



Korrosjonsbeskyttelse av stålbruer - Vurderinger

Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012-2015

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 505

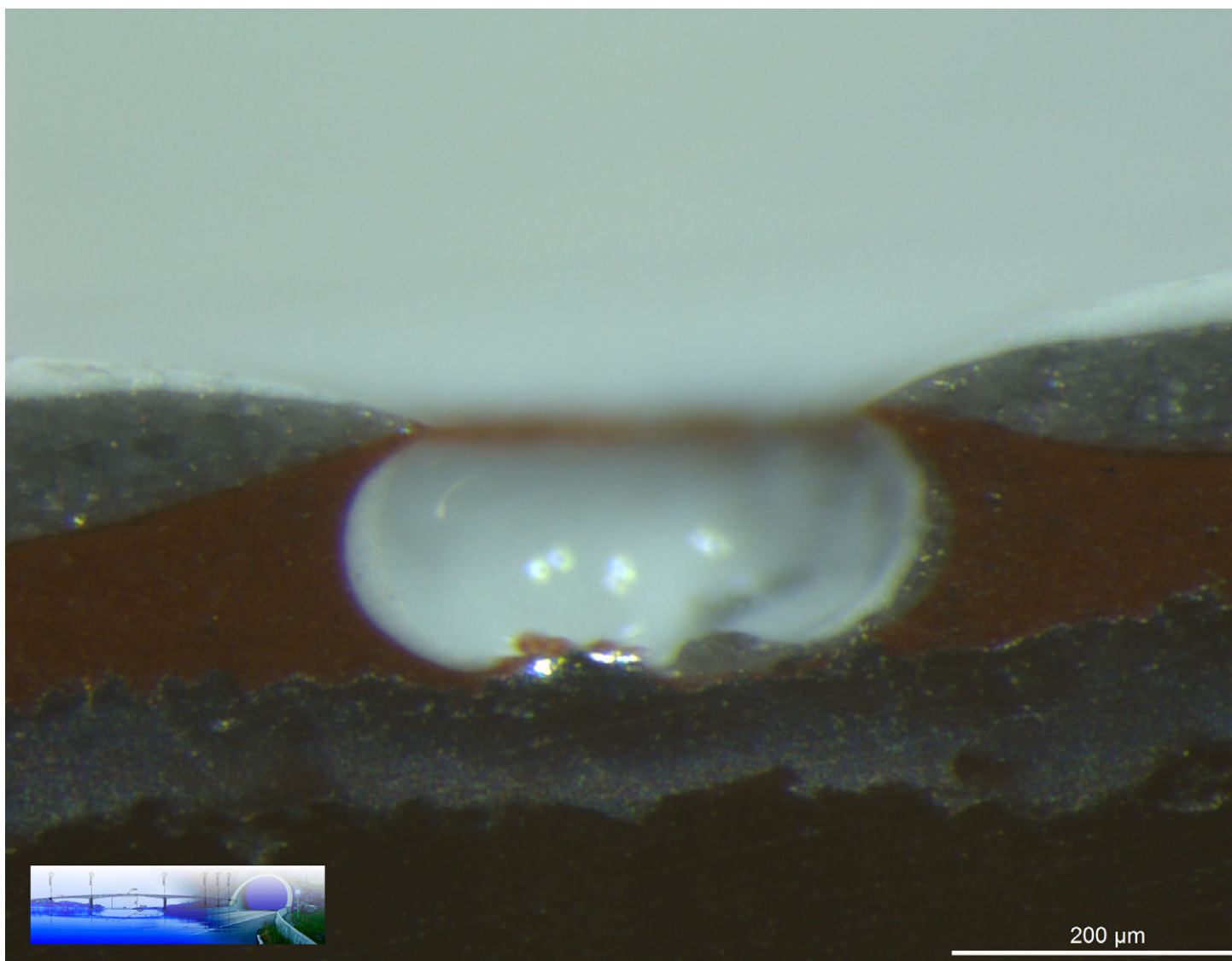


Foto: Ole Øystein Knudsen



200 μm

Tittel

Korrosjonsbeskyttelse av stålbruere. Testing og vurderinger.

Undertittel

Varige konstruksjoner 2012-2015

Forfatter

Ole Øystein Knudsen

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Seksjon

Tunnel og betong

Prosjektnummer

603242

Rapportnummer

Nr. 505

Prosjektleder

Synnøve A. Myren/ Bård Pedersen

Godkjent av

Bård Pedersen

Emneord

Varige konstruksjoner, dupleksbelegg, sink, korrosjon, vedlikehold

Sammendrag

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

Målsetning med arbeidet som er rapportert her har vært: (1) Vurdere og analysere årsaker til de feil og mangler som er observert. (2) Vurdere konsekvens (levetid) av dagens bruere. (3) Vurdere dagens spesifikasjoner (Håndbok R762), og i hvilken grad de er tilpasset dagens teknologi og nasjonal og internasjonal kunnskap på fagområdet. I tillegg er forventet levetid til Vedlikeholdssystem 1–3 vurdert. TSA og tykkfilmsbelegg er også vurdert, hovedsakelig basert på erfaringer fra offshore olje og gass installasjoner.

Title

Corrosion protection of steel bridges. Testing and assessments

Subtitle

Durable structures 2012-2015

Author

Ole Øystein Knudsen

Department

Traffic Safety, Environment and Technology Department

Section

Tunnel and concrete

Project number

603242

Report number

No. 505

Project manager

Synnøve A. Myren/ Bård Pedersen

Approved by

Bård Pedersen

Key words

Durable structures, duplex coatings, zinc, corrosion, maintenance

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.

The objectives of the work reported here have been: (1) Analyse the causes of the defects and deficiencies observed. (2) Evaluate consequence (lifetime) for the current bridges. (3) Assess current specifications (Manual R762), and the extent to which they have incorporated modern technology and national and international state of art. In addition, life expectancy for Maintenance System 1-3 has been evaluated. TSA and thick film coatings are also considered, mainly based on experience from offshore oil and gas installations.

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

Korrosjonsbeskyttelse av stålbruer

Testing og vurderinger

Forfatter(e)

Ole Øystein Knudsen



Rapport

Korrosjonsbeskyttelse av stålbruer

Testing og vurderinger

EMNEORD:

Maling; sink; belegg;
Korrosjon;
Materialteknologi

VERSJON

1.0

DATO

2016-01-11

FORFATTER(E)

Ole Øystein Knudsen

OPPDRAGSGIVER(E)

Statens Vegvesen

OPPDRAGSGIVERS REF.

Bård Pedersen

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

26, inkludert vedlegg

GRADERING

Unrestricted

GRADERING DENNE SIDE

Unrestricted

ISBN

9788214058536

SAMMENDRAG

Målsetning med arbeidet som er rapportert her har vært: (1) Vurdere og analysere årsaker til de feil og mangler som er observert. (2) Vurdere konsekvens (levetid) av dagens bruer. (3) Vurdere dagens spesifikasjoner (Håndbok R762), og i hvilken grad de er tilpasset dagens teknologi og nasjonal og internasjonal kunnskap på fagområdet. I tillegg er forventet levetid til Vedlikeholdssystem 1 – 3 vurdert. TSA og tykkfilmsbelegg er også vurdert, hovedsakelig basert på erfaringer fra offshore olje og gass installasjoner.

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 A 27401

VERSJON

1.0

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.0	2016-01-11	Første versjon

Innholdsfortegnelse

1	Sammendrag og konklusjoner	4
2	Innledning	5
2.1	Bakgrunn	5
2.2	Målsetning	5
3	Eksperimentell undersøkelse av nålestikk	6
3.1	Eksperimentelt	6
3.2	Resultater	7
3.2.1	Nålestikk undersøkt i mikroskop	7
3.2.2	Eksposering i kondenskammer og salttåke	11
3.2.3	Barriere mot transport av ioner	12
3.3	Dannelse av nålestikk	13
4	Levetid for Vegvesenets vedlikeholdssystemer	14
4.1	Vedlikeholdssystem 1	15
4.2	Vedlikeholdssystem 2	15
4.3	Vedlikeholdssystem 3	16
4.4	Sammenligning av vedlikeholdssystemene	17
5	Erfaringer med andre typer belegg som har lang levetid	17
5.1	Tykkfilmsbelegg	17
5.2	Termisk sprøyta aluminium med sealer	19
6	Vurderinger	20
6.1	Årsaker til de feil og mangler som er observert	20
6.2	Konsekvens for levetid til dagens bruer	20
6.3	Konsekvens for dagens spesifikasjoner	21
7	Referanser	22
A	Vedlegg Tykkelsesmålinger	23
B	Vedlegg Bilder av prøver	24

1 Sammendrag og konklusjoner

Målsetning med arbeidet som er rapportert her har vært:

1. Vurdere og analysere årsaker til de feil og mangler som er observert (feil spesifikasjon, feil utførelse eller manglende/ feil drifts- og vedlikeholdsrutiner).
2. Vurdere konsekvens (levetid) for dagens bruer.
3. Vurdere dagens spesifikasjoner (Håndbok R762), og i hvilken grad de er tilpasset dagens teknologi og nasjonal og internasjonal kunnskap på fagområdet.

I tillegg er forventet levetid til Vedlikeholdssystem 1 – 3 vurdert. TSA og tykkfilmsbelegg er også vurdert, hovedsakelig basert på erfaringer fra offshore olje og gass installasjoner.

De observerte korrosjonsskadene på belegg av type System 1 (Håndbok R762, seksjon 85.3) ser ut til å ha to ulike årsaker, begge er påføringsfeil:

- For lav filmtykkelse på malingsbelegget. Kontroll av beleggtykkelse er gjort med magnetisk målesonde, hvilket betyr at det måles en samlet beleggtykkelse for hele dupleksbelegget. Dersom sinkbelegget har for høy tykkelse vil det gjøre at lav tykkelse på malingsbelegget ofte ikke oppdages. Hvis malingsbelegget er for tynt vil det ikke beskytte sinkbelegget og korrosjon på sinken vil starte etter noen få års eksponering.
- Nålestikk i malingsbelegget. Påføring av sealer med for høyt tørrstoffinnhold (høy viskositet) og for høy tykkelse gjør at det dannes gassbobler i sealeren (nålestikk). Nålestikkene tettes ikke nødvendigvis av etterfølgende strøk, slik at disse vil være svake punkter i malingsbelegget der korrosjon på sinken kan starte etter kort tid.

De observerte skadene vil ikke påvirke bruens levetid, så lenge belegget repareres før stålet starter å korrodere. Levetidskostnadene vil imidlertid øke, siden omfattende vedlikehold må startes på et tidlig tidspunkt.

Ny revisjon av Håndbok R762 er publisert i 2015. Spesifikasjonen av belegg anses å være god, slik at ingen store endringer er gjort. Tre endringer er gjort for å forsøke å unngå de observerte skadene i fremtiden:

- Sealer skal påføres til maksimalt 25 µm og må fortynnes tilstrekkelig
- Filmtykkelsen til malingsbelegget skal kontrolleres bedre
- Det innføres System 2 for svært korrosivt miljø, der beleggssystemet har et ekstra strøk epoksy

Skadene på belegg av type Vedlikeholdssystem 2 og 3 (Håndbok R762, seksjon 88.37) skyldes at levetiden til belegget er overskredet. Beleggene ser ut til å ha vært påført i henhold til spesifikasjon.

Glassflakforsterket polyesterbelegg (tykkfilmsbelegg) er påført på bærebjelker på to mindre bruer. Disse er ikke inspisert i dette prosjektet, men fra personell i Statens Vegvesen er det rapportert om mindre korrosjonsangrep på kanter og overlappende skjøter. Denne typen belegg har gitt svært lang levetid i plaskesonen på offshore installasjoner. Det har imidlertid blitt påført vesentlig tykkere der.

Termisk sprøyta aluminium (TSA) har gitt svært lang levetid offshore, men da uten overmaling. Hvis TSA overmales vil en spesiell korrosjonsmekanisme sette inn og belegget brytes raskt ned. Det er derfor begrenset hvilken farge man kan ha på en overflate som er metallisert med TSA.

Basert på de gode erfaringene offshore med tykkfilmsbelegg og TSA er det rimelig å anta at slike belegg også kan gi lang levetid på bruer.

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. 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, Ry5= 50 - 85 µm

Beleggsystem:

1. min 100 µm ren termisk sprøytet sink eller aluminium
2. maks 10 µm etsprimer spes. nr. 4
3. 50 µm sinkfosfat alkyd klorkautsjuk spes. nr. 115 (lys grå)
4. 50 µm sinkfosfat alkyd klorkautsjuk spes. nr. 116 (gul)
5. 50 µm dekkmaling alkyd klorkautsjuk spes. nr. 117 (metallfarget)
6. 50 µm dekkmaling alkyd klorkautsjuk spes. nr. 118 (metallfarget)

Total beleggtykkelse: 300 µm

For å få ønsket farge på brua ble toppstrøket ofte skiftet ut med en silikonmodifisert alkydmaling.

System 3.

Metallisering pluss epoksy/polyuretan (duplekssystem)

Blåserensing: Renhet: Sa3, Ruhet: Medium G, Ry5= 50 - 85 µm

Beleggsystem:

1. min 100 µm ren termisk sprøytet sink
2. 25 µm epoksy sealer
3. 100 µm epoksymastik
4. 75 µm polyuretan eller polyuretan akryl

Total beleggtykkelse: 300 µm

Inspeksjon av et antall bruer med korrosjonsproblemer er tidligere rapportert [1]. Basert på funn i denne undersøkelsen ble testprogrammet som rapporteres her startet.

2.2 Målsetning

Målsetning med denne delen av arbeidet har vært:

4. Vurdere og analysere årsaker til de feil og mangler som er observert (feil spesifikasjon, feil utførelse eller manglende/ feil drifts- og vedlikeholdsrutiner).
5. Vurdere konsekvens (levetid) for dagens bruer.
6. Vurdere dagens spesifikasjoner (Håndbok R762), og i hvilken grad de er tilpasset dagens teknologi og nasjonal og internasjonal kunnskap på fagområdet.

3 Eksperimentell undersøkelse av nålestikk

3.1 Eksperimentelt

Prøveplater på 3 x 100 x 150 mm av karbonstål ble blåserenset og sprøytet med ren sink og legering 85/15 sink aluminium. Spesifisert filmtykkelse var 100 µm. Prøvene ble produsert av Grillo i Duisburg, Tyskland, som er produsent av sinktråd for termisk sprøyting. Belegget hadde en ruhet på Rz 59 µm og Ra 9,2 µm.

De metalliserte prøveplatene ble malt av SINTEF i henhold til Tabell 1 under. Filmtykkelse på de enkelte strøkene er gitt i Vedlegg A. Malinga ble påført med Titan 440 sprøyte og dyser i henhold til teknisk datablad for de enkelte malingene. Sealeren ble fortynnet før påføring på prøver angitt i tabellen i Vedlegg A.

To kommersielle sealere ble testet. Sealer 1 er et produkt som er utviklet for dette formålet, mens sealer 2 er en standard epoksy primer. Prøver med sealer 1 ble overmalt for korrosjonstesting, mens sealer 2 kun ble påført for å undersøke dannelse av nålestikk.

Prøvene ble fremstilt for å undersøke følgende:

- Dannelse av nålestikk som funksjon av tykkelse av sealeren
- Dannelse av nålestikk som funksjon av fortynning av sealeren
- Dannelse av nålestikk uten sealer
- Start av korrosjon fra ulike typer nålestikk

Tabell 1. Beleggssystem med sealer 1. D og E ble preparert uten sealer for å fremprovosere mange nålestikk.

	TSZ	Sealer tørrstoffinnhold (volum %)	Sealer tykkelse	Epoksymastik	Epoksymastik	Poluretan toppstrøk	Total tykkelse
A	100 µm	40 %	25 µm	125 µm	-	75 µm	225 µm
B	100 µm	40 %	50 µm	125 µm	-	75 µm	250 µm
C	100 µm	30 %	25 µm	125 µm	-	75 µm	225 µm
D	100 µm	-	-	50 µm	100 µm	75 µm	225 µm
E	100 µm	-	-	150 µm	-	75 µm	225 µm

Tabell 2. Påføring av sealer 2. Denne ble ikke overmalt.

	TSZ	Sealer tørrstoffinnhold (volum %)	Sealer tykkelse	Påføring
F	100 µm	48 %	50 µm	Påført i 2 sveip med 30 sekunder pause mellom
G	100 µm	48 %	100 µm	Påført i ett sveip, høy filmtykkelse
H	100 µm	48 %	0-25 µm	1 sveip
I	100 µm	30 %	25 µm	1 sveip

3.2 Resultater

3.2.1 Nålestikk undersøkt i mikroskop

Bildene i Vedlegg B viser første strøk for de ulike beleggsystemene som er påført. Tabell 3 under oppsummerer status med hensyn på nålestikk på de ulike typene prøver.

A-prøvene hadde noe varierende filmtykkelse på sealeren, som kan sees av fargemetningen på bildet i Vedlegg B. I de mørkeste områdene var den 25-50 μm , mens i de lyse områdene bygde den ingen målbar filmtykkelse over sinkbelegget. I områdene med 25-50 μm filmtykkelse ble det dannet nålestikk, mens det ikke skjedde i områdene med lav filmtykkelse. B-prøvene hadde høyere spesifisert filmtykkelse.

Figur 1 viser et nærbilde av et nålestikk. Bildet viser at det ligger en blank hinne av bindemiddel over nålestikket. Trolig dannes det en gassboble i filmen som øverst kun består av bindemiddel. Figur 2 viser et bilde av et nålestikk i belegg B etter påføring av mellomstrøk og toppstrøk. Langs randen av nålestikket vises fortsatt den røde sealeren, hvilket indikerer at belegget ikke har tilstrekkelig filmtykkelse i nålestikket.

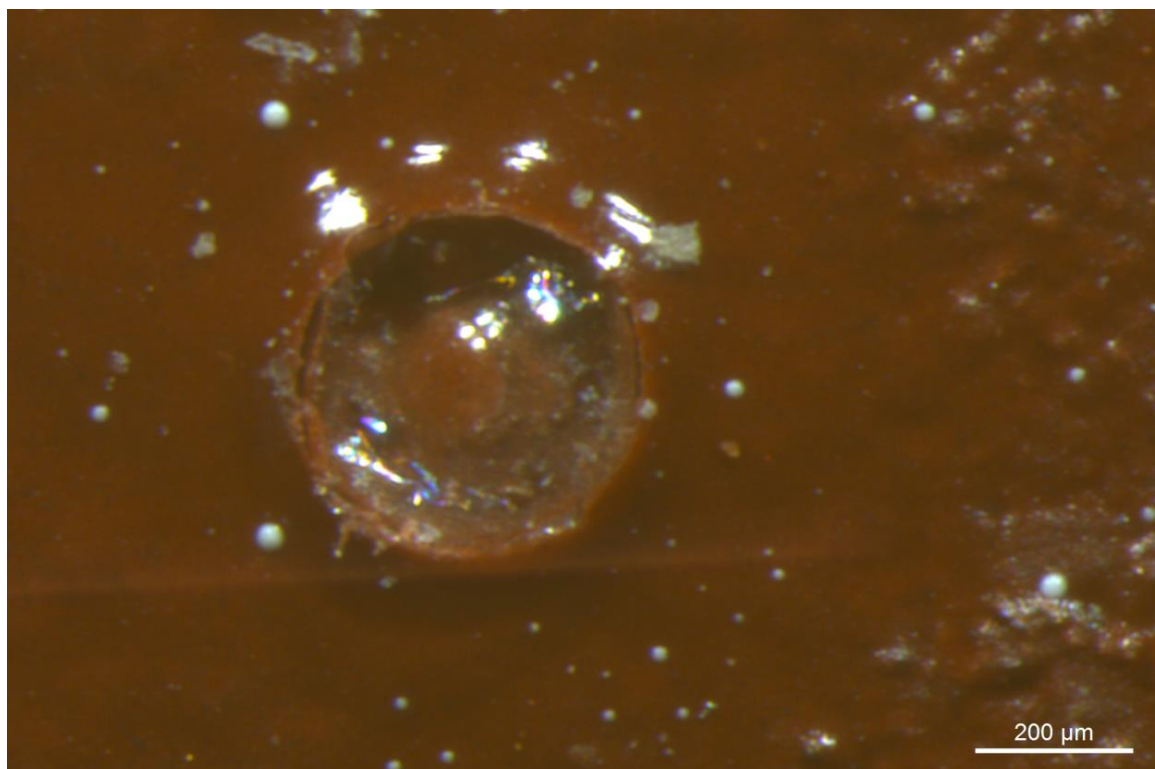
Tverrsnitt av B-prøvene i Figur 3 - Figur 5 viste tykkelse på sealeren på omkring 50-75 μm . Bildet i Vedlegg viser et betydelig antall nålestikk, men ikke vesentlig høyere enn i de tykke områdene i A-prøven. Bildene av A og B-prøvene indikerer at det bygges opp ekstra filmtykkelse omkring nålestikkene, som vises ved en ring med mørkere farge omkring. Her har hinna over nålestikket sprukket under herding eller ved stabling av prøvene i etterkant. Bildene viser at sealeren dekker bunnen i nålestikket. Sinkbelegget er forseglet. Figur 4 viser at andrestrøket har trengt ned i dette nålestikket, trolig fordi det har en ganske høy diameter på omkring 1 mm. Figur 5 derimot viser et nålestikk der mellomstrøk og toppstrøk ikke har trengt inn i nålestikket i særlig grad. Kun en svært tynn film av disse strøkene er å finne på innsiden. I dette tilfellet var nålestikket bare ca 0,3 mm i diameter, hvilket trolig forklarer forskjellen fra Figur 4. Åpningen i nålestikket er bare omkring 0,2 mm i diameter og dermed trolig mindre enn malingsdråpene som treffer overflata. På grunn av overflatespenningen og viskositeten til malinga trekker den seg heller til siden enn inn i nålestikket. Lufta i nålestikket må også unnsnippe for at malinga skal kunne trenge inn, hvilket også hindrer malinga i å trenge inn i så trange nålestikk. Det kan også tenkes at det har vært en hinne over nålestikket (som i Figur 1) som har hindret mellomstrøket å trenge inn, men da skulle trolig mellomstrøket bygget film over nålestikket, hvilket jo ikke er tilfellet.

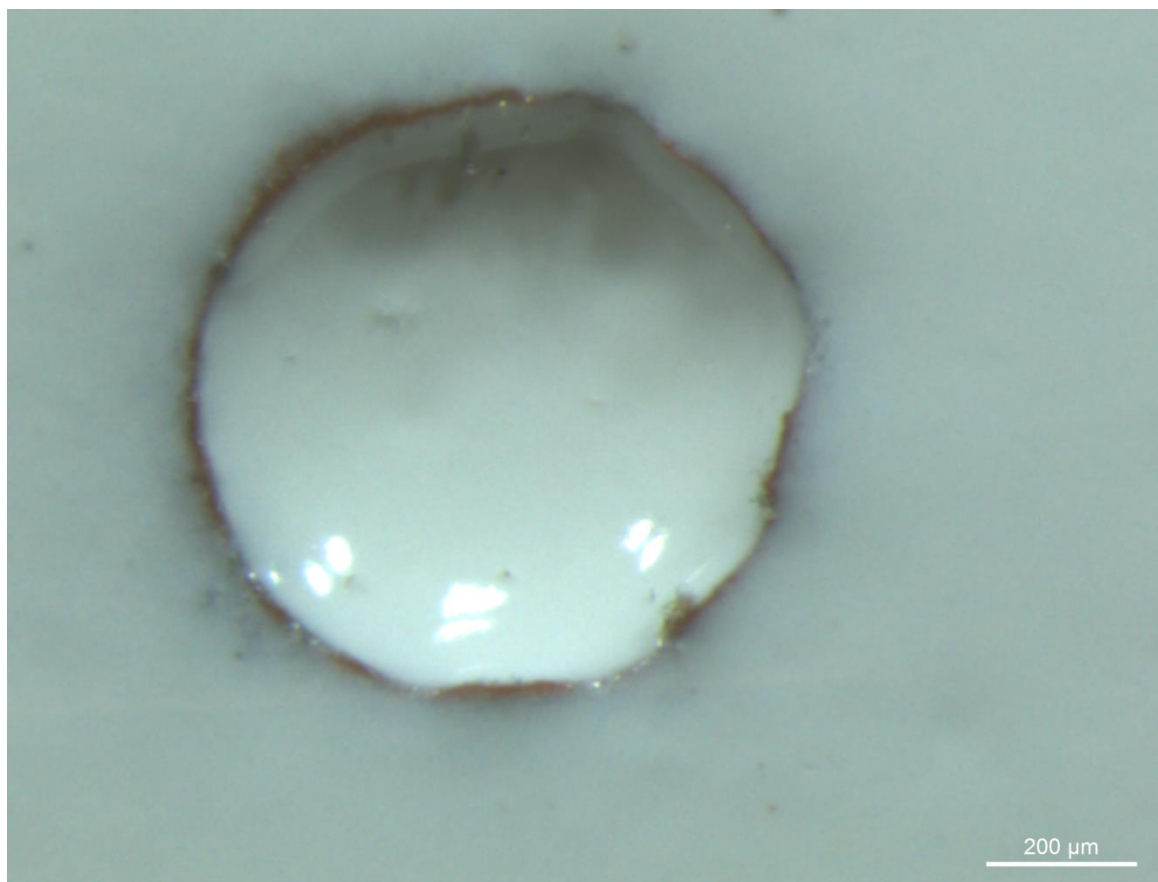
I C-prøvene der sealeren ble fortennet til 30% tørrstoff ser det ikke ut til at det er dannet nålestikk. Bildet av C-prøven viser flekker med høyere filmtykkelse, som trolig er nålestikk som har kollapset. Nålestikkene dannes altså først, men faller sammen. Dette kan skyldes at malinga har lavere viskositet. Hvis malinga har lavere viskositet vil det trolig svekke den øverste hinna i bobla i Figur 1 slik at den faller sammen. Det blir også enklere å påføre maling i lav filmtykkelse når tørrstoffinnholdet er lavere. Malinga flyter lettere sammen fordi viskositeten er lavere. Det lave tørrstoffinnholdet gjør også naturligvis at mer løsemiddel fordampes, slik at når maleren påfører en viss mengde maling blir resultatet en tynnere film.

Resultatene med Sealer 2 var tilsvarende som for Sealer 1. Ved påføring uten fortenning ble det dannet nålestikk, spesielt der filmtykkelsen var høy. Ved å påføre sealeren i to sveip med sprøytepipetten og vente minst 30 sekunder mellom sveipene ble tendensen til dannelse av nålestikk redusert. Fortynning til 30% tørrstoff eliminerte dannelsen av nålestikk.

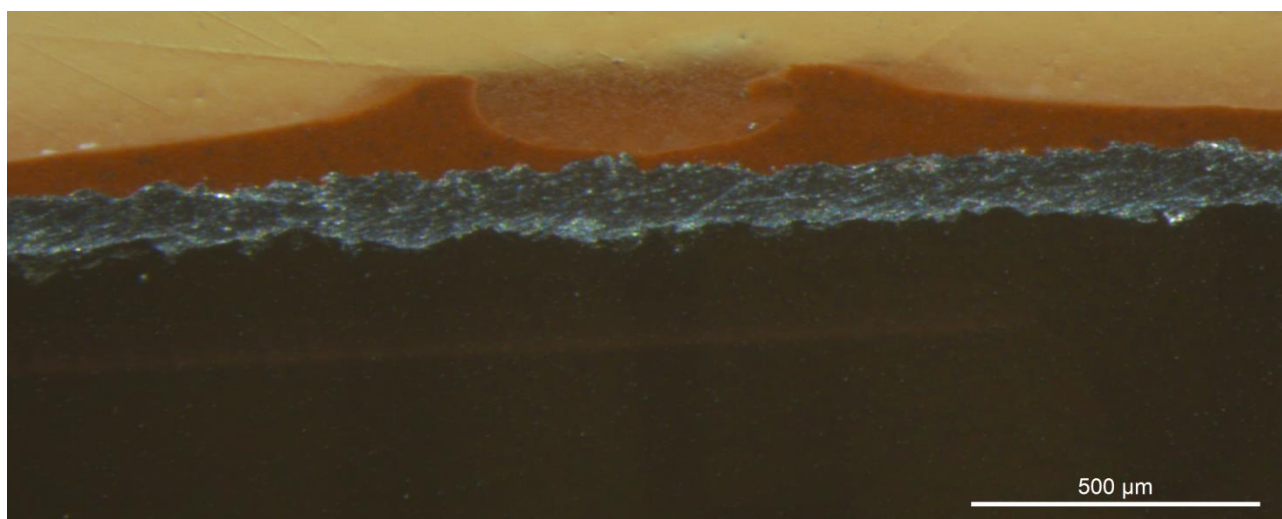
Tabell 3. Nålestikk på prøveplater

	Sealer/førstestrøk	Tykkelse	Nålestikk
A	Sealer 1 40 % tørrstoff	Lav-normal	Nålestikk der sealeren bygger filmtykkelse over toppene i TSZ belegget
B	Sealer 1 40 % tørrstoff	Normal-høy	Nålestikk
C	Sealer 1 30 % tørrstoff	Lav	Ingen nålestikk. Ser ut til at det har vært dannet bobler, men at disse har kollapset
D	Epoksymastik	40-70 μm	Nålestikk
E	Epoksymastik	150-200 μm	Nålestikk
F	Sealer 2 48 % tørrstoff	50 μm 2 sveip med 30 sekunder pause mellom	Få nålestikk
G	Sealer 2 48 % tørrstoff	100 μm Ett sveip	Nålestikk
H	Sealer 2 48 % tørrstoff	0-25 μm Ett sveip	Få nålestikk
I	Sealer 2 30 % tørrstoff	25 μm Ett sveip	Ingen nålestikk

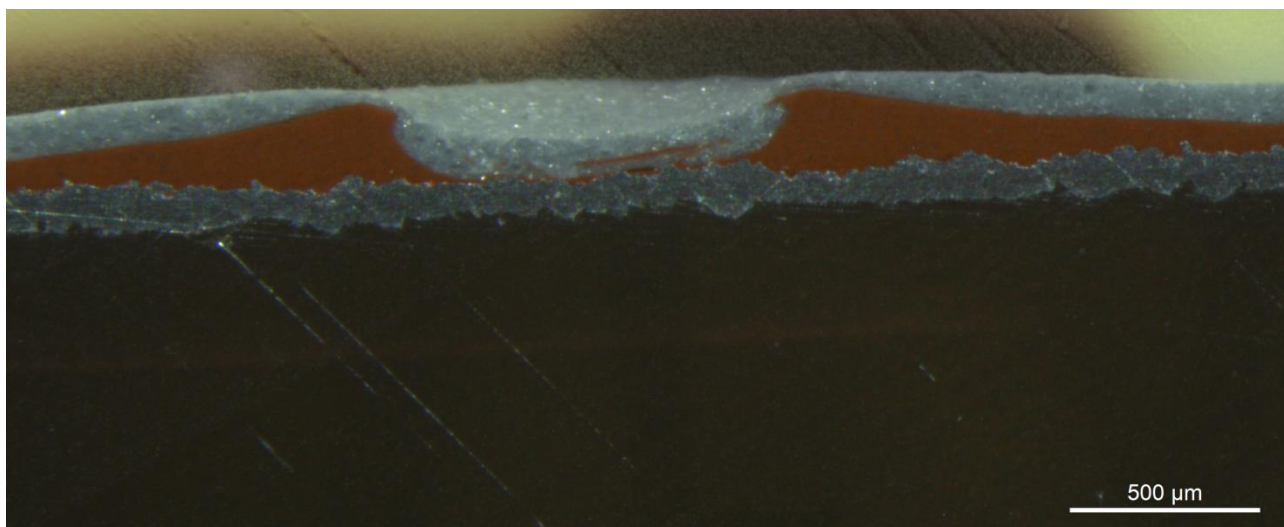

Figur 1. Nålestikk i sealer på B-prøve. En hinne av bindemiddel ligger over nålestikket.



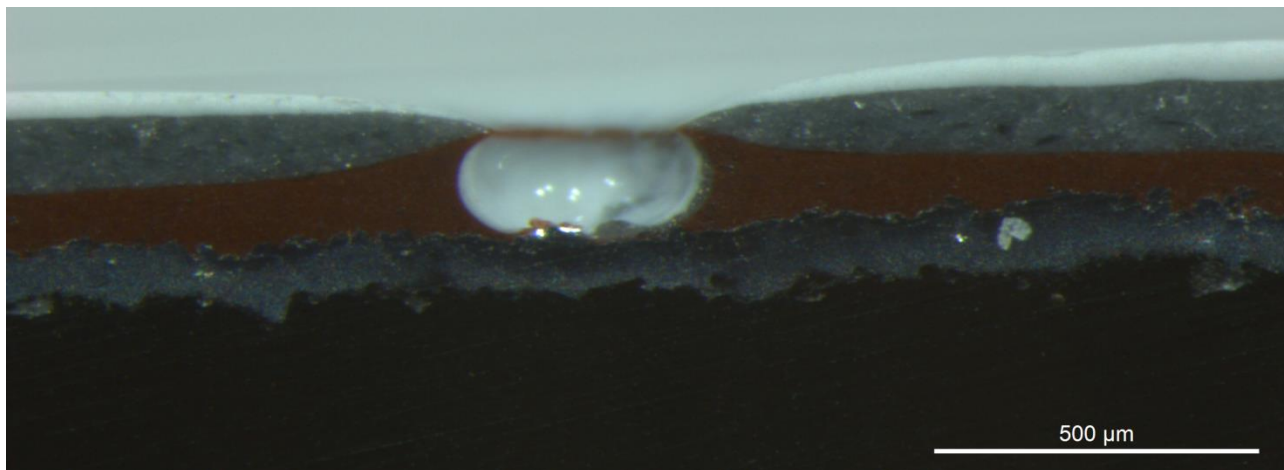
Figur 2. Nålestikk i belegg B etter at alle tre strøkene er påført



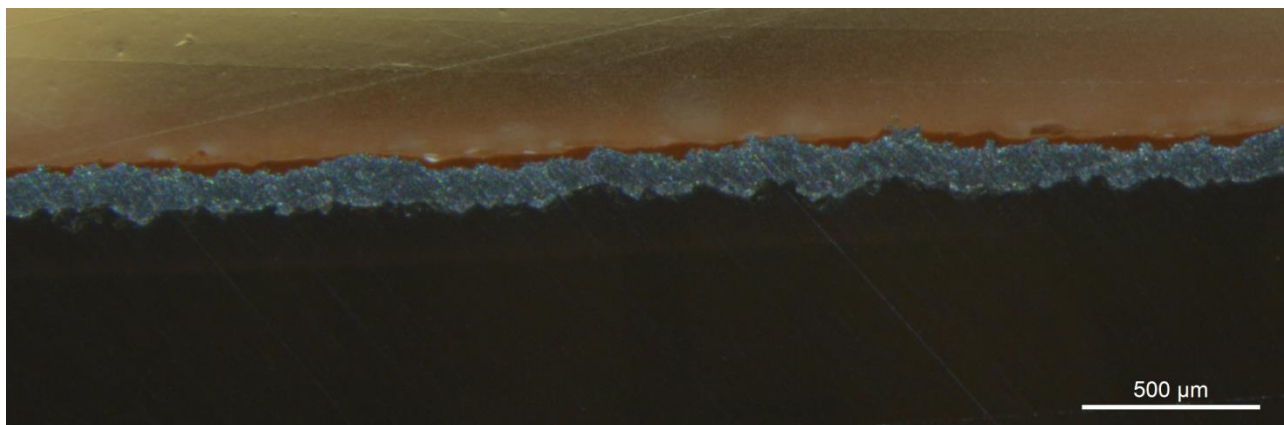
Figur 3. Nålestikk i sealer på B-prøve



Figur 4. Epoksymastic har penetrert et nålestikk som er nesten 1 mm bredt



Figur 5. Epoksymastic har ikke penetrert et nålestikk som er 0,3 mm i diameter. Litt av toppstrøket har trengt inn.



Figur 6. Sealer påført i ikke målbar filmtykkelse på C-prøve

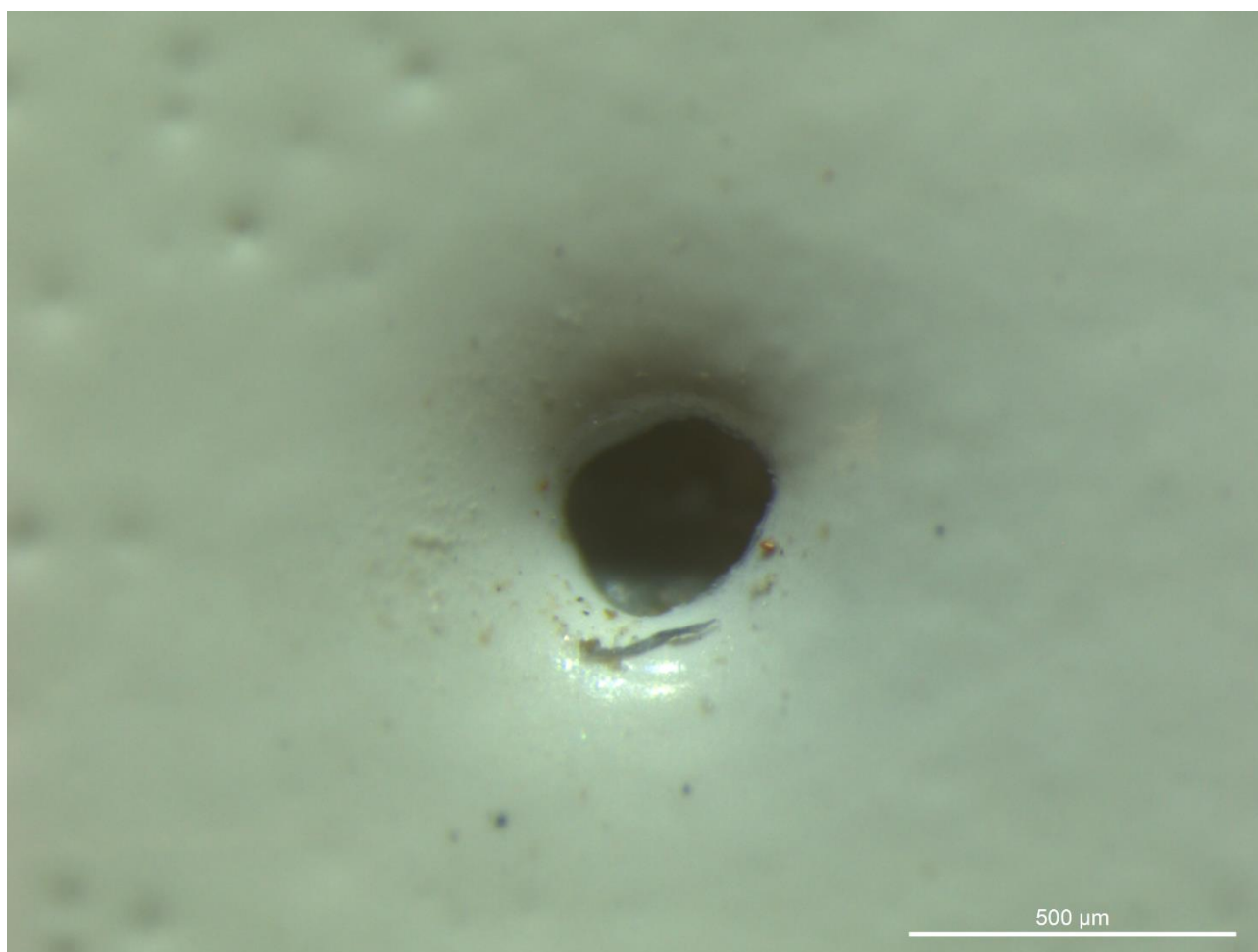
3.2.2 Eksponering i kondensskammer og salttåke

Tre til fem av prøveplatene av type A-E (sealer 1) ble overmalt med ca. 150 μm mellomstrøk og ca. 60 μm toppstrøk. Etter herding ble prøvene først eksponert i kondensskammer i omkring 3 måneder, og deretter i salttåkekammer omkring 5 måneder. Det var ikke tegn til korrosjon på noen av prøvene etter eksponering. Dette til tross for at det var et betydelig antall nålestikk på mange av prøvene.

Figur 7 viser et bilde av et nålestikk i prøve 1E2 etter eksponering i både kondensskammer og salttåke. Bildet er tatt i stereomikroskop og måleskalaen viser at diameteren på åpningen i nålesticket er omkring 300 μm . Det kommer ikke så godt fram i bildet, men TSZ belegget var synlig i bunnen på nålesticket i mikroskopet. Til tross for dette har det ikke oppstått korrosjon på sinken i løpet av testen.

På tre prøver ble det også laget kunstige nålestikk ved å stikke hull på malingsbelegget med en syl ned til TSZ belegget. Heller ikke på disse prøvene startet sinken å korrodere vesentlig.

Dette viser at dupleksbelegg er svært robuste og motstandsdyktige mot nedbrytning ved korrosjon omkring feil i belegget. Siden vi i lab ikke har klart å gjenskape korrosjonsangrepene som er observert i felt kan vi ikke konkludere sikkert med at det er nålestikk som har forårsaket angrepene, selv om det er sannsynlig.



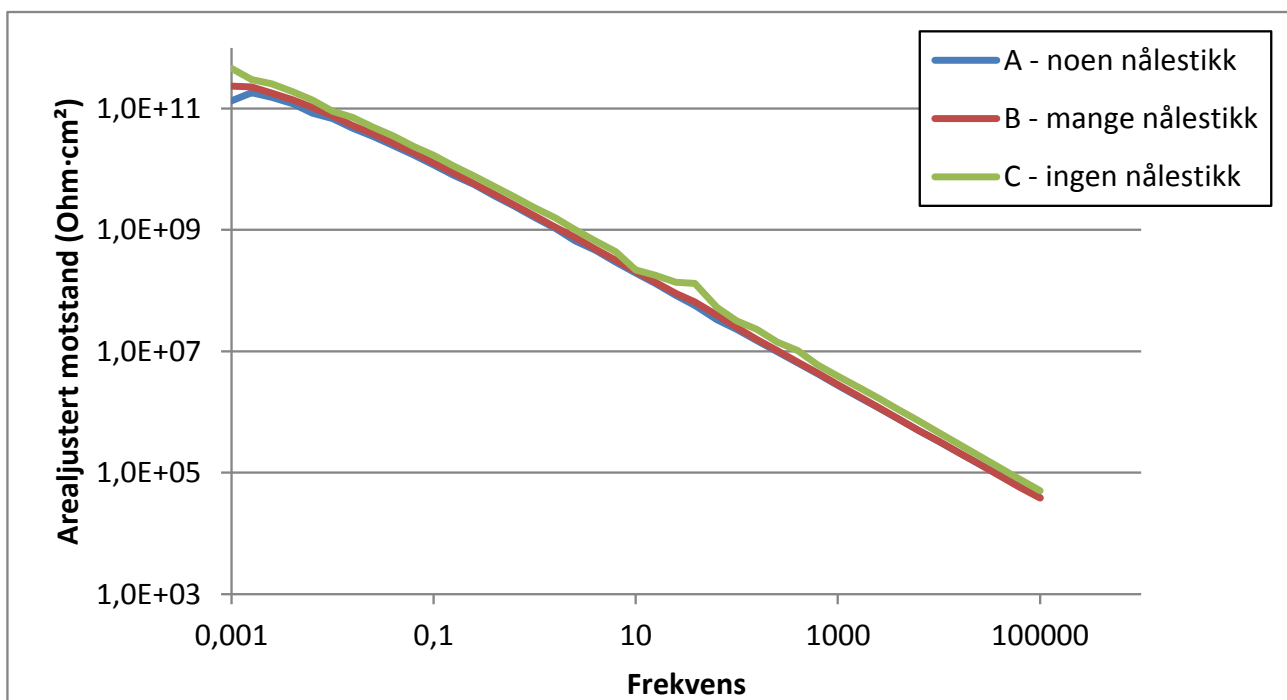
Figur 7. Nålestikk i prøve 1E2 etter salttåketest.

3.2.3 Barriere mot transport av ioner

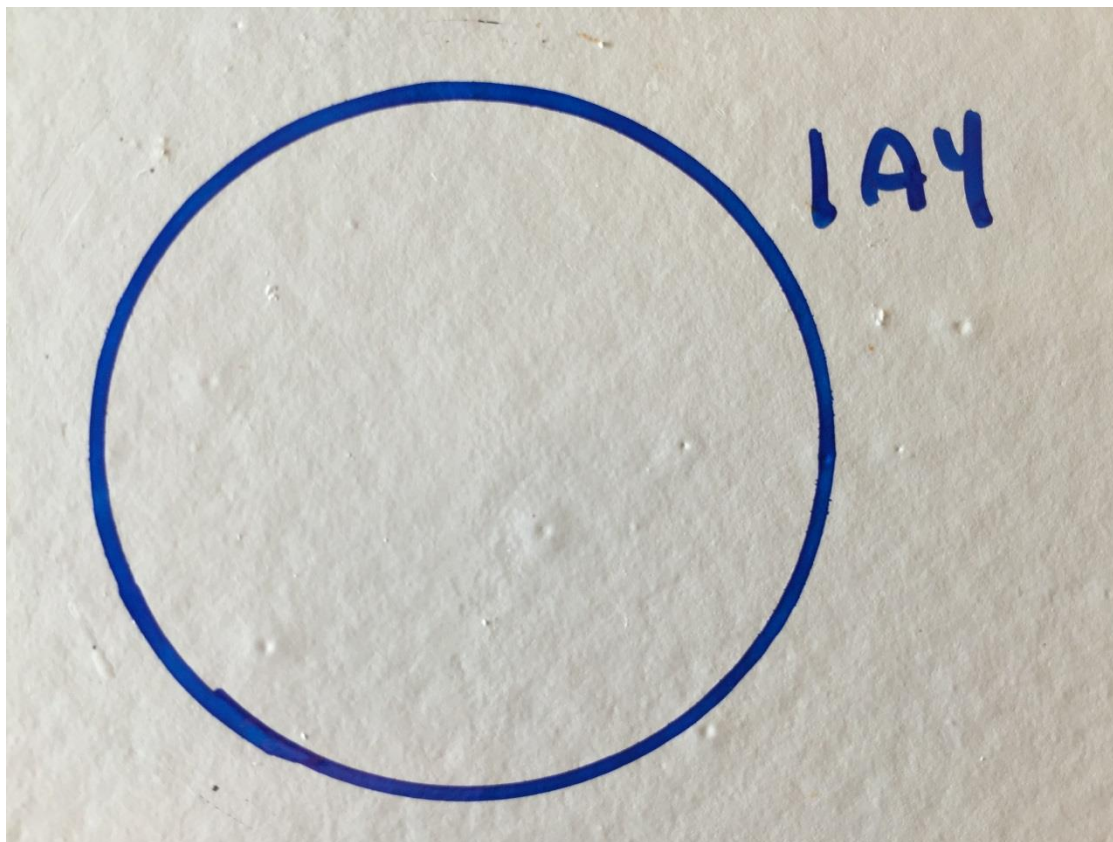
Et belegg som slipper gjennom ioner (salt) vil brytes ned raskt. Motstand mot transport av ioner gjennom belegg har derfor vist seg å korrelere bra med beleggets levetid. Motstand mot ionetransport kan måles med elektrokjemisk impedansspektroskopi (EIS). Impedansen ved lav frekvens angir beleggets motstand mot ionetransport. Jo høyere impedans (motstand) belegget oppviser, desto bedre motstandskraft mot korrosjon. Hensikten med denne undersøkelsen var å sjekke om en overflate med nålestikk i sealeren, der nålestikkene var dekket av etterfølgende strøk, er svekket i forhold til en overflate helt uten nålestikk. Der etterfølgende strøk ikke har tettet nålestikkene vet vi at belegget er svekket, slik at dette ikke er nødvendig å undersøke.

Figur 8 viser impedansspektre for tre prøver med ulik mengde nålestikk i sealeren. Prøve A hadde noen nålestikk, Prøve B hadde mange nålestikk og Prøve C hadde ingen nålestikk. Figur 9 viser et bilde av målearealet, og at det var nålestikk i sealeren. Spektrene ble tatt opp etter nesten 3 måneder eksponering i sjøvann. Siden impedansen vil avta med testarealet (jo større testareal, jo større areal for transport av ioner gjennom belegget), er impedansen ganget med testarealet for å eliminere denne effekten.

Som Figur 8 viser målte vi en motstand i belegget på over 10^{11} Ohm·cm². Dette er langt høyere enn det som normalt betraktes som nødvendig motstand i et barrierebelegg. Noen fast grense er ikke fastsatt, men trolig ligger den et sted omkring 10^9 Ohm·cm². Resultatene her tyder derfor på at så lenge etterfølgende strøk dekker over nålestikkene vil belegget ikke være vesentlig svekket.



Figur 8. Motstand mot ionetransport i TSZ dupleks beleggssystem (TSZ, sealer, epoksymastik, polyuretan) målt med elektrokjemisk impedans.



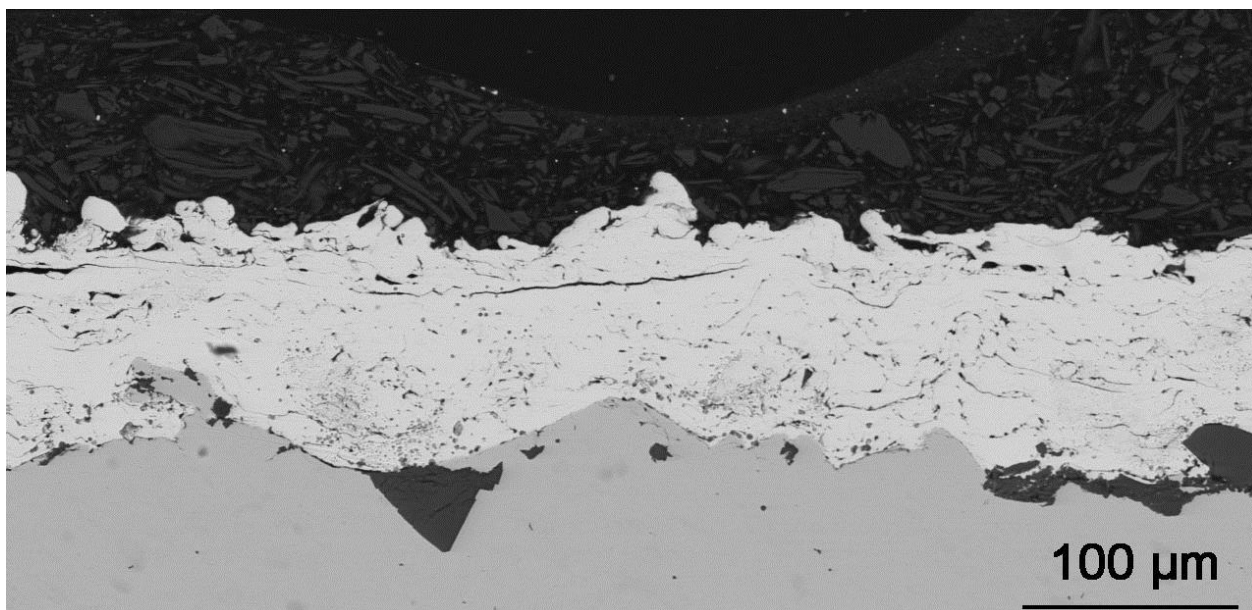
Figur 9. Måleområde (diameter 50 mm) for EIS på Prøve A, som hadde noen nålestikk i sealeren. Alle nålestikkene var dekket av etterfølgende strøk.

3.3 Dannelse av nålestikk

Årsaken til at nålestikk oppstår mye lettere på TSZ enn på for eksempel blåserenset stål er ikke undersøkt, men trolig har det med malingens evne til å fukte underlaget og fortrenge luft å gjøre. Figur 10 viser et tverrsnitt av et TSZ belegg. Overflata på TSZ har en mer komplisert geometri enn det blåserensede stålunderlaget. Det vil derfor være vanskeligere for en maling å fukte hele TSZ overflata enn en blåserenset overflate.

Hvis det oppstår en luftboble i sealeren vil denne trolig vokse ved at løsemiddel fra sealeren fordampes inn i luftbobla. Det virker usannsynlig at en boble på størrelse med det som er vist i Figur 5 kun oppstår ved at det fanges luft i sealeren. En liten boble som vokser på grunn av fordamping av løsemiddel virker mer sannsynlig.

Undersøkelsen viste at det ble dannet bobler i sealeren uavhengig av fortynning, men at boblene kollapset når sealeren var tilstrekkelig fortynnet, trolig fordi viskositeten er lav så boblene unnslipper.



Figur 10. Tverrsnitt av TSZ som viser geometrien til TSZ overflata og geometrien til det blåserensede substratet.

4 Levetid for Vegvesenets vedlikeholdssystemer

Prosesskode 2 kapittel 88.48 beskriver tre alternative vedlikeholdssystemer, som er gjengitt under. Samtidig sies det at:

- Dupleksbelegg vedlikeholdes med dupleksbelegg, dvs System 1 i henhold til kapittel 85.3
- Malingsbelegg vedlikeholdes med Vedlikeholdssystem 1 eller 2, avhengig av hvilket system konstruksjonen har
- Ved mindre skader på varmforsinking benyttes Vedlikeholdssystem 3.

Vedlikeholdssystem 1:

Sinkrik epoksy primer (minst 90 vektprosent sink i den tørre filmen) pluss epoksy /polyuretan

Beleggsystem:

1. 40-75 µm sinkrik epoksy primer
2. Min. 125 µm epoksymastik
3. 60-100 µm polyuretan eller polyuretan-akryl

Total beleggtykkelse: Minimum 225 µm

Vedlikeholdssystem 2:

Sinkrik primer (minst 95 vektprosent sink i den tørre filmen) pluss epoksy/polyuretan

Beleggsystem:

1. 50-60 µm sinkrik primer
2. 25-30 µm epoksy sealer
3. Min. 125 µm epoksymastik
4. 60-100 µm polyuretan eller polyuretan-akryl

Total beleggtykkelse: Minimum 260 µm

Vedlikeholdssystem 3:

Sinkrik primer (minst 95 vektprosent sink i den tørre filmen)

Beleggsystem:

1. 50-60 μm sinkrik primer
2. 50-60 μm sinkrik primer
3. 50-60 μm sinkrik primer

Total beleggykkelse: Minimum 150 μm

4.1 Vedlikeholdssystem 1

Fra offshore har man sett at slike tre-lags belegg gir ca 10 år levetid, hvorpå man må regne med kontinuerlig vedlikehold etterpå. De har kun krav om 80% sink i primeren, slik at å øke til 90% kan gi en viss forbedring.

Breviksbrua ble i 1992 belagt med et malingsystem med en sinkprimer med 84 vekt-% sink, epoksy mellomstrøk og polyuretan toppstrøk. Dette produktet er i stor grad benyttet offshore, men med et annet toppstrøk. I 1999 var det en god del korrosjonsskader på laskeskjøter, kanter og klinknagler på Breviksbrua. Belegget hadde da omtrent samme levetid som forventet offshore. På mer moderne brukonstruksjoner med store flater og få sveiser og kanter er det sannsynlig at det vil stå bedre, i hvert fall på flatene.

I en tidligere undersøkelse for Statens Vegvesen ble effekt av sinkkonsentrasjon i primer på korrosjonskryp undersøkt [2]. Ulike modellprimere med varierende sinkinnhold ble testet i henhold til ISO 20340 syklisk korrosjonstest. Det ble der konkludert med at effekten av å gå fra 80 til 92 vekt-% sink var begrenset. Type bindemiddel og størrelsesfordeling av sinkpartiklene så ut til å ha større betydning.

4.2 Vedlikeholdssystem 2

Vi har tidligere testet et system som tilfredsstillende kravene til dette systemet [3]. I lab ga det god motstand mot korrosjonskryp, og bedre resultat enn Vedlikeholdssystem 1. Å påføre sealer før epoksystrøket reduserte faktisk motstanden mot korrosjonskryp, trolig fordi sealeren trekker inn i det porøse sinkstrøket og "beskytter" sinken. Belegget hadde noe begrenset kohesjonsstyrke pga det høye innholdet av sink. Det siste er trolig ikke noe problem på bruers siden det sjelden er noe mekanisk belastning på de malte flatene.

I et annet prosjekt ble et beleggsystem med høysink primer også testet, men da med mellomstrøk og toppstrøk av polyuretan, det vil si ikke helt i henhold til beskrivelsen av Vedlikeholdssystem 2. I labtesting (ISO 20340) ga det dårligere resultat enn de andre systemene med sinkrik primer [4]. En 5 års felttest på brygga utenfor laben til DNV i Bergen gjennomført med samme belegg ga ikke noe korrosjonskryp. Denne felttesten var imidlertid trolig ikke spesielt aggressiv, for alle beleggene med sinkrike primere, også de med 80% sink, sto svært godt.

I felt er dette systemet benyttet på følgende bruers (det kan være flere):

- Østerelv: Bru nr. 20-0506, lengde 40 m, ble vedlikeholdt i 1992 med to strøk høysink primer, samt Vegvesenets spesifikasjon 115 og 118. Værutsatt kyststrøk
- Næringselv: Bru nr. 20-0521, lengde 14 m, ble vedlikeholdt i 1992 med to strøk høysink primer, samt Vegvesenets spesifikasjon 115 og 118. Værutsatt kyststrøk
- Bommestad bru: Bru nr. 07-0157, lengde 104 m, vedlikeholdt 2001 med to strøk høysink primer, samt Vegvesenets spesifikasjon 115 og 118. Innlandsklima

På Østerelv bru var belegget fullstendig nedbrutt i 2015 og omkring 75 % av overflatearealet var angrepet av korrosjon. Denne brua ligger imidlertid tett ved sjøen og svært værutsatt. Næringselv bru ligger noen få km

fra Østerelv bru og har det samme belegget og samme levetid, men her har belegget stått noe bedre. Under 50% av overflatearealet er angrepet av korrosjon. Årsaken til at belegget har stått bedre her er trolig at brua ligger ca. 300 m fra havet. Bommestad bru er ikke undersøkt her, men belegget står trolig bra, siden dette er en innlandsbru og det er kortere tid siden den ble malt.

4.3 Vedlikeholdssystem 3

Vedlikeholdssystem 3 er undersøkt på et antall bruer i Finnmark som ble påført dette systemet på 1990-tallet. Separat rapport er skrevet på dette [5]. Sammendrag av erfaringene med Vedlikeholdssystem 3 fra den rapporten er gjengitt under.

I værhardt kyststrøk har Vedlikeholdssystem 3 vært påført fire bruer langs Fylkesvei 341; Vesterelv 1, Flauan, Finnvik og Sandfjordelv 1. Bruene har stått siden 1992 uten vedlikehold, det vil si 23 år nå i 2015. På Vesterelv 1, Flauan og Finnvik er belegget svært nedbrutt på flater som vender mot sjøen, langs kanter og på horisontale flater, slik at vedlikehold burde vært utført for noen år siden. Levetiden for Vedlikeholdssystem 3 i slikt miljø kan derfor antas å være omkring 15 år. På Sandfjordelv 1 som ligger lengre fra havet enn de tre andre bruene, er tilstanden bedre slik at en levetid på 20 - 25 år kan forventes.

I indre kyststrøk har Vedlikeholdssystem 3 vært påført tre bruer langs Fylkesvei 98; Evafoss, Adamsfoss og Ifjord. Bruene har stått siden 1999 uten vedlikehold, det vil si 16 år nå i 2015. På disse bruene er belegget i god stand på flatene, mens det er en del nedbrytning langs kanter. Foreløpig har nedbrytningen ikke ført til særlig korrosjon på stålet. Korrosiviteten der disse tre bruene står kan trolig sammenlignes med Sandfjordelv 1, eller litt mildere. Det kan trolig gå noen år til før vedlikehold er nødvendig, slik at en levetid på 20-25 år kan forventes.

Neiden er den eneste brua i undersøkelsen som ligger i innlandsstrøk. Brua har stått siden 1991 uten vedlikehold, det vil si 24 år i 2015. Tilstanden til belegget er svært varierende. I noen områder er belegget i god stand, mens i andre områder er det totalt nedbrutt. Spesielt horisontale flater ser ut til å være utsatt. På disse flatene trenger belegget vedlikehold nå. Basert på erfaringene fra denne brua har Høysink primer en forventet levetid på over 25 år i innlandsklima.

At levetiden ikke er enda lengre i innlandsklima kan skyldes at ferskvann faktisk er ganske korrosivt for sink, spesielt bløtt vann (lite kalsium og magnesium). Varmforsinking har lang levetid på grunn av dannelse av et sjikt sinkkarbonater på overflata. Hvis ikke dette dannes, for eksempel når en varmforsinket overflate eksponeres neddykket i rent og bløtt vann, kan sinkbelegget korrodere bort i løpet av noen få år. Det er rimelig å anta at sinkkarbonat i liten grad dannes på sinken i en høysink primer. Tilførsel av karbondioksid, som fører til dannelse av karbonat, vil være begrenset. I tillegg har alle sinkpartiklene i belegget et svært stort overflateareal, slik at det kreves svært mye karbonat for å passivere alle partiklene. Således er kanskje tilgang på fuktighet en viktigere parameter for levetiden på høysink primer. Fuktighet fra regn, sprut fra elv/sjø og kondens vil føre til korrosjon på sinken.

Det har i ulike sammenhenger blitt hevdet at nedbrytningen av høysink primer på bruene langs Fylkesvei 341 skyldes feil under påføring, det vil si dårlig rengjøring eller manglende stripecoating. Det er vanskelig å si noe sikkert om dette så lang tid etter påføring, men det som ble observert på bruene tyder ikke på dette. Nedbrytningen av belegget følger et normalt mønster, som for eksempel at nedbrytningen er størst der belastning fra sjøen og fukteperiode er størst. Der belastningen er mindre har belegget stått bra og heften er god. Feil under påføring ville ført til nedbrytning av belegget også på mindre belastede flater. At belegg feiler over kanter er også normalt, selv med avrundning og stripecoating.

Oppsummert kan vi forvente følgende levetider for høysink primer, basert på bruene som er undersøkt i denne rapporten:

Værharde kyststrøk	15-20 år
Indre kyststrøk	20-25 år
Innlandsstrøk	over 25 år

4.4 Sammenligning av vedlikeholdssystemene

Sammenligning av erfaringene med de ulike vedlikeholdssystemene er vanskelig fordi korrosiviteten varierer mellom de ulike bruene. Forskjeller kan derfor skyldes ulik korrosivitet og ikke beleggets beskyttende egenskaper.

Erfaringene som er sammenfattet over indikerer at Vedlikeholdssystem 3 gir lengst levetid av de tre vedlikeholdssystemene. Vedlikeholdssystem 2 har et høyere sinkinnhold i primeren enn Vedlikeholdssystem 1, hvilket kan tenkes å gi bedre holdbarhet. Dette er imidlertid usikkert. Det er kun funnet marginale forskjeller i lab, og bruer med Vedlikeholdssystem 1 er ikke undersøkt i dette prosjektet.

At Vedlikeholdssystem 3 har gitt så god holdbarhet skyldes trolig to ting:

- At det inneholder svært mye sink. Belegget blir dermed ganske porøst og mye av sinken i belegget vil være elektrokjemisk aktiv grunnet stor areale. Trolig vil mye av sinken også være i elektrisk kontakt med stålet under slik at det kan gi katodisk beskyttelse, som følge av det lave innholdet av bindemiddel. Med et høyere innhold av bindemiddel vil sinken i større grad beskyttes og isoleres fra underlaget.
- At sinkprimeren ikke er overmalt. Ved skader i belegget vil sink fra et større område kunne bidra med katodisk beskyttelse. Overmaling av sinkprimeren vil endre på dette. Kun sink som er blottlagt i skaden vil beskytte skaden, hvilket vil begrense kapasiteten for katodisk beskyttelse vesentlig. Ved overmaling vil trolig sinken i større grad beskyttes ved at overmalinga trenger inn i primeren. Nedbrytningsmekanismen vil trolig også skifte fra generell korrosjon av sinken til korrosjonskryp fra skader i belegget.

5 Erfaringer med andre typer belegg som har lang levetid

5.1 Tykkfilmsbelegg

For plaskesona på offshore installasjoner er det i NOROK M-501 spesifisert tykke belegg på minst 600 µm med påføring i minst to strøk. Beleggsystemer som typisk er benyttet er:

- Glassflakforsterket epoksy med total filmtykkelse på omkring 750 µm
- Glassflakforsterket polyester med filmtykkelse på 1000 – 1500 µm

Det siste er benyttet på en lang rekke installasjoner med godt resultat. ConocoPhillips har brukt tykkfilm glassflakforsterket polyester i skvalpesonen på Ekofiskfeltet siden 1980, og siden 1982 har det blitt brukt mye fra havnivået og opp til kjellerdekket, både for vedlikehold og nybygg. I 1989 var dette benyttet på 12 av 24 stålplattformer på Ekofiskfeltet. Belegget ble påført i to lag til minst 1000 µm total filmtykkelse.

Figur 11 viser tilstanden til en installasjon i 2012 som var belagt i 1992. Belegget er i svært god tilstand, og det har ikke vært reparert siden det ble påført. Generelt har de rapportert svært gode erfaringer med tykkfilm glassflakforsterket polyester, og at det krever lite eller ingen vedlikehold. Mer enn 30 års levetid i marin plaskesone er nå dokumentert med dette belegget.

Tykkfilm glassflakforsterket polyester har blitt brukt mye på norsk sektor av andre selskaper også, blant annet Statoil. Selv om vi ikke har mottatt noen dokumentasjon, er ytelsen muntlig rapportert å være veldig bra. Basert på utstrakt bruk og de svært gode erfaringer rapportert, både fra ConocoPhillips og andre operatører, synes det rimelig å anta minst 40 års levetid for dette belegget i skvalpesonen. I mindre korrosive områder er det rimelig å anta lengre levetid.

Statens Vegvesen har så langt i liten grad benyttet tykkfilmsbelegg, men stålbjelkene på to bjelkebruer ble belagt med tykkfilm glassflakforsterket polyester i 2000. Det var 14-1153 Skipenes på E39 på Nordfjordeid og 14-0433 Storebrua på Fv.615 på Sandane. Det ble påført 600 μm i ett strøk på begge bruene, samlet areal ca. 780 m^2 . Begge bruene er ca 30 m lange bjelkebruer over elver som renner ut i fjorden. Skipenesbrua ligger ca en km fra sjøen, mens Storebrua ligger rett ved fjorden. Korrosiviteten på begge bruene kan antas å være C3 - C4. Belegget har ikke blitt inspisert i dette prosjektet, men representant for Statens Vegvesen lokalt (Audun Trygve Borlaug) har rapportert muntlig om korrosjon på skarpe kanter og overlappende skjøter. Tre mulige forklaringer på skadene er:

- Denne typen maling har trolig liten evne til å trenge inn i trange spalter.
- 1 x 600 μm kan være for tynt for denne typen maling.
- Avrunding av kanter og stripecoating er ikke utført i tilstrekkelig grad.

På konstruksjoner med trange spalter (typisk laskeskjøter) kan det se ut til at disse bør behandles spesielt før tykkfilmsbelegg påføres, for eksempel med et strøk som har bedre evne til å trenge inn i spaltene. Det kan også tenkes at denne typen belegg er mindre egnet for slike konstruksjoner. Det kan også være nødvendig å påføre 2 x 600 μm av denne typen belegg for å få den ønskede levetiden.



Figur 11. Glassflak polyester i plaskesona på offshore plattform med over 20 års levetid.

5.2 Termisk sprøyta aluminium med sealer

Termisk sprøyta aluminium (TSA) har i hvert fall vært brukt siden 1950-tallet. Det er nå vel dokumentert at TSA gir en levetid på minst 30 år i marin atmosfære og plaskesone gjennom feltefaringer [6-11]. Vi vil derfor ikke gå nærmere inn på det her. Det er mer interessant å se på begrensninger ved bruk av TSA.

- TSA kan ikke overmales, i hvert fall ikke i korrosivt miljø [12]. Vi har sett slike skader i miljøer klassifisert som C3 til C5. Dette introduserer en korrosjonsmekanisme der TSA korroderer svært hurtig under malinga og belegget feiler i løpet noen få år. Dette er også noe som SVV er godt kjent med, og som førte til at TSA med overmaling ble tatt ut av prosesskoden.
- TSA kan ikke vedlikeholdes med maling. Siden TSA ikke kan overmales, blir det da vanskelig å reparere skader i belegget med maling uten av malingsbelegget overlapper TSA belegget. Skader i TSA må derfor trolig repareres med ny TSA.
- Det blir begrenset hva slags farge man kan få på TSA når den ikke kan overmales. Det kan påføres en pigmentert sealer som fyller porene i TSA, men som ikke bygger en tett film. Sealeren gir derfor ingen fargemetning, kun et skjær av farge. Overflata blir derfor matt, eventuelt med et fargeskjær. Overflata blir også temmelig ru siden sealeren ikke skal bygge filmtykkelse.
- TSA er dyrere å påføre enn TSZ. Siden TSA normalt påføres til en filmtykkelse på over 200 μm tar det lenger tid å påføre enn TSZ. Smeltepunktet til aluminium er høyere enn for sink, hvilket også gjør at sprøytehastigheten går ned. Siden TSA ikke skal overmales, kan prisen trolig sammenlignes med et TSZ dupleksbelegg.

Det at TSA ikke kan overmales ekskluderer trolig TSA fra mange bruer, siden det ofte er et krav om farge. Der hvor det ikke er krav om farge er TSA et alternativ som bør vurderes. Levetiden til belegget kan bli ekstremt lang, minst 30 år og trolig godt over 50 år, selv i korrosivt miljø. Et alternativ kan også være å bruke TSA i bestemte områder på ei bru, for eksempel deler som står i plaskesona. Det vil imidlertid da kunne oppstå problemer i overgangen mellom TSA og maling, siden de ikke kan overlappe uten at det forårsaker korrosjonsproblemer.

6 Vurderinger

6.1 Årsaker til de feil og mangler som er observert

Det ble diskutert i inspeksjonsrapporten [1] og kun et kort sammendrag gis her.

De observerte korrosjonsskadene på beleggene ser ut til å ha to ulike årsaker:

- For lav filmtykkelse på malingsbelegget. Kontroll av beleggtykkelse er gjort med magnetisk målesonde, hvilket betyr at det måles en samlet beleggtykkelse for hele dupleksbelegget. Dersom sinkbelegget har for høy tykkelse vil det gjøre at lav tykkelse på malingsbelegget ofte ikke oppdages. Hvis malingsbelegget er for tynt vil det ikke beskytte sinkbelegget og korrosjon på sinken vil starte etter noen få års eksponering.
- Nålestikk i malingsbelegget. Påføring av sealer med for høyt tørrstoffinnhold (høy viskositet) og for høy tykkelse gjør at det dannes gassbobler i sealeren (nålestikk), som vist i denne rapporten. Nålestikkene tettes ikke nødvendigvis av etterfølgende strøk, slik at disse vil være svake punkter i malingsbelegget der korrosjon på sinken kan starte etter kort tid.

Begge disse årsakene er påføringsfeil.

I tillegg er det funnet at toppstrøket har flasket av i stort omfang på to bruer. Årsaken til dette var trolig at toppstrøket ble påført etter at brua var sammenstilt, flere måneder etter at epoksystrøket ble påført på de enkelte elementene i verkstedet. Målsetningen var å unngå fargesjatteringer som følge av at toppstrøket ble påført på forskjellige tidspunkter. Det kan være flere malingstekniske årsaker til at toppstrøket flaket av:

- Overmalingsintervallet for epoksybelegget er overskredet. Epoksyen har herdet så godt at det er vanskelig å få kjemiske bindinger til et toppstrøk av polyuretan.
- I den lange tiden mellom påføring av epoksy og toppstrøk kan overflata forurennes med stoffer som hindrer binding mellom de to strøkene.
- Epoksy er utsatt for krittning (nedbrytning av bindemidlet når det eksponeres for UV strålene i sollys). Krittning vil gi et sjikt på overflata som hindrer binding mellom toppstrøket og epoksystrøket.

Det har oppstått som følge av feil i spesifikasjonen av belegget.

Årsaken til de skadene som er observert på bruer med Vedlikeholdssystem 2 og 3 er at levetiden til belegget er overskredet. Beleggene ser i hovedsak ut til å være påført i henhold til spesifikasjon.

6.2 Konsekvens for levetid til dagens bruer

De observerte beleggskadene vil ikke ha noen konsekvens for levetiden til bruene, forutsatt at belegget vedlikeholdes før stålet starter å korrodere. Det vil imidlertid føre til økte vedlikeholdskostnader, siden vedlikehold må starte tidligere enn det ellers ville.

System 1 (og System 2) gir åpenbart vesentlig lengre levetid enn de tre vedlikeholdssystemene som er beskrevet. Valg av belegg bør imidlertid gjøres basert på forventet levetidskostnad. Hva som gir lavest levetidskostnad må vurderes i hvert enkelt tilfelle.

6.3 Konsekvens for dagens spesifikasjoner

System 1 beskrevet i seksjon 85.3 i Håndbok R762 er i utgangspunktet et belegg som er forventet å gi lang levetid. Det er derfor ingen grunn til å gjøre vesentlige endringer på selve beleggsystemet. Det er imidlertid spilt inn forslag til små endringer og presiseringer som forhåpentligvis vil forhindre slike skader som er rapportert her. Kort oppsummert er følgende endringer spilt inn i forbindelse med revisjon av Håndbok R762 i 2015:

- Nålestikk skal unngås ved å fortynne sealeren tilstrekkelig, samt at den skal påføres til maksimalt 25 μm filmtykkelse. Før man går i gang med å påføre sealeren på brua skal den påføres på en prøveplate for å vise at det ikke oppstår nålestikk.
- Filmtykkelsen til malingsbelegget skal måles med hvirvelstrøm målesonde (sinkbelegget påvirker ikke).
- For bruer som står i svært korrosivt miljø, innføres System 2. Sammenlignet med System 1 har dette et ekstra strøk med epoksy på 125-150 μm .

7 Referanser

1. Knudsen, O.Ø., Korrosjonsbeskyttelse for stålbruer - Inspeksjoner, Statens Vegvesen, Report No. 453, 2015 (<http://www.vegvesen.no/fag/Publikasjoner/Publikasjoner/Statens+vegvesens+rappporter/statens-vegvesens-rappporter>)
2. Bjørgum, A., et al., *Zinc rich primers – Effect of zinc loading*, in *Eurocorr*, 2009.
3. Falstad, M., Korrosjonshindrende belegg med sinkpartikler. Effekt av høye sinkinnhold på langtidsegenskaper for belegget, NTNU, 2007
4. Knudsen, O.Ø., Coating systems for long lifetime: Thermally Sprayed Duplex Systems, SINTEF, Report No. A14189, 2010
5. Knudsen, O.Ø., Erfaringer med høysink primer. Bruer i Finnmark, SINTEF, Report No. A27367, 2015
6. Fischer, K.P., et al., *Performance history of thermal-sprayed aluminum coatings in offshore service*. *Materials Performance*, 1995. **34**(4): p. 27-35.
7. Glogovic, Z., et al., *Corrosion properties of thermal sprayed aluminium (TSA) coatings deposited by powder flame spraying*. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 2011. **42** (3): p. 224-228.
8. Wheatley, C.J. and D. Stephenson, *Zinc and aluminum thermal spray coatings: The solution to a variety of corrosion problems in the Transportation Sector*. *Advanced Materials and Processes*, 2011. **169** (5): p. 66-67.
9. Van Rodijnen, F., *Using thermal spray coatings for corrosion control*. *Welding Journal*, 2011. **90** (12): p. 32-36.
10. Tiong, D.K.-K. and H. Pit. *Experiences on Thermal Spray Aluminum (TSA) Coating on Offshore Structures*. in *CORROSION/2004*, NACE: Houston, TX.
11. AWS, *Corrosion Test of Flames-sprayed Coated Steel*. 19-year Report, American Welding Society Report, 1974
12. Knudsen, O.Ø., T. Røssland, and T. Rogne, *Rapid degradation of painted TSA*, in *CORROSION/2004*, NACE: Houston, TX.

A Vedlegg Tykkelsesmålinger

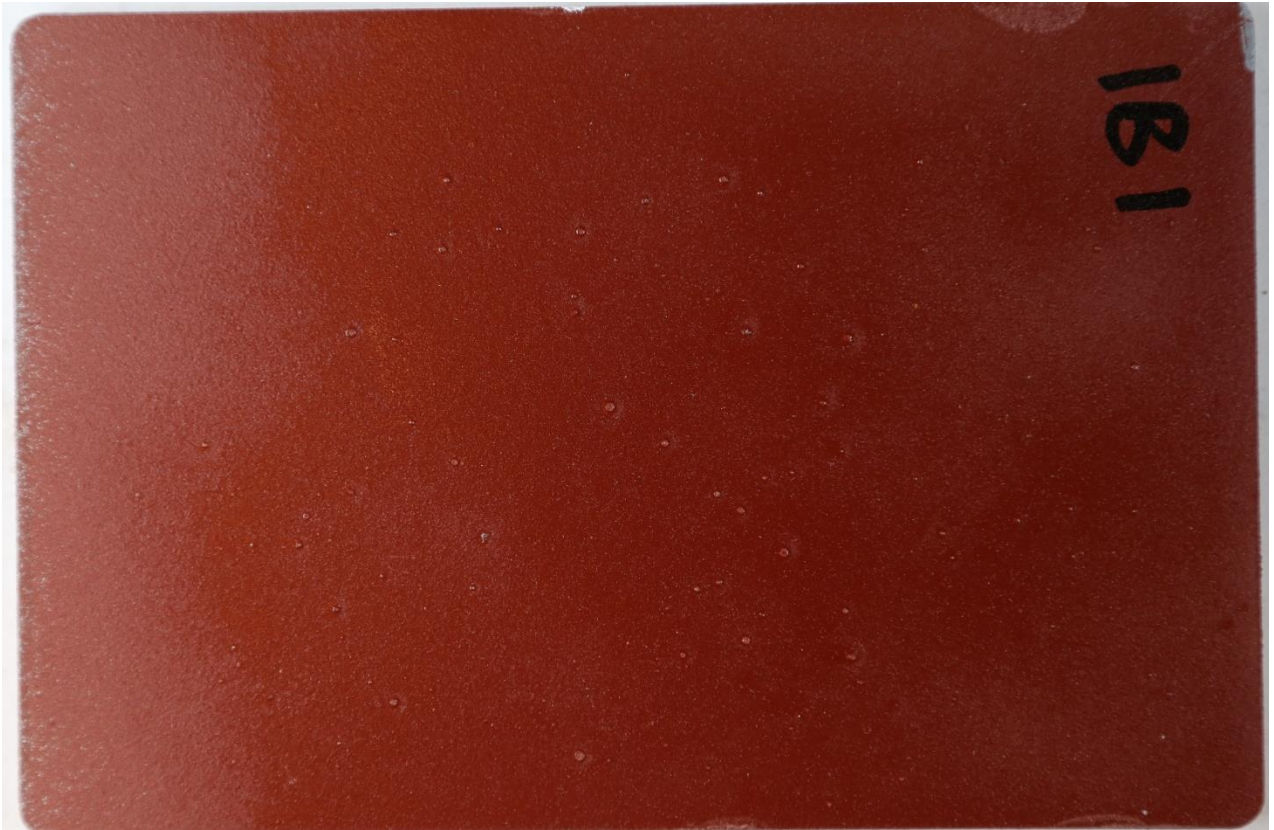
Prøve ID	Sinkbelegg	Malingsbelegg								
		Sealer		Epoksymastik (1)		Epoksymastik (2)		Polyuretan		
		Snitt	Std	Snitt	Std	Snitt	Std	Snitt	Std	
1A1	85/15	Lav-Normal DFT			100	9				
1A2	85/15	Lav-Normal DFT			107	8				
1A3	85/16	Lav-Normal DFT			151	22			193	30
1A4	85/17	Lav-Normal DFT			112	28			150	17
1A5	85/18	Lav-Normal DFT			116	7			156	11
1A6	85/19	Lav-Normal DFT			129	20			184	14
2A1	Zn100	Lav DFT	9,6	4,4						
2A2	Zn101	Lav DFT			110	12				
2A3	Zn102	Lav DFT			92	14			128	14
2A4	Zn103	Lav DFT			94	9			120	11
2A5	Zn104	Lav DFT			89	11			119	11
2A6	Zn105	Lav DFT			99	11			134	9
1B1	85/15	Normal DFT	9,7	7,6						
1B2	85/16	Normal DFT			98	6			142	16
1B3	85/17	Normal DFT			98	18			143	11
2B1	Zn100	Høy DFT								
2B2	Zn101	Høy DFT			126	11			166	31
2B3	Zn102	Høy DFT			132	19			159	12
1C1	85/15	Tynnet til 30%			109	12				
1C2	85/16	Tynnet til 30%			118	17			182	31
1C3	85/17	Tynnet til 30%			100	15			146	21
2C1	Zn100	Tynnet til 30%	20,6	6,2						
2C2	Zn101	Tynnet til 30%			110	16			152	24
2C3	Zn102	Tynnet til 30%			102	16			145	17
1D1	85/15	Uten sealer			54	21				
1D2	85/16	Uten sealer			47	6	158	8	200	20
1D3	85/17	Uten sealer			38	6			215	21
2D1	Zn100	Uten sealer			70	18				
2D2	Zn101	Uten sealer			75	14	175	21	245	43
2D3	Zn102	Uten sealer			67	12	170	12	207	28
1E1	85/15	Uten sealer			155	19			295	39
1E2	85/16	Uten sealer			156	13			389	67
2E1	Zn100	Uten sealer			207	31			351	46
2E2	Zn100	Uten sealer			199	28			353	55

B Vedlegg Bilder av prøver

Merking av prøvene:

- Det første tallet angir TSZ legering. 1 = 85/15 Zn/Al legering. 2 = 100% Zn
- Bokstaven angir hvordan sealeren ble påført, se tabellen i Vedlegg A
- Det siste tallet angir parallell









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