2.3 Omfang

Rapporten omfatter inspeksjonsdata fra bruene angitt i tabellen under. SINTEF har vært til stede og inspisert alle bruene med unntak av Osterøybrua, Stordabrua og Bømlabrua. Disse tre bruene er diskutert på bakgrunn av mottatte inspeksjonsrapporter fra SVV.

Tabell 1. Bruer som rapporten omfatter. Tilstanden på Osterøybrua, Stordabrua og Bømlabrua er diskutert på grunnlag av inspeksjonsrapporter mottatt fra SVV, mens de andre bruene også er inspisert av SINTEF.

		Åpningsår	Miljø	Høyde (m)	Metallisering	Malingssystem
1	Nordhordlandsbrua	1994	Plaskesone		100% Zn	3 strøk alkyd/KK Correx toppstrøk
2	Askøybroen	1992	Over sund	62	100% Zn	3 strøk alkyd/KK Correx toppstrøk
3	Osterøybrua	1997	Over sund	58	85/15	Epoksy + polyuretan
4	Imarsundbrua	2007	Over sund	Ca 10	100% Zn	Epoksy + polyuretan
5	Mjosundbrua	1995	Over sund	14	100% Zn	4 strøk alkyd/KK
6	Dromnessundbrua	1996	Over sund	8-16	100% Zn	3 strøk alkyd/KK Correx toppstrøk
7	Melhusbrua	2003	Over elv	10	100% Zn	3 strøk alkyd/KK Correx toppstrøk
8	Stordabrua	2000	Over sund	18	85/15	Epoksy + polyuretan
9	Bømlabrua	2001	Over sund	36	85/15	Epoksy + polyuretan

3 Inspeksjoner

Bruene er inspisert på horisontale flater på undersiden. Brulift ble benyttet på alle bruene med unntak av Imarsundsbrua, Mjosundbrua og Dromnessundbrua. På disse bruene ble bare undersiden av viadukten inspisert fra land.

3.1 Nordhordlandsbrua

	Åpningsår	Miljø	Høyde (m)	Metallisering	Malingssystem
Nordhordlandsbrua	1994	Plaskesone		100% Zn	3 strøk alkyd/KK Correx toppstrøk, 50 µm hver

To typer korrosjonsskader ble funnet på Nordhordlandsbrua, hovedsakelig begrenset til horisontal flate på undersiden av brua:

- Større områder der malingsbelegget var svært nedbrutt og sinken var svært korrodert. Punktangrep i avtagende tetthet ble funnet omkring. Se Figur 1.
- Punktangrep enkeltvis og i klynger

En prøve tatt av malingsbelegget ved en punktskade er vist i tverrsnitt i Figur 2. Snittet viser fire strøk med maling:

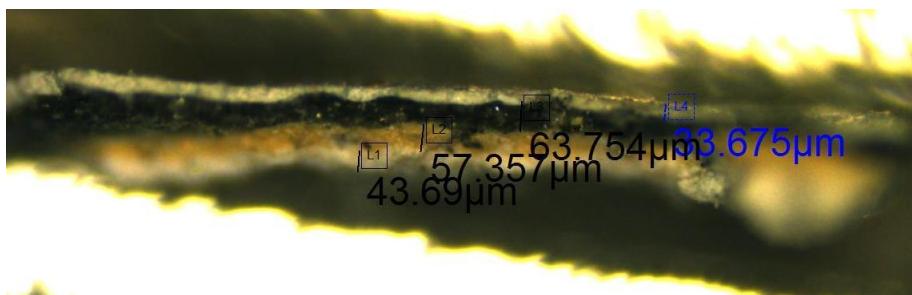
1. Et lyst strøk innerst, ca 43 µm
2. Et gult strøk, ca 57 µm
3. Et sølvfarget strøk, ca 63 µm
4. Et lyst toppstrøk, ca 33 µm

Tykkelsesmålingene varierer langs tverrsnittet, men tilsammen utgjør de en malingsfilm som har tilnærmet spesifisert filmtykkelse for de fire strøkene.

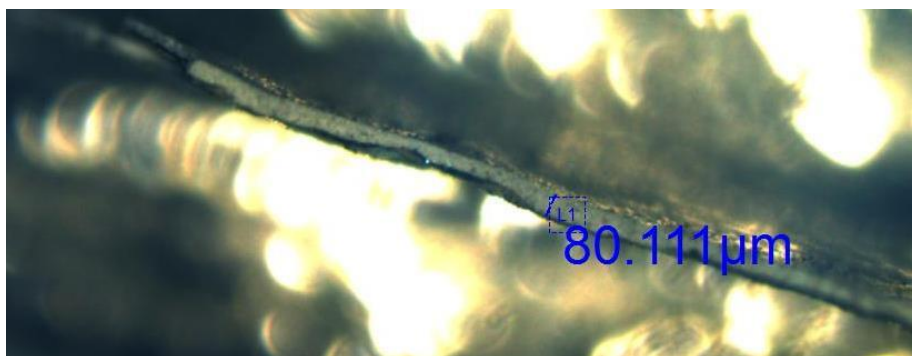
Et tverrsnitt av en prøve av malingsbelegget tatt i området med total nedbrytning er vist i Figur 3. Bildet viser at malingsbelegget bare er 80 µm tykt og hovedsakelig består av toppstrøket. Det er spor av det sølvfargede strøket under toppstrøket, men dette ser ut til å være under 10 µm tykt. Årsaken til at malingsbelegget har feilet totalt er derfor at belegget er svært tynt og ikke påført i henhold til spesifisering. Området kan utgjøre en feltskjøt. Tykkelsesmåling og kontroll av belegget har åpenbart vært mangelfull. Beleggtykkelsen målt under inspeksjonen viste en tykkelse på ca. 350 µm omkring det korroderte området. I det korroderte området var det så mye hvitrust at det ikke var mulig å måle tykkelsen på gjenværende sink, men den høye filmtykkelsen målt like ved indikerer at sinkbelegget har vært relativt tykt. Måling av filmtykkelse med magnetisk sonde vil vise tykkelse av sink og maling tilsammen, slik at den lave filmtykkelsen til malingsbelegget ikke vil kunne oppdages hvis sinken er påført for tykt.



Figur 1. Omfattende korrosjonsskader i område med lav filmtykkelse, målt til omkring 250 µm for både sink og maling.



Figur 2. Tverrsnitt av belegg tatt i område område med punktangrep



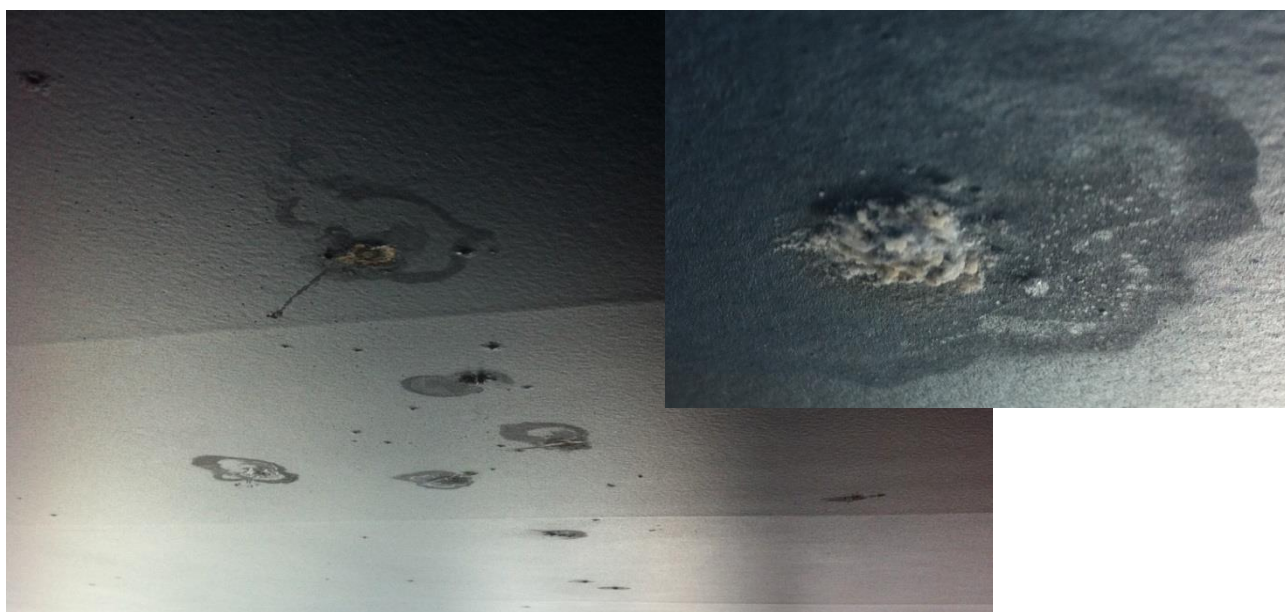
Figur 3. Tverrsnitt av belegg tatt i område med total nedbrytning

3.2 Askøybroen

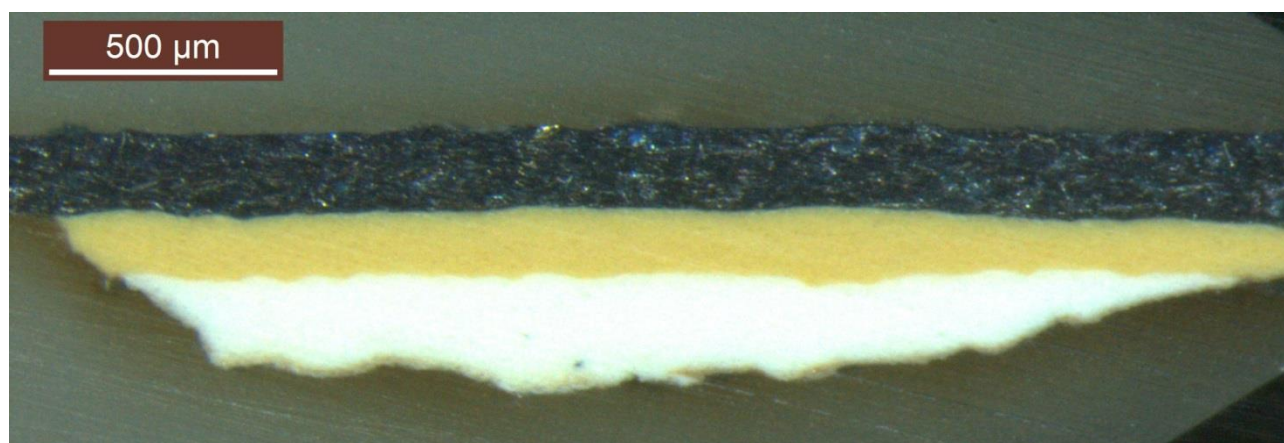
	Åpningsår	Miljø	Høyde (m)	Metallisering	Malingsystem
Askøybroen	1992	Over sund	62	100% Zn	3 strøk alkyd/KK Correx toppstrøk, 50 µm hver

Figur 4 viser korrosjonsangrep under Askøybroen. Som bildene viser var angrepene begrenset til uavhengige punkter, gjerne flere punkter i et område. Hvite korrosjonsprodukter av sinkoksid eller sinkhydroksid spredde seg på overflata av belegget omkring angrepet. Angrepene er begrenset til horisontal flate på undersiden av brua.

Figur 5 viser et tverrsnitt av malingsbelegget tatt i en av korrosjonsskadene. Tverrsnittet viser tre strøk med maling over hvite korrosjonsprodukter av sink. Hvert strøk er godt over 100 µm tykt der denne prøven ble tatt. I følge spesifikasjonen skulle det være påført fire strøk, men bare tre kan identifiseres i tverrsnittet.



Figur 4. Korrosjonsangrep på Askøybroen, trolig som følge av nålestikk i belegget



Figur 5. Tverrsnitt av malingsbelegg på Askøybroen ved korrosjonsskade. Tverrsnittet viser tre strøk.

3.3 Osterøybrua

	Åpningsår	Miljø	Høyde (m)	Metallisering	Malingssystem
Osterøybrua	1997	Over sund	58	85/15	Epoksy + polyuretan

Belegget på Osterøybrua er i god stand. Brua ble nylig inspisert av Statens Vegvesen og kun et lite antall punktangrep ble funnet.

Brua er belagt med TSZ 85/15 legering og et epoksy/polyuretan malingssystem.



Figur 6. Få korrosjonsskader på Osterøybrua. Bildet viser en enkelt skade.

3.4 Imarsundbrua

	Åpningsår	Miljø	Høyde (m)	Metallisering	Malingssystem
Imarsundbrua	2007	Over sund	Ca 10	100% Zn	25 µm epoksy 125-150 µm epoksymastik 60-100 µm polyuretan

Belegget på denne brua er i god stand og ingen korrosjonsskader ble funnet. Siden brulift ikke var tilgjengelig ble kun viadukten inspisert fra land, men resten av brua ble opplyst å være i samme tilstand (Erik Andreas Tornes, SVV). Brua ble imidlertid åpnet i 2007 og har følgelig ikke så lang eksponeringstid.

Observasjoner:

- Bildet under viser matte flekker som kan være utfellinger av sjøsalt, men som også kan være tidlig stadium av punktvis korrosjonsangrep.
- Noe som kunne se ut som små blærer ble funnet, som kan være tidlige korrosjonsangrep. Det kan imidlertid også være ujevnheter i belegget.
- Toppstrøket hadde flaket av i to små områder (lys flekk i bakgrunnen på bildet under)
- Total filmtykkelse ble måt til over 300 µm i alle målinger



Figur 7. Belegget på Imarsundbrua er i god stand.

3.5 Mjosundbrua

	Åpningsår	Miljø	Høyde (m)	Metallisering	Malingssystem
Mjosundbrua	1995	Over sund	14	100% Zn	4 strøk alkyd/KK

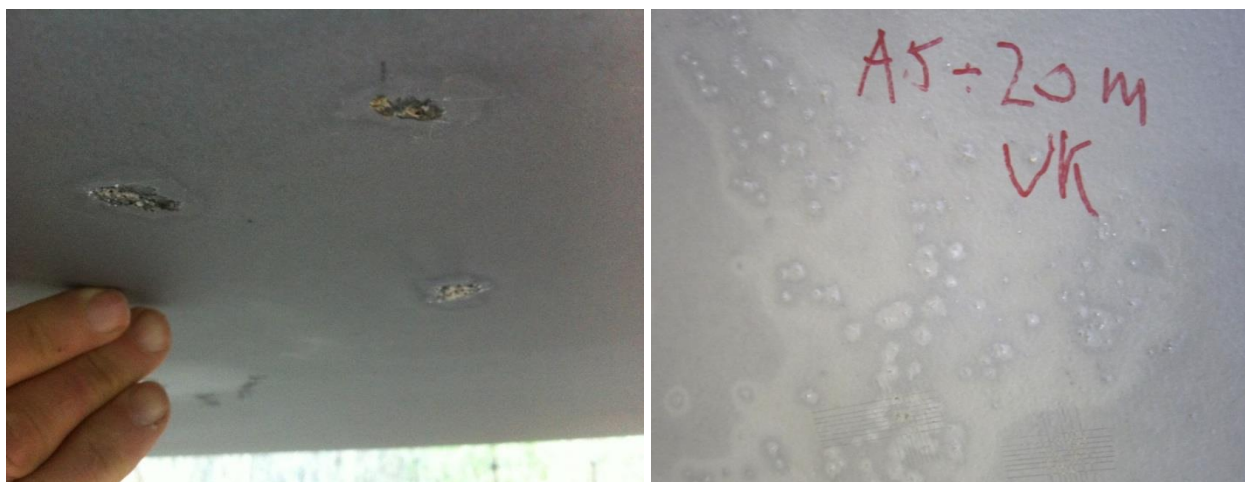
Mjosundbrua ble også kun inspisert fra land, slik at det bare er viadukten som er inspisert.

Observasjoner:

- Flere punktangrep ble funnet
- Total filmtykkelse ble målt til over 270 μm i alle målinger
- Angrepene er begrenset til horisontal flate under brua

I følge spesialinspeksjonsrapport fra Aas-Jacobsen datert 19.11.2013 er det flere korrosjonsangrep på de delene av brua som ligger direkte over sjøen. Konklusjonene fra deres inspeksjon var:

- Punktkorrosjon trolig som følge av nålestikk. I noen områder veldig tett med angrep.
- Filmtykkelse inkludert sink ble stort sett funnet å være over 300 μm . Noen enkeltmålinger under 300 μm ble funnet. Laveste måling var 221 μm . Tykkelsen til malingsbelegget alene ble ikke målt.
- Adhesjonen var tilfredsstillende



Figur 8. Korrosjonsskader på Mjosundbrua. Bildet til høyre er tatt fra rapporten til Aas-Jacobsen.

3.6 Dromnessundbrua

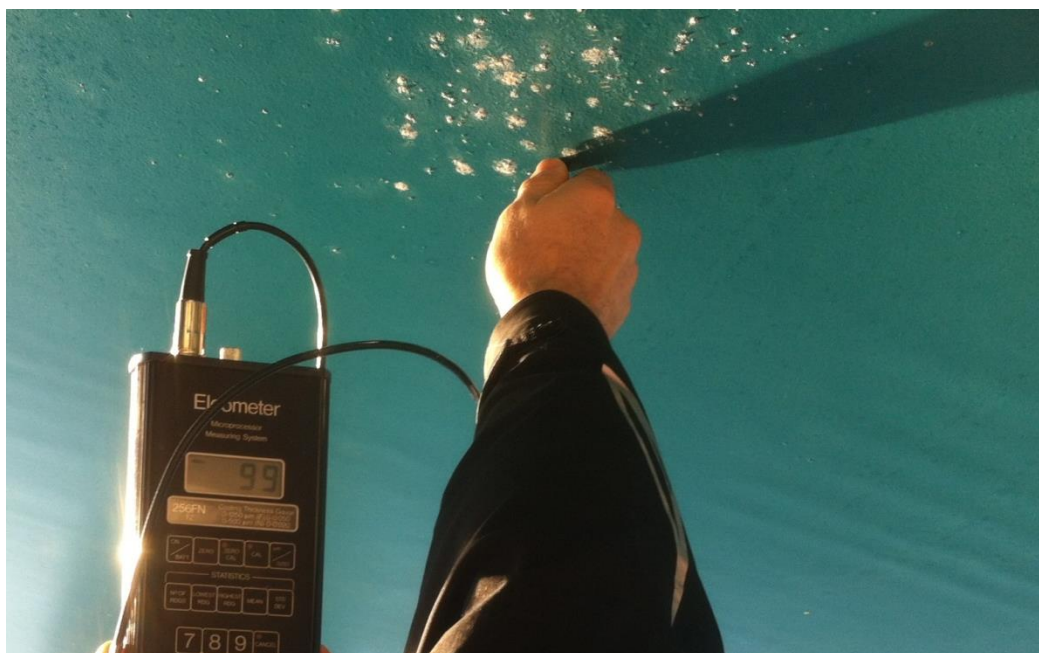
	Åpningsår	Miljø	Høyde (m)	Metallisering	Malingsystem
Dromnessundbrua	1996	Over sund	8-16	100% Zn	3 strøk alkyd/KK Correx toppstrøk, 50 µm hver

Også denne brua ble inspisert fra land, slik at kun viadukten er inspisert.

Observasjoner:

- Punktangrep enkeltvis i områder med høy filmtykkelse
- Tett i tett med punktangrep innenfor små områder, som vist i bildet under.
- Trolig var tykkelsen til malingsbelegget lav i slike områder. Bildet viser tykkelsesmåling av maling over sink på 99 µm.

Lav filmtykkelse er trolig årsak der mange angrep er samlet i et lite område. Enkeltangrep skyldes trolig nålestikk eller porer i belegget.



Figur 9. Korrosjonsangrep på Dromnessundbrua og tykkelsesmåling av malingsbelegget over sinken.

3.7 Melhusbrua

	Åpningsår	Miljø	Høyde (m)	Metallisering	Malingssystem
Melhusbrua	2003	Over elv	10	100% Zn	3 strøk alkyd/KK Correx toppstrøk, 50 µm hver

Melhusbrua står over en elv og er følgelig eksponert for et langt mindre korrosivt miljø enn de andre bruene som er inkludert i denne rapporten. Den ble inkludert i studien for å se om den hadde feil i belegget som kan forårsake korrosjon, og i så fall om korrosjon vil utvikles.

Bildene under viser nålestikk i belegget. Det nederste bildet er tatt gjennom lupe med 10x forstørrelse. Det ble funnet flere nålestikk i malingsbelegget, som regel mange samlet i et område på noen få kvadratmeter. De hadde imidlertid ikke utviklet seg til større korrosjonsangrep, som bildet gjennom lupa viser.



Figur 10. Nålestikk på Melhusbrua som ikke har utviklet seg til større korrosjonsangrep

3.8 Stordabrua

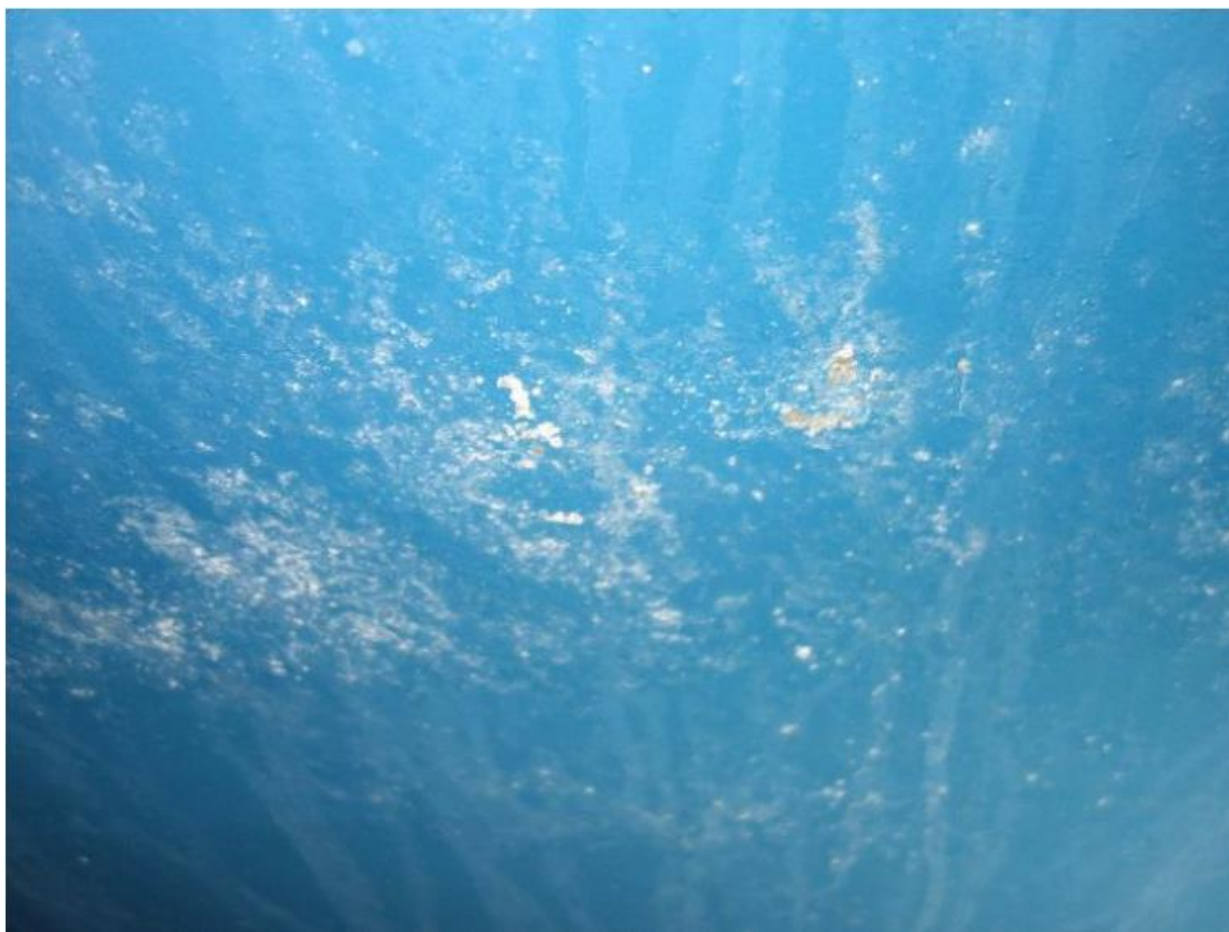
	Åpningsår	Miljø	Høyde (m)	Metallisering	Malingsystem
Stordabrua	2000	Over sund	18	85/15	25 µm epoksy sealer 100 µm epoksy 75 µm polyuretan

Brua ble ikke inspisert av oss, og det følgende er hentet fra inspeksjonsrapport av Rambøll datert 01.10.2014.

Avflassing av og blærer i toppstrøket er å finne spredt under hele brua. Toppstrøket virker sprøtt når det snittes i med sparkel. Det har blitt opplyst at toppstrøket ble malt i felt etter at brua var montert. Hvis epoksystrøket er bare 100 µm tykt er dette trolig ikke tilstrekkelig for å beskytte sinken mot korrosjon når toppstrøket har flaket av. Det er sammenhengende skader langs nesten hele midtsømmen med både avflassing, blæring og hvitrust. Enkelte steder er det rust fra stål. Dannelsen av hvitrust der toppstrøket er flaket av viser at malingsfilmen under toppstrøket heller ikke er tett nok til å holde fuktigheten unna sinken (Figur 11). Korrosjon av sink, som viser seg som dannelse av hvitrust, går raskt i dybden inne i blærer eller der malingsfilmen ikke har åpnet seg. Figur 12 viser korrosjon i et område med intakt toppstrøk, det vil si korrosjonsskader som ligner på de som er funnet på Nordhordlandsbrua.



Figur 11. Avflassing av toppstrøk og korrosjonsskader på Stordabrua.



Figur 12. Korrosjon i sinkbelegget på Stordabrua

3.9 Bømlabrua

	Åpningsår	Miljø	Høyde (m)	Metallisering	Malingssystem
Bømlabrua	2001	Over sund	36	85/15	25 µm epoksy sealer 100 µm epoksy 75 µm polyuretan

Brua ble ikke inspisert av oss, og det følgende er hentet fra deler av en inspeksjonsrapport mottatt fra Statens Vegvesen (Elin Spildo).

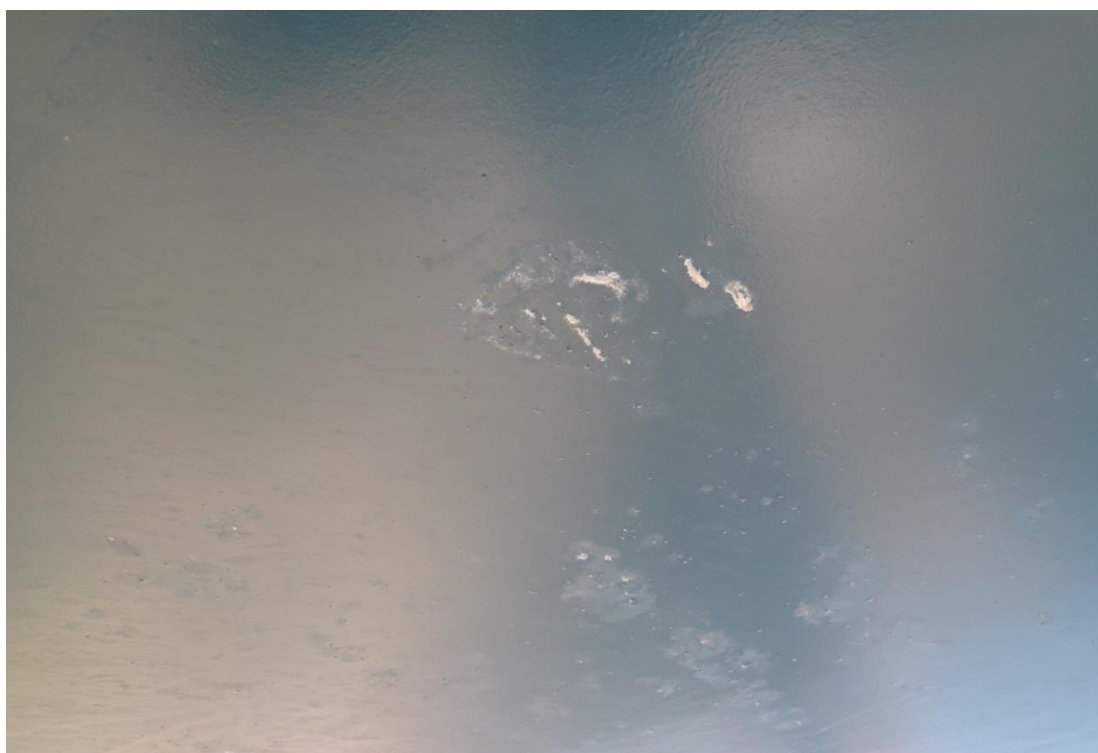
Det er store partier med malingsavflassing under kassen. Det er generelt avflassing langs langsgående sveis og ofte kan malingen enkelt dras av i større flak. Ved hver eneste seksjonsskjøt er det avflassing med en utbredelse på omtrent en halv meter til hver side. Det er også generelt mye avflassing på oversiden av kasse. Det er stort sett toppstrøket som kan dras av. Det har blitt opplyst at toppstrøket ble malt i felt etter at brua var montert. Noen steder er malingen helt borte og sinklaget har startet å korrodere. Som for Stordabrua, hvis epoksystrøket bare er 100 µm tykt vil det trolig ikke ha tilstrekkelig barriere til å beskytte sinken mot korrosjon der hvor toppstrøket har flasket av.

Av bildet i Figur 13 ser det imidlertid ut til at områder med intakt toppstrøk også viser korrosjon på sinken. Angrepene ser også ut til å ligge i regelmessige rekker, hvilket kan tyde på at noe i transporten, anleggspunkter eller lignende, som har forårsaket skadene.

Bildet i Figur 14 tyder på at det også er punkt-skader i belegget i områder der toppstrøket er intakt.



Figur 13. Korrosjonsskader på viadukt på Bømlabrua



Figur 14. Punktformede korrosjonsangrep på Bømlabrua

4 Diskusjon

4.1 Årsak til de observerte korrosjonsskadene

Det er funnet ulike typer korrosjonsskader som hver har en egen årsak.

4.1.1 Nålestikk

Korrosjonsskader som er forenelige med nålestikk i malingsbelegget ble funnet på alle bruene. Det er imidlertid ikke mulig å fastslå for sikkert at angrepene skyldes nålestikk, siden korrosjonsangrepet ødelegger den opprinnelige skaden i malingsfilmen. Likevel er vi ganske sikre på at dette er forklaringen, det vil si at korrosjonsangrepet starter med en pore i belegget. Om poren er stor eller liten, om den penetrerer hele beleggssystemet, bare sealeren eller om det bare er en gassboble på grenseflata mellom sealer og sink vites ikke. Dannelse av nålestikk er et velkjent problem ved maling av termisk sprøytet metall. På Melhusbrua ble det dessuten funnet nålestikk som ikke hadde utviklet større korrosjonsangrep, siden korrosiviteten på stedet er lav.

4.1.2 Malingsbelegg med lav filmtykkelse

Det er gjort svært få målinger av tykkelsen til malingsbelegget alene, men det er funnet svært lav filmtykkelse i områder med mye korrosjon. All erfaring tilsier at filmtykkelsen til TSZ vil variere. Når det spesifiseres 100 μm TSZ er det rimelig å anta at det i områder vil være over 200 μm filmtykkelse. Når det måles en total filmtykkelse på 300 μm , som er i henhold til spesifikasjon, kan det godt hende at sinkbelegget er 200 μm og malingsbelegget bare er 100 μm . Tverrsnittsmålinger av skadet belegg og noen tykkelsesmålinger gjort med sonde for ikke-magnetisk underlag (hvirvelstrøm) i denne undersøkelsen har vist malingsbelegg med for lav filmtykkelse.

Det er også rimelig å anta at noen av punktskadene som er observert skyldes malingsbelegg med lav filmtykkelse. De fleste malingsbelegg vil inneholde porer eller gassbobler som svekker barriere-egenskapene lokalt. Ved lav filmtykkelse vil slike porer kunne føre til lokal korrosjon, siden barriere-egenskapene vil bli ekstra svekket.

På Stordabrua og Bømlabrua er det betydelig korrosjon på sinken der toppstrøket er flasket av. Det er rimelig å anta at dette da også skyldes lav filmtykkelse.

4.1.3 Avflassing av toppstrøk og etterfølgende korrosjon (Stordabrua, Bømlabrua)

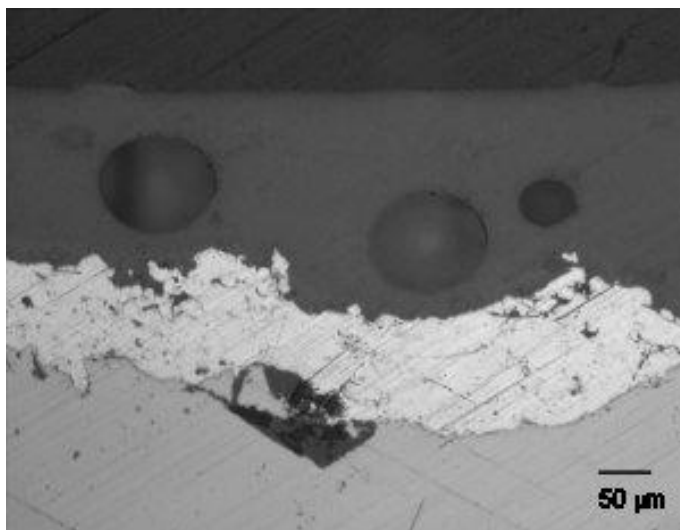
Disse skadene skyldes trolig at toppstrøket ble påført på stedet etter at brua var montert. Svekket heft mellom polyuretan toppstrøk og epoksystrøket kan mest sannsynlig skyldes to ting:

- Overskredet overmalingsintervall. Hvis epoksystrøket får herde ut for godt før toppstrøket påføres kan det føre til dårlig heft for toppstrøket. I noen tilfeller anbefales det lett pussing av epoksyen for å forbedre heften i slike tilfeller.
- Forholdene på stedet under påføring av toppstrøket kan ha vært ugunstige, for eksempel at fuktigheten på epoksyoverflata har vært høy.

Andre forklaringer er også mulige, som aminsvetting fra epoksyen.

De runde formene i Figur 15 er porer i et epoksybelegg (fra et tidligere prosjekt). Slike porer midt i et strøk er svært vanlig. Malingstrøket har her en tykkelse på omkring 200 μm og porene er omkring 100 μm .

Størrelsen på porene varierer, trolig som funksjon av viskositeten til malinga og tykkelsen til strøket. Tykke, viskøse strøk gir store porer. De dannes enten ved at luft fanges i belegget under påføring, eller ved at løsemidler fordampes i belegget og danner gassbobler. Slike porer vil svekke barriere-egenskapene til strøket. Det vil derfor som regel være nødvendig med minst to strøk for å få en korrosjonsbeskyttende film. Når epoksystrøket på Stordabrua og Bømlabrua var spesifisert til bare 100 μm , og toppstrøket flasset av, er det sannsynlig at korrosjon har startet under slike porer og spredd seg derfra.



Figur 15. Porer i malingsbelegg. Prøven er fra et tidligere prosjekt.

4.1.4 Korrosiviteten på stedet

Det er åpenbart at korrosiviteten på stedet der bruene står eksponert har mye å si for omfanget av korrosjonsskader. Melhusbrua som står over elv flere km fra kysten har ingen korrosjonsskader. På Mjosundbrua er det rapportert mer korrosjonsskader der brua går over sjø enn på viaduktene over land.

4.2 Effekt av type malingsbelegg

Fire av bruene som er diskutert i denne rapporten har epoksy/polyuretan malingsbelegg, mens de øvrige har alkyd/KK systemet. De tre bruene er Osterøybrua, Imarsundbrua, Bømlabrua og Stordabrua. På Osterøybrua og Imarsundbrua er belegget i god stand, mens det på Bømlabrua og Stordabrua er omfattende korrosjonsskader. Imarsundbrua har foreløpig kort eksponeringstid, slik at eventuelle svekkelser i belegget som nålestikk, ikke nødvendigvis har resultert i korrosjon enda. Osterøybrua står noe skjermet i en fjord. Den er dessuten høy. Det kan derfor tenkes at korrosiviteten på stedet er lavere enn for mange av de andre bruene som er diskutert. Korrosjonsskadene på Bømlabrua og Stordabrua ser ut til å ha forskjellige årsaker, men det er også punktsskader der som ligner på skadene som er funnet på bruer med alkyd/KK. Der er derfor rimelig å anta at moderne beleggsystemer er utsatt for den samme typen skader som det gamle alkyd/KK baserte systemet.

4.3 Effekt av TSZ legering

Tre av bruene er metallisert med en legering bestående av 85% sink og 15% aluminium (85/15): Osterøybrua, Stordabrua og Bømlabrua. På Stordabrua og Bømlabrua viser korrosjonsangrepene at 85/15 legeringa trolig er like utsatt for denne typen skader som ren sink.

4.4 Hvorfor får vi mest korrosjon på undersiden av bruene?

En opplagt årsak til at undersiden av bruene er mer utsatt for korrosjon er at salter ikke vaskes bort av regn. Salt akkumuleres over tid og vaskes aldri bort. En svært konsentrert saltfilm vil dermed dannes på undersiden av bruene.

En annen faktor som kan bidra er at kvaliteten på malingsarbeidet på undersiden av bruene kan være noe dårligere på grunn av ugunstig arbeidsstilling for maleren. Nå vet vi ikke hvordan bruelementene står når de males i verftet, men hvis de står som på brua må maleren stå under og male oppover. Det er enklere å stå foran en vertikal flate og påføre maling foran deg enn å stå under en horisontal flate og male over deg. Stillingen blir anstrengt og maleren ønsker å bli raskt ferdig slik at det gjøres flere feil. Vi har mottatt informasjon som tyder på at modulene står vertikalt når de males, slik at dette trolig ikke er et problem.

4.5 Forslag til korrosjonsmekanisme

Avflassing av toppstrøk og for lav filmtykkelse diskuteres ikke, siden korrosjonsmekanismen i disse tilfellene er opplagt. Kun punktangrep diskuteres.

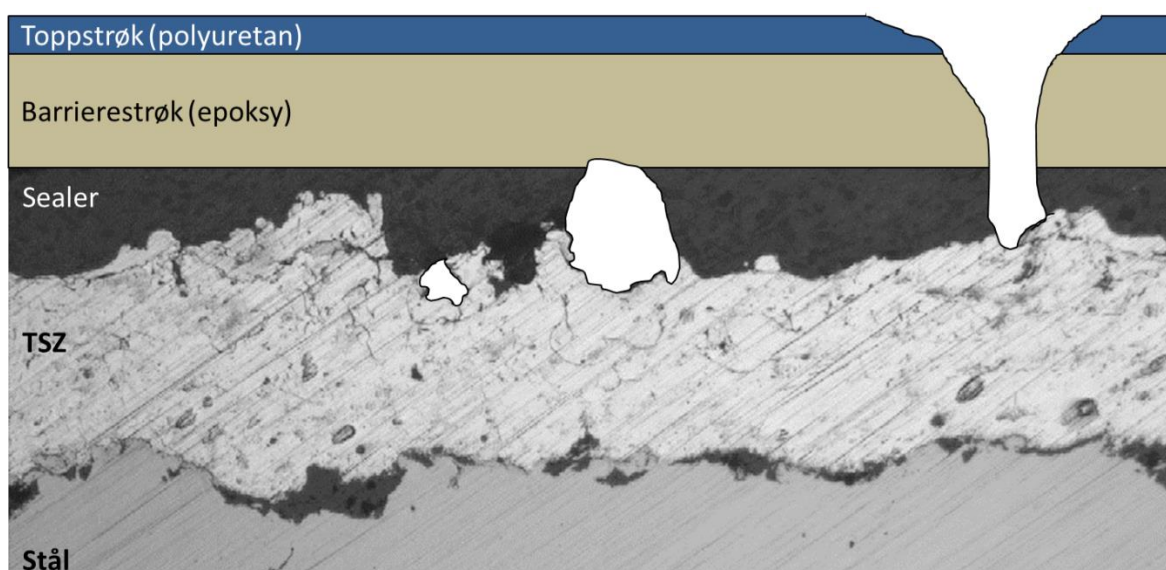
Figur 16 viser et tverrsnitt av et termisk sprøytet metallbelegg der sealer, barrierestrøk og toppstrøk er tegnet på. Tidligere undersøkelser av sealere har vist at det lett dannes porer på metalliseringsbelegget på grunn av ruheten og strukturen i grenseflata mot sealeren. En liten og en stor penetrerende pore er illustrert. En pore behøver ikke penetrere hele malingsbelegget for å skape et korrosjonsangrep. Siden epoksy typisk tar opp 2-3 % vann kan det kondensere vann i slike porer når belegget eksponeres i fuktig miljø. Sink er spesielt korrosjonsutsatt i helt rent vann, slik at kondensvann i en pore godt kan starte korrosjon av sinken. Om dette faktisk er tilfelle, eller hvor stor en pore eventuelt må være for å starte et korrosjonsangrep vet vi ikke.

En korrosjonsmekanisme kan da være som følger:

1. En pore på grenseflata mellom sealer og sinkbelegget fylles med kondensvann
2. Kondensvannet får sinken til å korrodere
3. Korrosjonsproduktene av sinken har vesentlig høyere volum enn sinkmetallet slik at hele malingsbelegget sprekker
4. Det saltholdige marine miljøet på utsiden har nå direkte tilgang til sinken gjennom sprekken i belegget.
5. Sinken korroderer og angrepet sprer seg i en sirkel omkring poren og sprekken. Korrosjonsprodukter av sink tyter ut av belegget og bryter opp sprekken videre

Alternativt kan det dannes en stor pore i sealere som penetrerer hele sealeren, og som etterfølgende malingsstrøk heller ikke klarer å lukke, det vil si et nålestikk dannes. I dette tilfellet vil det korrosive miljøet ha tilgang til sinken umiddelbart og starte et korrosjonsangrep.

Avhengig av korrosiviteten vil korrosjonsangrepet spre seg mer eller mindre raskt. På Melhusbrua der det trolig ikke er minimalt med salt på undersiden av brua er det ikke sikkert at et angrep vil spre seg i det hele tatt.



Figur 16. Termisk sprøytet sink, med illustrert malingsbelegg over og porer i sealeren.

5 Forslag til endringer i Prosesskoden

5.1 Tykkelsesmåling av malingsbelegget

I dag gjøres kun total tykkelsesmåling av sink og malingsbelegg. Dersom sinkbelegget har en tykkelse som er høyere enn spesifisert vil lav filmtykkelse i malingsbelegget ikke oppdages. Prosesskoden bør derfor skrives om så tykkelsen på malingsbelegget måles separat.

Tykkelse på sinkbelegg skal kontrolleres med magnetisk tykkelsesmåler iht. NS-EN ISO 2178, mens tykkelse på malingsbelegg skal måles med ikke-magnetisk tykkelsesmåler iht. NS-EN ISO 2360.

5.2 Overmalingsintervaller

Normalt angis bare minimum overmalingsintervall i teknisk datablad. Hvis det er ønskelig å påføre toppstrøket etter installering av brua, lang tid etter påføring av forrige strøk, må dette tas hensyn til ved valg av maling og diskuteres med leverandøren. Det kan hende at dette krever at overflata vaskes og/eller slipes lett for å få tilstrekkelig heft. Alternativ kan det kreves at alle strøk påføres i verftet.

6 Forslag til videre arbeid

Overordnet målsetning med prosjektet er å foreslå nye prosedyrer for overflatebehandling av bruer som kan brukes direkte i Håndbok 026- Prosesskode 2 og som reduserer de observerte korrosjonsproblemene.

Forklaringene på korrosjonsproblemene som er presentert i denne rapporten er:

- Lav filmtykkelse
- Avflassing av toppstrøk
- Nålestikk/porer

De to første forklaringene behøver ikke nærmere undersøkelse, da det er opplagt at dette var årsaken til de observerte skadene. Det er også ganske opplagt hvilke tiltak som må til for å redusere risiko for denne typen skader i fremtiden. Den siste forklaringen med nålestikk/porer er bare en hypotese så langt. Videre arbeid vil derfor fokusere på dette punktet.

Vi foreslår følgende:

1. Verifikasjon av korrosjonsmekanismen.

Hva slags porer må til for å få et korrosjonsangrep? Må det penetrere hele belegget, sealeren eller holder det at det er en pore på grenseflata mellom sink og sealer? Vi foreslår å male prøver og fremprovosere dannelse av de ulike typene porer og gjøre korrosjonstesting av disse prøvene. I første omgang tenker vi å teste i kondensammer siden det vil være mest aggressivt for ikke penetrerende porer. Det vil også teste hypotesen om at korrosjon kan starte i ikke penetrerende porer ved at rent vann kondenserer i porene. At porer som penetrerer hele malingsbelegget vil skape korrosjon er opplagt og trenger ikke testes. Mengden porer evalueres visuelt og i tverrsnitt.

2. Undersøkelse av sealere og påføringsbetingelser

Hvorfor dannes det porer i sealeren? Hvilken rolle spiller filmtykkelse og viskositet? Hva er hensiktsmessig å spesifisere med hensyn på filmtykkelse og tørrstoffinnhold i en sealer? Vi har bestilt ulike sealere og vil teste de i ulik filmtykkelse og fortynning. Etter påføring evalueres prøvene først visuelt for penetrerende porer og deretter i tverrsnitt for å se etter ikke penetrerende porer.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no



Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO
Tlf: (+47 915) 02030
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen