

Strategi for vedlikehold av korrosjonsbeskyttende belegg på norske veibruer

Håkon Matre

Master i veg og jernbane

Innlevert: oktober 2017

Hovedveileder: Ole Øystein Knudsen, MTP

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for maskinteknikk og produksjon

Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim. Arbeidet inngår som en obligatorisk del av det erfaringsbaserte masterprogrammet i vegteknikk, ved institutt for bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, NTNU.

Overflatebehandling og derunder vedlikehold av overflatebehandling på stålbruer er et arbeid som dessverre ikke har fått mye oppmerksomhet i Statens vegvesen. 1700 stålbruer eldes ikke alle med stil. Behovet for vedlikehold vil være stort i de kommende år. Denne oppgaven ser nærmere på problemene rundt flekkvedlikehold av overflatebehandling.

Det må rettes en stor takk til veileder professor II Ole Øystein Knudsen ved NTNU/SINTEF Materialer og kjemi for verdifull veiledning gjennom hele arbeidsprosessen.

Takk til Statens vegvesen for muligheten til å utvikle meg som fagperson gjennom utdanning.

Videre må min lokale veileder og sjef Gunnar Djuve sammen med gode kollegaer på gruppen for bru- og kaivedlikehold i Hordaland takkes for hjelp, informasjon, støtte og interessante diskusjoner.

Til slutt vil jeg takke min samboer Guri og vår sønn Ludvik for tålmodighet og støtte gjennom hele prosessen. Jeg lover å ta i et ekstra tak hjemme fremover.

Bergen, 15.10.2017

Håkon Matre

Sammendrag

Erfaringene fra blant annet Bergsøysundbrua har vist at flekkvedlikehold av belegg i områder der sinken har startet å korrodere ikke har vært effektivt. Nye korrosjonsangrep har raskt oppstått på samme sted.

For å evaluere Håndbok R762 Prosesskode 2 - Standard beskrivelse for bruer og kaier, og anbefale en vedlikeholdsstrategi, er årsaken til flekkvedlikeholdets korte levetid undersøkt gjennom forsøk og feltundersøkelser.

Forsøk har bestått av elektrokjemisk impedansspektroskopi (EIS), hvor motstanden mot transport av ioner gjennom malingsbelegget etter flekkvedlikehold er testet. Det er også tatt ut snitt av belegget fra overgangssoner mellom blåserenset flate og intakt belegg for mikroskopering.

For å samle erfaringer og få førstehånds informasjon om tilstand på overflatebehandlingen fra flekkvedlikehold, ble åtte bruer befart. Tilgjengelig dokumentasjon fra tidligere utført arbeid og inspeksjonsrapporter ble også undersøkt for å danne et bilde av årsaker til flekkvedlikeholdets korte levetid.

Forsøk med elektrokjemisk impedansspektroskopi viste at belegget hadde høy motstand mot transport av ioner, i størrelsesorden 10^{10} Ohm*cm². Noe som tilsier at belegget er tett.

Mikroskoperingen avdekket at belegget utenfor reparasjonsområdet ble skadet i prosessen med blåserensing, men at overmalingen fylte gropene etter blåseskader tilfredsstillende. Det var derimot noen tilfeller hvor belegget var slått løs, men ikke fjernet. Dette førte til at overmalingen kapslet inn en luftlomme i tillegg til den løse biten. Samlet viste forsøkene at flekkvedlikehold kan ansees som tett, men at det er svakheter med metoden.

Med bakgrunn i funn fra mikroskoperingen bør det settes krav i Håndboken R762 til at blåserensing ved flekkvedlikehold utføres med et lukket vakumsystem for å unngå blåseskader.

Anbefalt vedlikeholdsstrategi med bakgrunn i de funn som er gjort i denne oppgaven er:

- Skadeårsak må kartlegges før flekkvedlikehold vurderes.
- Er man tidlig i skadeforløpet og det forventes at flere punkt med samme skadeårsak vil dukke opp, bør flekkvedlikehold sammen med en forsterkning av overflaten vurderes.

- Er det en skade med et begrenset omfang, som har bakgrunn i f.eks. en mekanisk skade og ikke i en utførelsesfeil, kan den flekkvedlikeholdes.
- For flater som har skader med hvitrust på over 4% av overflaten. Anbefales det å la korrosjon på sinken fortsette til stålet starter å korrodere, for å oppnå maksimal levetid for det eksisterende belegget, og deretter totalrehabiliterer belegget.

Abstract

Experience from Bergsøysundbrua has shown that spot repair of coating in areas where the zinc has started to corrode has not been effective. New corrosion attacks have quickly occurred in the same areas.

To evaluate Handbook R762 General Specifications 2 - Standard specification text for bridges and quays, and recommend a maintenance strategy, the cause of the short lifetime of these spot repairs have been investigated through trials and field investigations.

Trials consisted of electrochemical impedance spectroscopy (EIS), where the resistance of ions transported through coatings after spot repair have been tested. Samples of coating have been prepared for microscopy to examine the transition zones between the blast cleaned areas and the intact coating.

In order to gather experience from spot repair, eight bridge sites were visited to get first hand information on the surface treatment. Available documentation from previous work and inspection reports were investigated to provide an overview of the reasons for the short lifetime of spot repair.

Experiments with electrochemical impedance spectroscopy showed that the coating had high resistance to the transport of ions, in the order of 10^{10} Ohm * cm^2 . This indicates that the coating is sound.

The microscopy revealed that the coating outside the repair areas was damaged in the blast cleaning process, but that the new layers of paint filled in the damaged areas. There were, however, some cases where the coating was loosened, but not removed after blast cleaning. The new layers of paint wrapped an air pocket under the loose piece. Overall, the experiments showed that spot repair could be regarded as sound, but that there are weaknesses with the method.

Based on the findings from microscopy, requirements in the Handbook R762 should be altered and blast cleaning for spot repair should be done with a closed vacuum system to prevent damage to the surrounding areas.

The recommended maintenance strategy based on the findings are:

- The reason behind the damages must be identified, before spot repair is considered.

- If the damage is early in the process and it is expected that more of the same damages, with the same origin will appear, spot repair along with a reinforcement of the whole surface should be considered.
- If it is a limited number of damages and it is caused by mechanical impact, it can be spot repaired.
- For surfaces that have damages with white rust on more than 4% of the surface, it is recommended to allow the corrosion of the zinc to continue until the steel starts to corrode. This is to achieve the maximum lifetime of the existing coating before completely rehabilitate the coating.

Innhold

Forord	i
Sammendrag	iii
Abstract	v
Figurliste	xi
Tabelliste	xii
1. Introduksjon.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling	1
1.3 Målsetning	2
1.4 Fremgangsmåte	2
1.5 Avgrensninger.....	3
2 Metode.....	5
3 Teori	7
3.1 Overflatebehandling av bruer i Norge	7
3.2 Duplekssystemet til Statens vegvesen.....	7
3.3 Duplekssystemer versus andre systemer.	9
3.4 Nedbryting av dupleksbelegg	10
3.5 Barriereegenskaper	12
3.6 Vedlikehold av duplekssystemet.....	13
3.6.1 Håndbok R411 Bruforvaltning	14
3.6.2 Håndbok V441 Inspeksjonshåndbok for bruer.....	14
3.6.3 Håndbok R762 Prosesskode 2 – Standard beskrivelse for bruer og kaier.	15
3.7 Tilkomst.....	21
4 Eksperimentelt	23
4.1 Prøveplater.....	23
4.2 Prøveoppsett elektrokjemiske forsøk.....	25
4.3 Klargjøring av prøver – Mikroskopering.....	27
5 Resultater	31
5.1 Resultater fra elektrokjemisk testing av belegg	31

5.1.1 Forsøk nr. E1	32
5.1.2 Forsøk nr. E2.....	33
5.1.3 Forsøk nr. E3.....	34
5.2 Resultater fra mikroskopering	35
5.2.1 Prøve M1	35
5.2.2 Prøve M2.....	38
5.2.3 Prøve M3.....	40
5.2.4 Prøve M4.....	41
6 Feltundersøkelser	43
6.1 Erfaringer fra bruer som er vedlikeholdt.	43
6.2 Bergsøysundbrua	45
6.3 Nordhordlandsbrua	51
6.4 Brandasund, Djupasund og Klubbasund	55
6.5 Bukkholmstraumen og Lauvøystraumen	61
6.7 Osterøybrua	65
7 Diskusjon	67
7. 1 Diskusjon av funn etter eksperimentelle forsøk.....	67
7.1.1 Diskusjon av funn etter elektrokjemiske forsøk.....	67
7.1.2 Diskusjon av funn etter mikroskopering.....	67
7.2 Diskusjon av funn fra feltundersøkelsene	71
7.2.1 Beleggskader	71
7.2.2 Reparasjonsmetoder og erfaringer	72
7.2.3 Overmaling av alkyd/klorkautsjuk med epoxymastik.....	73
7.2.4 Tilkomst.....	74
7.2.5 Kostnad, kvalitet og levetid	74
8 Oppsummering	77
9 Konklusjon	79
10 Videre arbeid.....	81
Referanseliste.....	83
Vedlegg.....	85

Vedlegg 1 – Prøver valgt til elektrokjemiske forsøk	85
Vedlegg 2 Mikroskopering – markering av prøver på prøveplater	87

Figurliste

Figur 1: Oppbygging av System 1 som spesifisert fra 2007	9
Figur 2: Nålestikk prinsippskisse. (Skisse: Jan Scheie)	11
Figur 3: Sinkpigg, prinsippskisse	12
Figur 4: Prøveplater klargjort med elektrolytt.....	25
Figur 5: Oppsett for elektrokjemiske forsøk	26
Figur 6: Markering av prøver og prøver støpt i epoksy til mikroskopering.....	27
Figur 7: Prøveplater etter blåserensing.....	28
Figur 8: Prøveplater etter metallisering.....	29
Figur 9: Prøveplater malt med sinkrik primer	29
Figur 10: Forsøk nr. E1 – Impedans plottet mot frekvens	32
Figur 11: Forsøk nr. E2 – Impedans plottet mot frekvens	33
Figur 12: Forsøk nr. E3 – Impedans plottet mot frekvens	34
Figur 13: Prøve M1 – markering 3.1.1 Flekkvedlikeholdt som Skade B.....	35
Figur 14: Prøve M1 – markering 3.2.1 Flekkvedlikeholdt som Skade B.....	36
Figur 15: Prøve M1 – markering 3.2.3 Flekkvedlikeholdt som Skade B.....	37
Figur 16: Prøve M2 – markering 2.2.2 Flekkvedlikeholdt som Skade A	39
Figur 17: Prøve M3 – markering 5.2.1 Flekkvedlikeholdt som Skade A	40
Figur 18: Prøve M4 – markering 1.1.2 Flekkvedlikeholdt som Skade A	41
Figur 19: Prøve M4 – markering 1.1.1 Flekkvedlikeholdt som Skade A	42
Figur 20: Bergsøysundbrua, oversiktsbilde (foto: Brutus).....	45
Figur 21: Bergsøysundbrua, flekkvedlikeholdt med epoksymastik i 2002. (Foto: Jan Scheie)47	
Figur 22: Bergsøysundbrua, gangbane på rørkonstruksjon (Foto: Jan Scheie, Force Technology)	48
Figur 23: Nordhordlandsbrua, oversiktsbilde (Foto: Brutus).....	51
Figur 24: Nordhordlandsbrua, overflate etter blåserensing til metallisering (Foto: SVV)	53
Figur 25: Bømlo, kart over befarte bruer	55
Figur 26: Brandasund, oversiktsbilde (Foto: Brutus/SVV).....	56
Figur 27: Djupasund, samme punkt fra 1991 og 2017	57
Figur 28: Djupasund, nedbrytning av belegg, mai 2017 (Foto: SVV).....	58
Figur 29: Klubbasund, tilstand på overflatebehandling, mai 2017 (Foto: SVV)	59
Figur 30: Bukkholmstraumen, oversiktsbilde (Foto: Brutus/SVV)	61
Figur 31: Bukkholmstraumen, tilstand før vedlikehold 2013 (Foto: SVV)	62

Figur 32: Lauvøystraumen, stripemalt før helstrøk med epoksymastik i 2013 (Foto: SVV)...	63
Figur 33: Osterøybrua, oversiktsbilde (Foto: Brutus/SVV)	65
Figur 34: Osterøybrua, hvitrust på innfesting av ledeskovler (Foto: SVV)	66

Tabelliste

Tabell 1: Oversikt over System 1 1977/2007	8
Tabell 2: Oversikt over SVV sine vedlikeholdssystemer.....	16
Tabell 3: Prøver som er valgt ut til elektrokjemiske forsøk	24
Tabell 4: Prøver som er valgt ut til mikroskopering	24
Tabell 5: Liste over befarte bruer	44
Tabell 6: Sammenligning av SVV sine klimasoner og ISO 12944-2 Klassifisering av miljø. 44	

1. Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Statens Vegvesen (heretter omtalt som SVV) har spesifisert dupleksbelegg på sine bruer siden 1965. Beleggsystemet har bestått av termisk sprøytet sink (TSZ) og fire strøk med alkyd/klorkautsjukmaling (dupleksbelegg). SVV har en målsetning om at belegget skal holde minst 35 år før vedlikehold er påkrevet, og da skal man helst bare behøve å fornye toppstrøket. I Norge har vi over 1700 stålbruer med korrosjonsbeskyttende belegg, eksponert i ulike miljøer.

Erfaringene fra Bergsøysundbrua har vist at flekkvedlikehold av belegget i områder der sinken har startet å korrodere ikke har vært effektivt. Nye korrosjonsangrep har raskt oppstått på samme sted etter vedlikeholdet. Belegget på Bergsøysundbrua ble derfor totalrehabilitert for noen år tilbake, etter bare ca. 20 års eksponering.

1.2 Problemstilling

Når sinkbelegget har startet å korrodere har SVV tre alternativer for vedlikeholdsstrategi:

1. Vedlikeholde flekkene med korrosjon på sinken for å stoppe angrepene
2. La korrosjon på sinken fortsette til stålet starter å korrodere, for å oppnå maksimal levetid for det eksisterende belegget, og deretter totalrehabiliterer belegget
3. Totalrehabiliterer med en gang

Alternativ 1 vil være den mest økonomisk lønnsomme løsningen. Erfaringene har imidlertid vist at det er tekniske vanskeligheter med dette og man har ikke oppnådd ønsket levetid etter flekkvedlikehold, som demonstrert på Bergsøysundbrua. Det er stilt spørsmål ved:

- Overmalbarhet til eldre sprø alkyd/klorkautsjukmaling, med dagens epoksymalinger, da denne har store interne spenninger som kan føre til krakelering når den påføres en eldre og sprø alkyd/klorkautsjukmaling.
- Om prosessen med blåserensning kan føre til mer skader i område rundt den opprinnelige skaden
- Hvordan sinkrik primer og metallisering oppfører seg når dette påføres utover blåserenset stål.

Alternativt 2 vil være det nest beste alternativet økonomisk sett. Det forutsetter imidlertid at korrosjonsangrepene ikke går for langt, slik at stålet svekkes før vedlikeholdet starter.

Alternativ 3 vil fungere, men vil være den minst økonomisk gunstige løsningen.

1.3 Målsetning

Målsetning med oppgaven er å evaluere beskrivelsen i Håndbok R762 Prosesskode 2 - Standard beskrivelse for bruer og kaier (heretter omtalt som Håndbok R762) for vedlikehold av korrosjonsbeskyttende belegg på stålbruer i Norge og anbefale en vedlikeholds-strategi.

- Samle erfaringer med flekkvedlikehold av dupleksbelegg i SVV, spesielt fra Bergsøysundbrua.
- Teste tekniske utfordringer ved strategi 1 i lab: Måle motstand mot transport av ioner gjennom maling etter flekkvedlikehold.
- Se på snitt av reparerte områder ved hjelp av mikroskopering, med fokus på blåseskader og overmaling/metallisering.

Teste tekniske utfordringer ved strategi 2: Metallisere tidligere korrodert stål med sink og deretter måle adhesjon og korrosjonshastighet til sinkbelegget viste seg å være for omfattende for denne oppgaven. Dette er derfor ikke tatt med videre.

1.4 Fremgangsmåte

Ved hjelp av laboratorieforsøk ble motstand mot transport av ioner gjennom maling etter flekkvedlikeholdt testet. Metoden for testing, var å lage prøveplater med SVV sitt System 1, en skade i overflatebehandlingen ble så reparert i henhold til SVV sin beskrivelse i Håndbok R762. Deretter ble det utført elektrokjemiske forsøk på reparasjonsområdene. Dette viste malingens motstand mot transport av ioner, med andre ord barriereegenskapene til maling etter flekkvedlikehold.

Ved hjelp av mikroskopering ble snitt av belegg etter flekkvedlikehold undersøkt. Prøver ble skåret ut fra de flekkvedlikeholdte områdene og bearbeidet slik at en kunne studere hvordan belegget ble påvirket av blåserensing og påfølgende overmaling.

For å samle erfaringer fra flekkvedlikehold gjort på SVV sine konstruksjoner er det plukket ut åtte bruer, noen er vedlikeholdt, mens andre er tatt med som referanser. I tillegg til å samle

tilgjengelig dokumentasjon, er det gjort feltundersøkelser hvor bruene er befart for å få førstehånds informasjon om tilstand på overflatebehandlingen.

Etter evaluering av forsøk og feltundersøkelser, kan Håndbok R762 sin beskrivelse evalueres og det kan anbefales en strategi for vedlikehold.

1.5 Avgrensninger

Ved testing av motstand mot transport av ioner var det ikke mulig å reprodusere klorkautsjuk. Jotun AS sluttet i 2005 å produsere klorkautsjuk på grunn av miljøhensyn. Klorkautsjuk ble brukt på SVV sine konstruksjoner fra 1965 til ca. 1997. Forsøkene til oppgaven gjøres derfor med dagens spesifikasjon av System 1 som er med metallisering, epoksyforsegler, epoksymastik og et toppstrøk med polyuretan.

Det er lite informasjon lagret om overflatebehandling gjort på de eldre bruene i SVV, enda mindre er lagret etter utførte vedlikeholdsjobber. Det er derfor gjort noen antagelser basert på erfaring og samtaler med personer som var tilstede under bygging og vedlikehold.

Mens denne oppgaven er skrevet er det kommet en ny utgave av Håndbok R762. Denne oppgaven forholder seg til den gamle utgaven med innhold fra desember 2012 og med ny nummerering juni 2014. Det er i den nye revisjonen imidlertid ikke gjort endringer som påvirker denne oppgaven direkte.

For å avgrense oppgavens størrelse er den begrenset til bruer i Region vest, med unntak av Bergsøysundbrua som ligger i Region midt.

2 Metode

Denne oppgaven er en kvalitativ oppgave hvor det å danne seg en helhetsforståelse av problemstillinger rundt flekkvedlikehold står sentralt. Relativt få objekter er undersøkt med bakgrunn i sin kompleksitet og tilgjengelighet.

Empiriske metoder er brukt både for å samle erfaringer fra flekkvedlikehold utført på SVV sine konstruksjoner og gjennom laboratorieforsøk ved å teste tettheten mot ionetransport til belegg etter flekkvedlikehold.

Til søk etter aktuell litteratur er det brukt NTNU sin portal Oria, Siencedirect.com og Google Scholar. Ingen av søkene utført ga resultat på flekkvedlikehold av duplekssystemer med metallisert sink, noe som tyder på at det mangler forskning på dette området. Det finnes en del forskningsrapporter og artikler som omhandler duplekssystemer og levetiden til duplekssystemer, men ingen som dekker tematikken rundt vedlikehold av disse. Der vedlikehold er omtalt er det kun som en bisetning, uten noen videre referanser til forskning. Det har derfor vært vanskelig å oppdrive litteratur som kan danne et godt grunnlag for denne oppgaven.

Videre er håndbøker og rapporter som er utarbeidet for SVV, funnet gjennom SVV sitt interne arkiv. Håndbøker og noen av rapportene er allment tilgjengelige. Rapporter fra de spesifikke bruene er hentet fra Brutus (SVV sitt bruforvaltningssystem) og SVV sine interne digitale og analoge arkiver som ikke er offentlig tilgjengelige.

3 Teori

3.1 Overflatebehandling av bruer i Norge

Frem til 1965 ble blymønje og linolje brukt som overflatebehandling på norske vegbruer. I 1958 ble den første norske bruene metallisert som et eksperiment og 7 år seinere bestemte SVV at alle nye bruer skulle metalliseres. Aluminium og sink ble tillat å bruke som metallisering. Høyere pris på aluminium gjorde imidlertid at det i praksis var kun sink som ble brukt. Kombinasjon av metallisering og maling er kjent som et duplekssystem. Malingen bestod av en blanding mellom alkyd og klorkautsjuk. Opprinnelig blandingsforhold gjorde malingen sprø og den ble justert gjennom årene for å skape en mer elastisk maling. Miljøhensyn førte til at bly og sinkkromat ble faset ut av denne malingen i 1977 og det ble utviklet et nytt sett med malingsspesifikasjoner etter oppdrag fra SVV, kjent som System 1 (Tabell 1). Da ble sinkfosfat og titanoksid innført som pigmenter i klorkautsjukmalingen (Foder *et al.*, 2008). På 90 tallet ble System 3 introdusert, som et alternativ duplekssystem. Dette systemet bestod av epoksy og polyuretan/polyuretan-akryl, men det var fortsatt duplekssystemet med alkyd/klorkautsjuk som ble foretrukket. I 2005 sluttet Jotun AS å produsere klorkautsjuk av miljøhensyn. Etter revisjon av Håndbok R762 i 2007 var metallisert sink og epoksy/polyuretan duplekssystem nå eneste alternativ, det nye System 1 (Tabell 1).

3.2 Duplekssystemet til Statens vegvesen

Duplekssystemet som SVV bruker, kjent som System 1, (Statens vegvesen, 2014d) består av to typer belegg som beskytter stålet mot omgivelsene. Et metallsjikt som fungerer som en anode skal ofre seg før stålet blir angrepet og et malingslag som fungerer som en barriere. De vanligste metallene å bruke i det beskyttende metallsjiktet er sink og aluminium. SVV tillater gjennom sine beskrivelser kun sink. Påføringsmetode varierer med formålet og hva som er praktisk mulig. De to vanligste metodene er varmforsinking og termisk sprøyting. Varmforsinking begrenser seg selv på grunn av størrelsen på bassengene som brukes til dypping. I hovedsak er denne metoden benyttet på mindre enheter som rekkverk, lyktestolper og andre mindre konstruksjonsdeler. Den andre metoden, termisk sprøyting gjøres med lysbue, eller flamme og brukes på større konstruksjonsdeler. Her blir sinktråd, eller sinkpulver ført opp til en lysbue/flamme med en temperatur på 3100°C (flamme) - 6000°C (lysbue) som smelter sinken og ved hjelp av trykkluft slynges metallet på overflaten hvor det raskt kjøles

ned. Metallet hefter seg mekanisk til overflaten. Det er derfor viktig at overflaten er ren og har riktig ruhet for å kunne gi et godt grunnlag for vedheft.

Maling er den andre delen av systemet og er delt inn etter generiske typer, hvor det er bindemiddelet i malingen som avgjør den generiske tilhørigheten og i all hovedsak egenskapene til malingen. Sammen med bindemiddel består maling av pigmenter, fyllstoffer, løsemidler og tilsatsstoffer. Komponentene gir forskjellige egenskaper til malingen (Scheie og Kleven, 2013). Maling har som hovedmål å beskytte det underliggende stålet ved å stenge vann, luft og ioner ute. Dette gjøres ved at malingen danner en barriere, ofrer seg, eller ved at den passiverer overflaten. I vegvesenet sitt duplekssystem skal malingen skape en barriere som hindrer transport av reaktanter som oksygen, vann og ioner inn til overflaten.

Alkyd/klorkautsjukmalingen som tidligere var spesifisert på SVV sine konstruksjoner var en fysikalsk tørkende maling. Fysikalske tørkende malinger er re-løselige, noe som vil si at om den overmales med en annen fysikalsk tørkende maling vil den gamle malingen i kontakt med løsemidler reaktiveres og de to lagene smelter sammen (Scheie og Kleven, 2013). Dette er en maling som i teorien skal fungere bra for et duplekssystem, hvor tanken er at en skal fornye toppstrøk etter et gitt antall år.

Tabell 1: Oversikt over System 1 1977/2007

<p><u>System 1 som spesifisert fra 1977:</u></p> <p>Beleggsystem</p> <ol style="list-style-type: none">1. Min 100 µm metallisering med sink eller aluminium2. maks 10 µm etsprimer spes. nr. 43. 40–50 µm grunnmaling spes. nr 1154. 40–50 µm grunnmaling spes. nr 1165. 40–50 µm dekkmaling 2:1 spes. nr 1176. 40–50 µm dekkmaling 2:1 spes. nr 118 <p>Total beleggtykkelse: Minimum 270 µm</p>
<p><u>System 1 som spesifisert fra 2007</u></p> <p>Beleggsystem</p> <ol style="list-style-type: none">1. min 100 µm termisk sprøytet sink2. 25–30 µm epoksy polyamid forseglers3. 100–125 µm epoksymastik4. 60–100 µm polyuretan eller polyuretan-akryl <p>Total beleggtykkelse: Minimum 285 µm</p>

Malingen som brukes i dagens duplekssystem, består av en epoksybasert forsegler som skal drive luften ut av metalliseringen og forsegle denne. Mellomstrøket med epoksymastik utgjør den viktigste barrieren. Et toppstrøk av polyuretan gir beskyttelse mot vær og sollys (UV-stråler), samt bidrar til barriereegenskapene. Oppbyggingen er vist i Figur 1.



Figur 1: Oppbygging av System 1 som spesifisert fra 2007

Det som kjennetegner en epoksymaling er at det er en kjemisk herdende to-komponentsmaling som danner en meget hard og sterk malingsfilm (Scheie og Kleven, 2013). Epoksymaling vil kritte hvis de blir eksponert utendørs, og skal derfor overmales med et toppstrøk med polyuretan.

3.3 Duplekssystemer versus andre systemer.

Duplekssystemet som SVV bruker var i utgangspunktet tenkt å vare i 35 år før man måtte vaske ned og fornye toppstrøket. Det finnes eksempler som Rombaksbruen, med over 40 års levetid på belegget før toppstrøk ble fornyet. Klinge har i en artikkel (Klinge, 1999) seinere nedjustert eksponeringstiden til 15-20 år før man vasker ned og fornyer toppstrøket. Andre studier (Kundsén, Hasselø og Djuve, 2016) viser at 20 år er et realistisk mål.

Rombaksbruen og Breivikbruen ble ferdigstilt i henholdsvis 1964 og 1962, som er to like konstruksjoner med sammenlignbare overflater og klimatiske forhold. Disse bruene er i flere sammenhenger dratt frem som eksempel på hvordan duplekssystemet overgår et system med sinkrik epoksyprimer, epoksymastik og polyuretan toppstrøk (Klinge, 2011). Rombaksbruen har som tidligere nevnt stått i 40 år uten vedlikehold, mens Breivikbruen har vært vedlikeholdt med full rehabilitering av overflaten flere ganger i samme tidsrom.

I offshorenæringen brukes ett trelags malingsystem med sinkepoksy førstestrøk, epoksy barrierestrøk og et UV-bestendig toppstrøk, som beskrevet i NORSOK M-501. Forventet levetid på dette systemet er 10-12 år før flekkvedlikehold må utføres (Axelsen *et al.*, 2010).

Offshorenæringen har god erfaring med tykkfilms-belegg med tørrfilmtykkelse, 700 μm til 1000 μm , forsterket med glassflak. Glassflakforsterket epoksy og glassflakforsterket polyester har mer enn 30 års dokumentert (Heen, 2012) levetid i marin skvalpesone. Befaring utført (ved siden av denne oppgaven) på den flyttbare halvt-nedsenkbare plattformen Njord bekreftet 2 lag av glassflakepoksymaling av 350 μm har stått uten problemer i 22 år.

3.4 Nedbryting av dupleksbelegg

Det er mange årsaker til at et malingsystem brytes ned, dette gjelder både det opprinnelige systemet og reparasjoner gjort i ettertid. Det opprinnelige systemet kan være feil for det type miljø det er utsatt for, malingene som er brukt i systemet er ikke kompatible, eller at det er gjort en feil før, under, eller etter påføring, det vil si en utførelsesfeil.

Både den gamle alkyd/klorkautsjuk malingen og dages epoksy-/polyuretanmaling som inngår i SVV sitt duplekssystem er velkjent og har vært brukt i flere tiår. Begge disse systemene ansees som kompatible system som er motstandsdyktige mot den type miljø de utsettes for.

Man må skille mellom en forventet aldring av belegget og for tidlig nedbrytning på grunn av feil i spesifikasjon, eller i utførelse. Den forventede aldringen kan man planlegge for og er den nedbrytning man tar utgangspunkt i for vedlikeholdsplanleggingen. Dette vil være nedbrytning av generell art på grunn av vær og sollys.

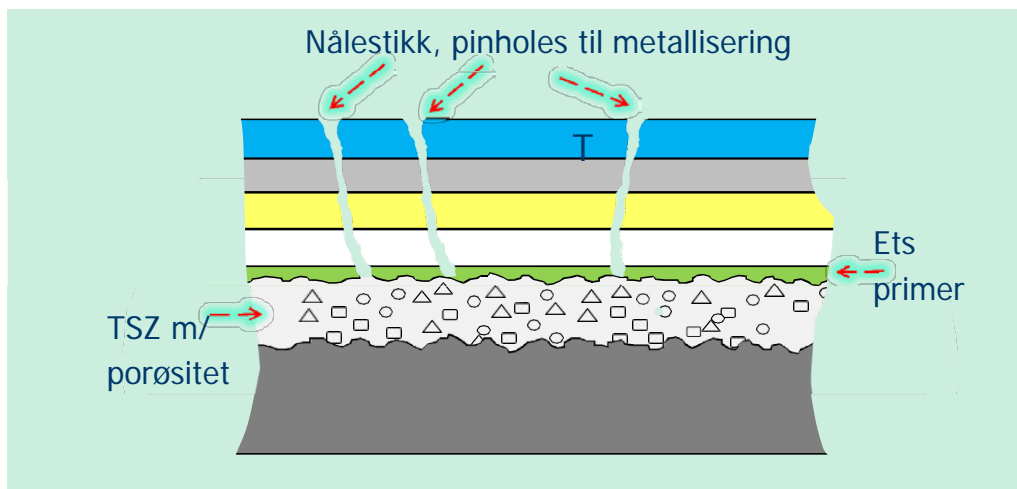
Den formen for nedbrytninger som ikke er generell, har ofte bakgrunn i utførelsesfeil.

Eksempler på utførelsesfeil kan være at overflaten er forurenset med f.eks. salter, rester etter korrosjonsprodukter, andre urenheter som støv/skitt/fett, klimatiske forhold under påføring, eller feil i påføring av maling.

Knudsen (Knudsen, 2016) peker på to hovedårsaker til for tidlig nedbrytning av malingsbelegget på SVV sine konstruksjoner.

Den første er for lav tørrfilmtykkelse (TFT). Årsaken til dette kan være manglende stripemaling på utsatte områder (kanter, hjørner, sveiser, bolter). Det kan også være fordi maling er påført for tynt i større områder, det vil si at operatør ikke har hatt kontroll på våtfilmtykkelse (VFT) under påføring. Dette er en vanlig feil for alle typer malingsbelegg. For lav filmtykkelse vil føre til at motstanden mot ioner ikke er tilstrekkelig og korrosjon oppstår (se kapittel 3.5).

Den andre feilen det pekes på som årsak til tidlig nedbrytning, er nålestikk. Dette er en malingsfeil som duplekssystemer spesielt er utsatt for. Metallisert sink er meget porøs og har en ru overflate. Forselgeren som er den første malingen som blir påført i et duplekssystem, har som formål å fortrenge all luft som ligger i den ru overflaten til sinken. Nålestikk forårsakes av at det dannes gassbobler i forseglere, som seinere sprekker og danner kanaler til overflaten gjennom de overliggende malingslag (Kundsens, Hasselø og Djuve, 2016). Disse kanalene vil gi vann og klorider en åpen bane til den metalliserte sinken vist på Figur 2.



Figur 2: Nålestikk prinsippskisse. (Skisse: Jan Scheie)

Når sinken korroderer dannes det korrosjonsprodukter også kjent som sinkssalter. Disse er opptil 500 ganger større i volum enn metallisk sink og vil presse seg ut og skape en større skade i overflaten. Tester utført (Knudsen, 2016) viser at både viskositeten og tørrfilmtykkelse til forsegleren har innvirkning på nålestikk. Dersom forsegleren påføres for tykt, over 25 μm og viskositeten er høy, over 40% tørrstoffinnhold i forseglere, kan det oppstå nålestikk.

I tillegg til lav filmtykkelse og nålestikk kan en tredje feil med bakgrunn i metallisering være årsak til for tidlig nedbrytning. Sinkpigger kan oppstå som følge av et fenomen kalt spytting, dette skjer hvis ikke metalliseringsutstyret blir skikkelig vedlikeholdt og/eller stilt skikkelig inn. Spytting er et begrep som brukes når biter som ikke smelter fullstendig i sprøyteprosessen blir slynget mot overflaten under metalliseringen. Disse bitene vil ligge oppå den metalliserte flaten med skarpe kanter. Malingen vil ikke klare å bygge samme filmtykkelse over sinkpiggen som på resten av overflaten vist på Figur 3.



Figur 3: Sinkpigg, prinsippskisse

3.5 Barriereegenskaper

Som tidligere nevnt er barriere den viktigste egenskapen til malingen i System 1. Epoksy og polyuretan er kjemisk herdende malinger, dvs. tokomponentmalinger, som består av en base og en herder. Når disse to blandes skjer det en kjemisk reaksjon mellom komponentene og malingen herder. Den ferdig herdete overflaten skaper en barriere som beskytter det underliggende stålet. Men kjemisk herdende malinger herder ikke homogent. Det vil si at herding skjer ut fra mange punkt og beveger seg utover i et sirkulært mønster, og det dannes en heterogen struktur. Når herdingen har beveget seg et stykke fra startpunktet kan det bli underskudd av herder og prosessen stopper. I enden av herdeprosessen dannes en svakere sone. Dette er mikroskopiske områder som kan ta opp store mengder vann og har lav motstand mot ionetransport (Nguyen, Hubbard og Pommersheim, 1996). Områdene har lavere molekylær tetthet og/eller lite kryssforbindelser. Dette er randsonene hvor herdeprosessen slutter. Tilsynelatende feilfrie malingsfilmer inneholder små baner, eller stier gjennom

malingsfilmen. En lignende prosess oppstår med delvis polymeriserte, eller «døde» molekyler i fysikalske herdendene malinger (Mills og Mayne, 1981). Under prosessen hvor løsemidlene fordampes, samles de «døde» molekylene og danner miceller som har lavere funksjonalitet og lite kryssforbindelser. Konsekvensen av slike områder med inhomogenitet, er at barriereegenskapene til malingen og motstanden mot ioner svekkes.

For en tykk, eller flerlags malingsfilm vil ikke defekter være gjennomgående, eller store nok for at ioner i utgangspunktet kan vandre gjennom. Forlenget, eller repetert eksponering vil imidlertid kunne føre til at det dannes/åpnes forbindelser i de hydrofile områdene (Nguyen, Hubbard og Pommersheim, 1996). Det vil si at i korrosive miljøer vil barriereegenskapen kunne svekkes selv på en maling med god tørrfilmtykkelse.

Malingen i System 1 fra 1977 som er vist i Tabell 1 var delt opp i 4 lag for å kunne fordele feil og med det unngå tidligere nevnte overlapp av «kanaler».

Pigmenter blir ofte benyttet for å øke barrierevirkningen. Da brukes gjerne flakformede pigmenter av aluminium, eller jernoksid. Flakene vil gjøre at vann og oksygen må vandre lengre for å penetrere ned til underlaget. Malinger med motstand mot transport av ioner målt over $10^9 \text{ Ohm} \cdot \text{cm}^2$ ansees som tette og beskyttende mot korrosjon (Królikowska, 2000; Lavaert *et al.*, 2000). Tørrfilmtykkelsen for å oppnå denne tettheten vil variere fra produkt til produkt.

3.6 Vedlikehold av duplekssystemet

Håndbøkene er grunnlaget for alt arbeid som gjøres i regi av SVV. De gir ensartede regler for utførelse, kontroll og oppmåling. Det er i hovedsak tre håndbøker som styrer vedlikehold av overflatebehandling.

Overordnede vedlikeholdsstrategier er gitt i Håndbok R411 Bruforvaltning (Statens vegvesen, 2014b), hvor en finner bestemmelser for forvaltning, drift og vedlikehold av bruene til SVV.

Håndbok V441 Inspeksjonshåndbok for bruer (Statens vegvesen, 2014a), gir kriteriene for hvordan bruene skal inspiseres og skader klassifiseres.

Håndbok R762 Prosesskode 2 - Standard beskrivelse for bruer og kaier (Statens vegvesen, 2014d), gir utførelseskrav for hvordan konstruksjonene skal bygges og vedlikeholdes.

3.6.1 Håndbok R411 Bruforvaltning

Håndbok R411 Bruforvaltning gir bestemmelser for forvaltning, drift og vedlikehold av bruer i tilknytning til riks- og fylkesveger. Denne håndboken beskriver overordnet hvilket kontrollregime man skal ha for bruer. Hver bru skal ha en inspeksjonsplan som inngår i et inspeksjonsprogram. Inspeksjonsplan er en del av forvaltning, drift og vedlikeholdsdokumentasjonen som overleveres drift- og vedlikeholdsorganisasjonen fra prosjektorganisasjonen ved nybygg. Dette mangler på de eldre bruene.

En inspeksjonsplan skal inneholde oversikt over hvilke inspeksjoner, oppmålinger og materialundersøkelser som skal utføres på de enkelte bruene, samt intervall og tidspunkt for utførelse.

Inspeksjonsprogrammet skal inneholde oversikt over alle inspeksjoner, oppmålinger og materialundersøkelser som skal utføres.

3.6.2 Håndbok V441 Inspeksjonshåndbok for bruer.

Inspeksjoner skal utføres i henhold til Håndbok V441 Inspeksjonshåndbok for bruer.

Enkel inspeksjon har som formål å kontrollere om det er skader som kan påvirke konstruksjonenes bæreevne, trafikk sikkerhet, framtidig vedlikehold eller som påvirker miljøet/estetikken negativt. Enkel inspeksjon skal gjennomføres hvert år.

Hovedinspeksjon har som formål å foreta en tilstandskontroll av hele bruene, kontrollere at den fyller sin funksjon og fastslå eventuelle behov for drift- og vedlikeholdstiltak.

Hovedinspeksjon utføres hvert femte år.

Spesialinspeksjon har som formål å undersøke nærmere de skader, bevegelser og/eller nedbrytningsmekanismer som er oppdaget ved tidligere inspeksjoner, eller etter skademeldinger.

Ved vurdering av skader på en bru ser man på hvilken skadetype det er snakk om, hvor alvorlig denne skaden er (skadegrad og skadekonsekvens) og vurdere skadeårsaken. Ut i fra dette skal man beskrive tiltak.

Kontrollregimet og klassifisering av skader er med på å bestemme hvordan vedlikeholde legges opp. Håndboken sier også noe om hvilke tilstander som utløser vedlikehold.

Vedrørende vedlikehold av korrosjonsbeskyttende belegg sier Håndbok V441:

«Overflatebehandling på stålkonstruksjoner skal vedlikeholdes så hyppig at det store sett bare blir behov for vasking av overflaten og fornying av dekke strøket. I praksis bør dette finne sted når 3-4% av toppstrøket er nedbrutt og det ikke er synlige korrosjon på stålet».

3.6.3 Håndbok R762 Prosesskode 2 – Standard beskrivelse for bruer og kaier.

For overflatebehandling av stålkonstruksjoner gjelder Håndbok R762 Prosesskode 2 - Standard beskrivelse for bruer og kaier (heretter omtalt som Håndbok R762). I tillegg til håndboken gjelder også krav i Norsk Standard, ISO standarder og NORSOK-501 der det er henvist til disse.

Overflatebehandling av stålkonstruksjoner er omtalt i to hovedkapitler, eller hovedprosesser.

Under hovedprosess 85 Stål, beskriver underprosess 85.3 overflatebehandling av stålkonstruksjoner, typisk nybygg. Her gis også de krav til utførelse som SVV gir for alt arbeid med overflatebehandling.

Hovedprosess 88 Inspeksjon, drift og vedlikehold beskriver i underprosess 88.48 vedlikehold av overflatebehandling av stålkonstruksjoner. Her er det definert tre forskjellige vedlikeholdssystemer i tillegg til System 1.

Hvor overflatebehandlingen bestående av et rent malingsystem benyttes Vedlikeholdssystem 1, eller 2. Vedlikeholdssystem 3 brukes ved mindre skader på varmforsinking. For dupleksbelegg sier HB R762 at skal reparasjoner gjøres med System 1, eller Vedlikeholdssystem 2. vedlikeholdssystemene er vist i Tabell 2.

Tabell 2: Oversikt over SVV sine vedlikeholdssystemer

<p>System 1: Metallisering pluss epoksy/polyuretan (dupleks system)</p> <p>Beleggssystem</p> <ol style="list-style-type: none">1. min 100 μm termisk sprøytet sink2. 25–30 μm epoksy polyamid forseglar3. 100–125 μm epoksymastik4. 60–100 μm polyuretan eller polyuretan-akryl <p>Total beleggykkelse: Minimum 285 μm</p>
<p><u>Vedlikeholdssystem 1: Sinkrik epoksy primer (minst 90 vektprosent sink i den tørre filmen) pluss epoksy/polyuretan</u></p> <p>Beleggssystem</p> <ol style="list-style-type: none">1. 40–75 μm sinkrik epoksy primer2. min 125 μm epoksymastik3. 60–100 μm polyuretan eller polyuretan-akryl <p>Total beleggykkelse: Minimum 225 μm</p>
<p><u>Vedlikeholdssystem 2: Sinkrik primer (minst 95 vektprosent sink i den tørre filmen) pluss epoksy/polyuretan</u></p> <p>Beleggssystem</p> <ol style="list-style-type: none">7. 50–60 μm sinkrik primer8. 25–30 μm epoksyforsegler9. min 125 μm epoksymastik10. 60–100 μm polyuretan eller polyuretan-akryl <p>Total beleggykkelse: Minimum 260 μm</p>
<p><u>Vedlikeholdssystem 3: Sinkrik primer (minst 95 vektprosent sink i den tørre filmen)</u></p> <p>Beleggssystem</p> <ol style="list-style-type: none">1. 50–60 μm sinkrik primer2. 50–60 μm sinkrik primer3. 50–60 μm sinkrik primer <p>Total beleggykkelse: Minimum 150 μm</p>

Alle malingsprodukter som blir brukt i System 1 og ved vedlikehold av SVV sine konstruksjoner skal oppfylte krav stilt i Håndbok R762 og skal prekvalifiseres i henhold til ISO 20340 Procedure A (ISO, 2009). Malinger som tilfredsstillere krav i NORSOK M-501 (M-501, 2012) «System no. 1» er prekvalifisert.

I Håndbok R762 prosess 88.48, bestemmes reparasjonsmetode etter størrelsen arealet på blåserenset flate og er beskrevet som:

«Ved vedlikehold av såkalte duplekssystem bestående av et katodisk beskyttende metallbelegg pluss maling, benyttes System 1: Metallisering pluss epoksy/polyuretan (duplekssystem) som beskrevet i prosess 85.3. Det legges fullt system på forbehandlet bart stål og epoksy mastik og polyuretan ved fornying av dekkstrøk. Skader med mindre rengjort areal enn 50x50 mm påføres sinkrik primer som beskrevet for Vedlikeholdssystem 2 og epoksy polyamid forseglar. Deretter påføres samme malingsystem som på konstruksjonen for øvrig.»

For enkelthets skyld vil jeg fra nå definere skader med mindre rengjort arealer enn 50x50 cm for Skade A og skader med større rengjort areal enn 50x50 cm for Skade B.

Skade A

For skader med rengjort areal mindre enn 50x50 cm stiller Håndbok R762 følgende krav:

«Vedlikeholdssystem 2: Sinkrik primer (minst 95 vektprosent sink i den tørre filmen)

pluss epoksy/polyuretan

Forbehandling (minimumskrav som skal tilfredsstilles):

- Fjerning av løstsittende maling og korrosjonsprodukter
- Avfetting med egnet vaskemiddel og spyling med rent ferskvann
- Blåserensing:

Renhet: Sa 2.5

Ruhet: Medium G, Ry5= 50-85 µm

Beleggssystem:

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

For første og siste strøk velges tykkelse i samsvar med produsentens anvisninger for den aktuelle malingstype (konferer produktdatablad). Total beleggtykkelse: Minimum 260 μm . Alle oppgitte tykkelser er tørrfilmtykkelser.

Det stilles følgende generelle krav til Vedlikeholdssystem 2:

1. Sinkrik primer skal minst ha 95 vektprosent sink i den tørre filmen.
2. Epoksy tie-coat sealer skal tilfredstille krav i prosess 85.3
3. Epoksy mastik og polyuretan eller polyuretan-akryl skal tilfredsstille de generelle krav som er satt til Vedlikeholdssystem 1.»

Skade B

For skader med rengjort areal større enn 50x50 cm stiller Håndbok R762 følgende krav:

«System 1. Metallisering pluss epoksy/polyuretan (dupleks system)

Forbehandling: Om nødvendig alkalisk vask, avfetting og spyling med rent ferskvann.

Blåserensing: Renhet: Sa3

Ruhet: Medium G, Ry5= 50-85 μm

Beleggssystem:

1. Minimum 100 μm ren, termisk sprøytet sink
2. 25-30 μm epoksy polyamid tie-coat sealer
3. 100-125 μm epoksymastik

4. 60-100 µm polyuretan eller polyuretan-akryl

For siste strøk velges tykkelse i samsvar med produsentens anvisninger for den aktuelle malingstype (kfr. teknisk datablad)

Total beleggtykkelse: Minimum 285 µm. Alle oppgitte tykkelser er tørrfilmtykkelser.

Vedlikeholdssystemer fremgår av prosess 88.48

Hvert strøk skal ha ulik farge. Fargekode på siste dekkstrøk skal fremgå av den spesielle beskrivelsen.

De ulike malingsprodukter og ev. tilsetninger, tynnere etc. som skal anvendes skal være fra samme leverandør. Leverandøren skal levere tekniske datablad som inneholder følgende opplysninger:

- Krav til forbehandling
- Volum % fast stoff
- Våtfilmtykkelse/tørrfilmtykkelse (maks/min spesifisert)
- Overmalingsintervall ved 5, 10 og 23 °C (maks, min)
- Anbefalt tynner (mengde og type)
- Teoretisk dekkevne
- Anbefalinger/krav vedrørende påføring

Malinger i beleggsystem 1 skal prekvalifiseres i henhold til ISO 20340 Procedure A. Malinger som tilfredsstiller krav i NORSOK M-501, "System no. 1", er prekvalifisert. (Sinkrik primer erstattes med termisk sprøytet sink og tie-coat i beleggsystemet)»

Utførelse av flekkvedlikehold

For både skade A og B stiller Håndbok R762 følgende krav til forbehandling og påføring:

«Forbehandling

På alle overflater som skal behandles, fjernes løs maling og korrosjonsprodukter. Deretter foretas avfetting med alkalisk vaskemiddel og spyling med rent ferskvann.

På hengestenger og kabler skal spinnemiddel fjernes fullstendig fra overflaten.

Ved delvis utskifting av beleggsystem og full fornying av dekkstrøk kan nedbrutt maling fjernes med forsiktig høytrykkspyling eller lett sandblåsing dersom underliggende strøk lar seg frilegge uten at de skades ved behandlingen.

Alle typer forbehandling av gjenværende korrosjonsbeskyttende belegg som skal overmales, gjøres med forsiktighet for å unngå skader. Overganger mellom bart stål og inntakt korrosjonsbeskyttelse skal være gradvis og bygges opp som beskrevet i prosess 85.3.

Alt blåseavfall skal samles opp, leveres og deponeres på godkjent mottak.

Fremgangsmåte for rengjøring må avklares ved prosedyreprøver. Dersom saltinnhold på ståloverflaten etter blåserensing er for høyt, må det vaskes på nytt og blåserensing foretas til beskrevet renhet (Sa 2,5 for malingssystem og Sa 3 for duplekssystem.)

Påføring

Sinkrik primer påføres kun på bart, blåserenset stål. Hvis nødvendig benyttes maskering for å forhindre overmaling av eksisterende belegg med sinkrik primer. Alle flater påføres deretter beskrevet system.

Det skal utføres stripecoating av kanter, hjørner, vinkler, nagle- og skruehoder etc., før sprøytemaling for hvert respektive strøk.

Stripecoating skal ha like lang tørketid som leverandørens anvisning for sprøytemaling.

For trange spalter hvor det er vanskelig å komme til, skal det utarbeides spesielle arbeidsprosedyrer som sikrer så godt resultat som mulig.

For øvrig som prosess 85.3 og den spesielle beskrivelsen.»

Krav til vedheft er gitt i prosess 85.3, hvor metallisering skal ha en vedheft på minimum 3,5 MPa og maling på minimum 2.5 MPa.

3.7 Tilkomst

På de fleste av SVV sine konstruksjoner må man gjøre spesielle tiltak for å ha en sikker tilkomst til overflatene som skal vedlikeholdes. Ved små vedlikeholdsjobber kan man bruke en brulift. Ved større vedlikeholdsjobber er man avhengig av å rigge stillas med inndekking for å sikre kvalitet og fremdrift.

Erfaringstall¹ fra SVV viser at ca. 25 % av totalkostnaden ved en jobb med totalrehabilitering går til stillaser og skjerming. Kompleksiteten og kostnaden vil variere fra prosjekt til prosjekt. Eksempelvis er bjelkebruer enklere å rigge stillas på, enn en hengebru med kassetverrsnitt.

¹ Jan Ove Nygård (Byggeleder Bruvedlikehold SVV Reg. vest), Gunnar Djuve (Prosjektleder Bruvedlikehold SVV Reg. vest) Samtale, september 2017.

4 Eksperimentelt

Som en del av denne masteroppgaven er det utført eksperimentelle forsøk for å måle motstand mot transport av ioner gjennom maling som er flekkvedlikeholdt. Det er i tillegg tatt ut prøver til mikroskopering for å kunne se på et snitt av overflatebehandlingen. Her er det fokusert på skadeskutte områder, randsoner av blåserensede områder og områder hvor det er metallisert, eller malt med sinkrik primer over gammelt belegg.

Overflatebehandling, reparasjon og klargjøring av prøveplater ble utført av Lie Overflate Teknikk AS over en periode på to måneder. Forsøk ble utført ved SINTEF Materialer og Kjemi.

4.1 Prøveplater

Prøveplater med tykkelse 5 mm og størrelse 20x20 cm ble overflatebehandlet med SVV sitt System 1 (Tabell 1) i henhold til Håndbok R762 Prosesskode 2, prosess 85.3.

Malingsproduktene oppfylte krav stilt i Håndbok R762 og var prekvalifisert.

Prøveplatene ble påført en skade, som ble så reparerte etter reparasjonsprosedyrer gitt i Håndbok R762, prosess 88.48. Halvparten av prøveplatene ble reparert som om Skade A og halvparten som Skade B (se kapittel 3.6.3).

Håndbok R762 stiller spesielle krav til påføring av sinkrik primer, dette er omtalt i kapittel 3.6.3. Den sinkrik primeren skal kun påføres på bart, blåserenset stål. Hvis nødvendig benyttes maskering for å forhindre overmaling av eksisterende belegg med sinkrik primer. Prøveplatene til denne oppgaven ble ikke maskert før påføring av sinkrik primer.

Entreprenør utarbeidet prosedyrer (Lie, 2015a, 2015b) før oppstart og malingsrapporter (Babiak, 2016a, 2016c, 2016b) under og etter utført arbeidet. Her nødvendig data fra utførelsen dokumentert som tidspunkt for påføring, klimatiske forhold, produktnavn, batchnummer, tykkelser og vedheft.

I følge malingsrapporten fra utførende var beleggetykkelse på prøveplatene 363 μm (snitt av 40 målinger) og vedheft på 7,8 MPa (snitt av 6 målinger) før reparasjonene ble utført. De klimatiske forhold var innenfor kravene.

Reparasjonene av Skade A ble gjort både med pensel og sprøyte.

For å kunne velge ut de prøver som egnet seg best til det eksperimentelle forsøket ble det produsert ekstra prøver i forhold til det antall som skulle testes. Prøvene som ble valgt ut for testing var tilsynelatende fri for malingsfeil.

Beleggtykkelsen målt på prøvene som skulle brukes i det elektrokjemiske forsøket.

Beleggtykkelsene er målt i det blåserensede området, da dette er det området med teoretisk minst beleggtykkelse. Målinger utenfor det blåserensede område vil gi høyere verdier ettersom både tykkelse av det gamle belegget og det nye blir målt.

Målt beleggtykkelse er vist i Tabell 3, kravet til tykkelse på belegget som er reparert er for Skade A - 260 μm og Skade B - 285 μm .

Prøvene som er valgt til elektrokjemiske forsøk er vist i Tabell 3 (bilder av prøveplater med testområde er vist i Vedlegg 1).

Tabell 3: Prøver som er valgt ut til elektrokjemiske forsøk

Forsøk nr.	Markering på plate	Blåserensning	Påføring	Skade-type	Første strøk	Forsøk	Beleggtykkelse reparasjon
E1	2.1	Sa 2,5	Pensel	Skade A	Sinkrik primer	Elektrokjemisk forsøk	443,5 μm
E2	3.1	Sa 3	Sprøyte	Skade B	TSZ	Elektrokjemisk forsøk	312,2 μm
E3	6.2	Sa 2.5	Pensel	Skade A	Sinkrik primer	Elektrokjemisk forsøk	387 μm

Prøvene som er valgt ut til mikroskopering er vist i Tabell 4 (bilder av prøveplater er vist i Vedlegg 2).

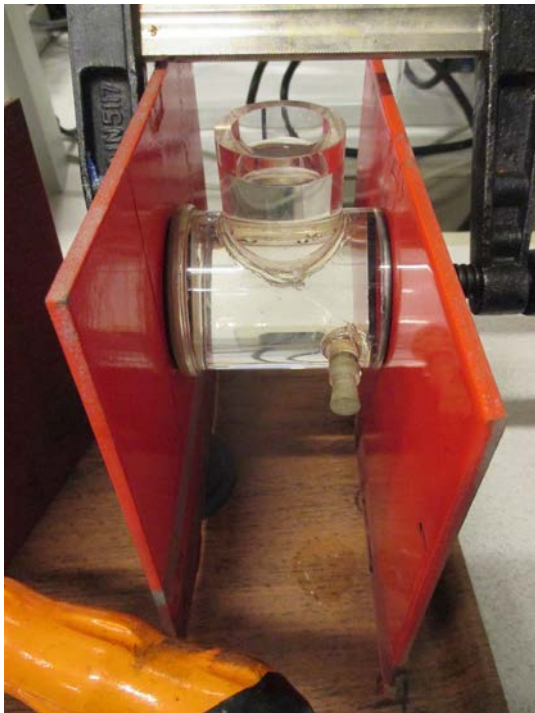
Tabell 4: Prøver som er valgt ut til mikroskopering

Prøve nr.	Markering på plate	Blåserensning	Påføring	Skade-type	Første strøk	Forsøk	Beleggtykkelse
M1	3.2	Sa 3	Sprøyte	Skade B	TSZ	3 prøver til mikroskopering	408-636 μm Snitt 530 μm
M2	2.2	Sa 2.5	Pensel	Skade A	Sinkrik primer	1 prøve til mikroskopering	646 – 735 μm Snitt 685 μm
M3	5.2	Sa 2.5	Sprøyte	Skade A	Sinkrik primer	1 prøve til mikroskopering	480-520 μm Snitt 500 μm
M4	1.1	Sa 2.5	Sprøyte	Skade A	Sinkrik primer	2 prøver til mikroskopering	698-905 μm Snitt 801 μm

4.2 Prøveoppsett elektrokjemiske forsøk

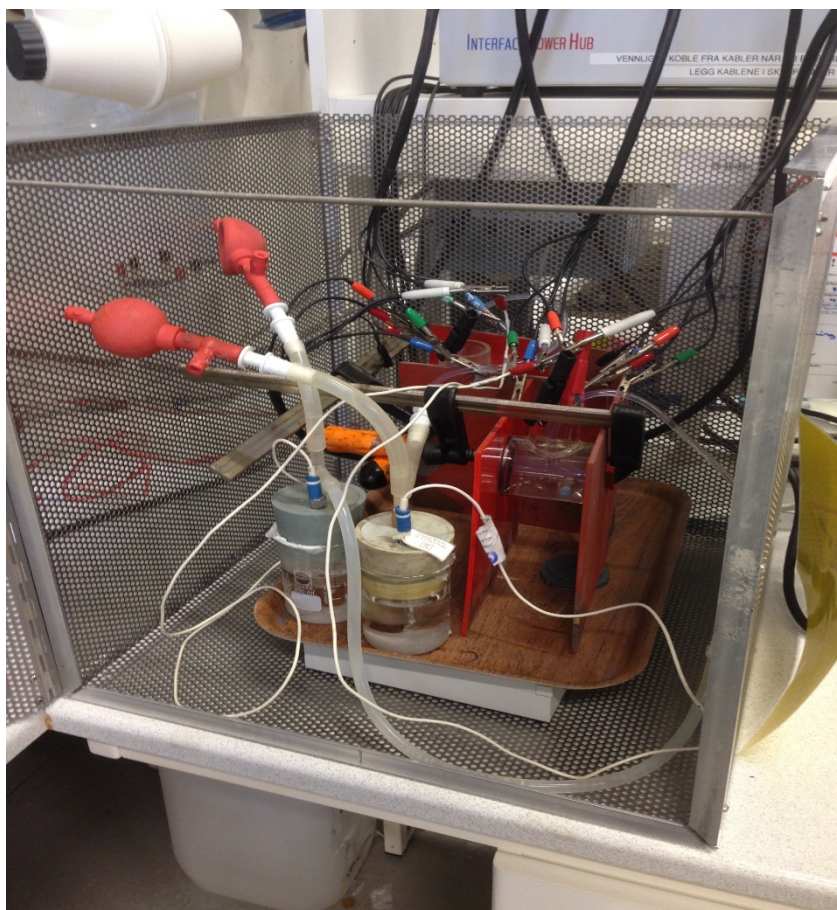
Beleggets motstand mot transport av ioner kan måles med elektrokjemisk impedansspektroskopi (EIS). Elektrisk impedans er forholdet mellom spenning og strøm i en vekselstrømkrets ved en gitt frekvens. Ved EIS polariseres prøven til et potensial, og i tillegg legges det på en svak vekselspenning omkring dette potensialet. Amplituden i vekselspenningen er typisk 10-20 mV. Frekvensen til vekselspenningen varieres så, for malingsprøver typisk fra 100 kHz til 1 mHz, og impedansen måles som funksjon av frekvensen. Ved høy frekvens er strømmen i kretsen stort sett kapazitiv strøm, dvs. at strømmen går med til å lade opp og ut grenseflater som oppfører seg som kondensatorer. Impedansen domineres av motstanden i testelettrolytten. Ved lave frekvenser oppfører strømmen seg mer som likestrøm, og impedansen domineres enten av polarisasjonsmotstand eller elektriske/ioniske motstander i kretsen. Impedansen ved lav frekvens viser derfor motstanden mot transport av ioner gjennom malingsbelegget.

Forsøket ble satt opp med to og to prøveplater mot hverandre med en celle i mellom. Denne inneholdt elektrolytt av simulert sjøvann, 3,5 % NaCl i destillert vann. For å sikre kontakt mellom elektrolytten og stålet stod prøvene eksponert mot elektrolytten i tre dager før målinger ble utført. Oppsette er vist på Figur 4.



Figur 4: Prøveplater klargjort med elektrolytt

Det ble montert arbeidselektrode, motelektrode og en referanseelektrode i cellen, et klassisk tre-elektrode oppsett. Prøvene fungerte som arbeidselektrode, motelektroden var av platina og referanseelektroden var plassert tett ved siden av prøven. Mettet kalomel ble benyttet som referanse. For at ikke målingene skulle bli forstyrret av induerte strømmer og annen støy, ble prøvene plassert i et Faradaykammer. Oppsette er vist på Figur 5.



Figur 5: Oppsett for elektrokjemiske forsøk

Hver av prøveplatene var koblet opp mot en Gamry Interface 1000 Potensiostat. Frekvensen ble sveipet fra 100 kHz til 1 mHz. Eksponert område var til 1 cm². Prøven ble polarisert til -1,2 V mot SCE og amplituden var 20 mV omkring dette potensialet.

4.3 Klargjøring av prøver – Mikroskopering

For å kunne studere et belegget etter flekkvedlikehold, ble det skåret ut prøver, som vist på Figur 6. Disse ble støpt inn i epoksy og slipt gjentatte ganger med gradvis finere slipepapir for å få en slett overflate. Et snitt av belegget ble så studert ved hjelp av mikroskop. Bilde av prøveplater med markering hvor prøvene er hentet fra kan sees i Vedlegg 2.



Figur 6: Markering av prøver og prøver støpt i epoksy til mikroskopering

Fire problemstillinger ble undersøkt nærmere:

1. Prosessen med blåserensing kan skade et større område, enn det som skal blåserenses.

Skadeskutte områder utover selve området som skal blåserenses, kan risikere å ikke bli overflatebehandlet korrekt. Dette gjelder både randsoner og områder som blir truffet på grunn av uforsiktighet under blåserensing, vist på Figur 7. Maling vil kunne ha problemer med å trekke ned i gropene i de skadeskutte områder og luftlommer kan oppstå.



Figur 7: Prøveplater etter blåserensing

2. Blåserensing «stresser» underlaget. Belegget løsner fra underlaget, men forsvinner ikke.

I randsonene av områdene som er blåserenset vil det være belegg som løsner, men ikke blir fjernet helt. Når dette blir overmalt, vil systemet ikke ha vedheft og det vil dannes luftlommer.

3. Metallisere over eksisterende maling gir dårlig vedheft.

Det er vanskelig å begrenset metallisering til kun blåserenset stål. Flere parametere, blant annet sprøyteavstand er med å bestemme kvaliteten på det metalliserte belegget. Siden metalliseringsutstyret har en gitt spredning under påføring og det skal påføres helt ut i randsonen mellom blåserenset flate og eksisterende belegg, vil det være umulig å ikke metallisere oppå gammelt belegg, se Figur 8.



Figur 8: Prøveplater etter metallisering

4. Sinkrik primer over maling, dårlig vedheft.

Prinsippet er det samme som for metallisering. Sinkrik primer skal påføres helt ut i randsonen mellom blåserenset flate og eksisterende belegg, det vil det være vanskelig å ikke male oppå gammelt belegg, se Figur 9. Dette gjelder både med sprøyte og med pensel.



Figur 9: Prøveplater malt med sinkrik primer

5 Resultater

5.1 Resultater fra elektrokjemisk testing av belegg

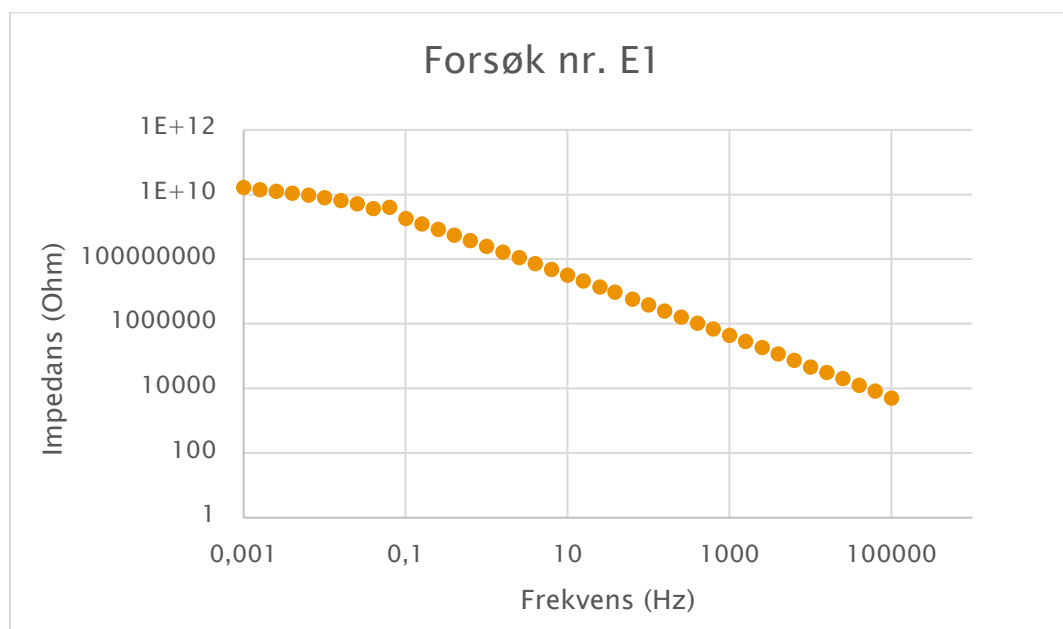
Resultatene fra impedansmålingene er presentert under. I grafene er impedans plottet mot frekvens. Ved lave frekvenser oppfører strømmen seg mer som likestrøm, og impedansen domineres enten av polarisasjonsmotstand eller elektriske/ioniske motstander i kretsen. Impedansen ved lav frekvens viser derfor motstanden mot transport av ioner gjennom malingsbelegget. Som presentert i kapittel 3.5 er belegg med motstand mot transport av ioner målt over $10^9 \text{ Ohm}\cdot\text{cm}^2$ ansett som tette og beskyttende mot korrosjon.

5.1.1 Forsøk nr. E1

Forsøk nr.	Markering på plate	Blåserensning	Påføring	Skade-type	Første strøk	Forsøk	Beleggtkjelse reparasjon
E1	2.1	Sa 2,5	Pensel	Skade A	Sinkrik primer	Elektrokjemisk forsøk	443,5 μm

Figur 10 viser målingene gjort på forsøk nr. E1 viser en målt motstand mot transport av ioner på over 10^{10} Ohm* cm^2 . Dette viser at belegget har nødvendig motstand mot transport av ioner og er ansett som tett og beskyttende.

Beskrevet tykkelse på reparasjonsbelegget for Skade A er $260 \mu\text{m}$, mens gjennomsnittstykkelsen på belegget i forsøk E1 var på $443.5 \mu\text{m}$. Det vil si en overtykkelse på 67%. Dette er overtykkelser utover det en kan forvente.



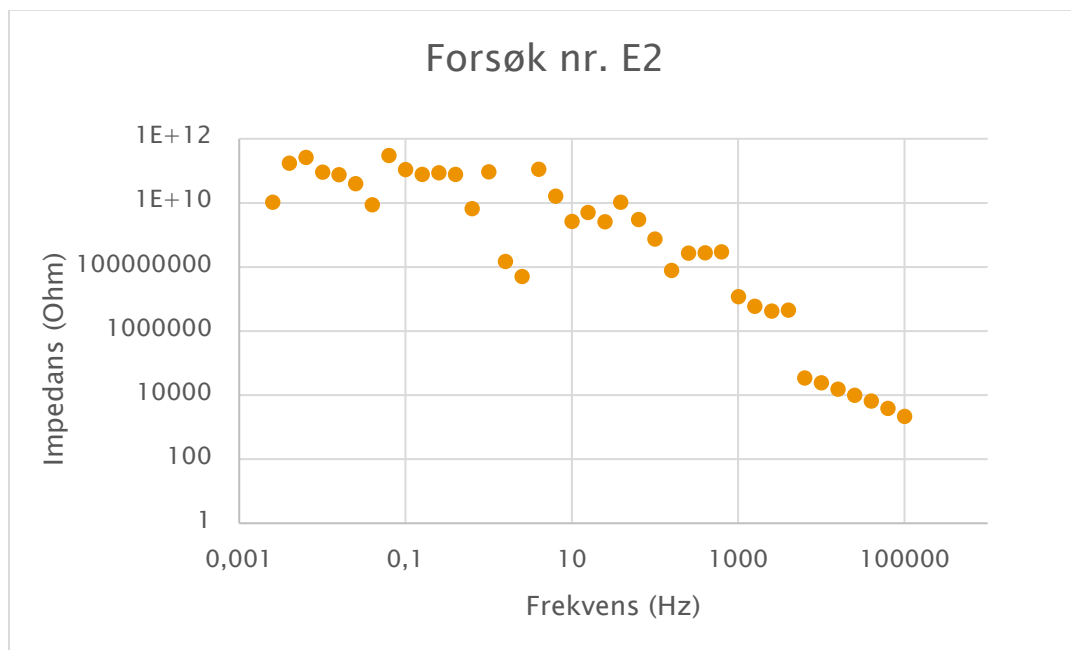
Figur 10: Forsøk nr. E1 – Impedans plottet mot frekvens

5.1.2 Forsøk nr. E2

Forsøk nr.	Markering på plate	Blåserensning	Påføring	Skade-type	Første strøk	Forsøk	Beleggtykkelse reparasjon
E2	3.1	Sa 3	Sprøyte	Skade B	TSZ	Elektrokjemisk forsøk	312,2 µm

Figur 11 viser målingene gjort på forsøk nr. E2 viser en målt motstand mot transport av ioner på over 10^{10} Ohm*cm². Dette viser at belegget har nødvendig motstand mot transport av ioner og er ansett som tett og beskyttende. Det er registrert noen forstyrrelser underveis i loggingen, men kurven viser en helt klar tendens.

Beskrevet minimumstykkelse på reparasjonsbelegget for Skade B er 285 µm, mens gjennomsnittstykkelsen på belegget i forsøk E2 var på 312,2 µm. Det vil si en overtykkelse på ca. 10%. Dette er innenfor en variasjon en kan forvente.



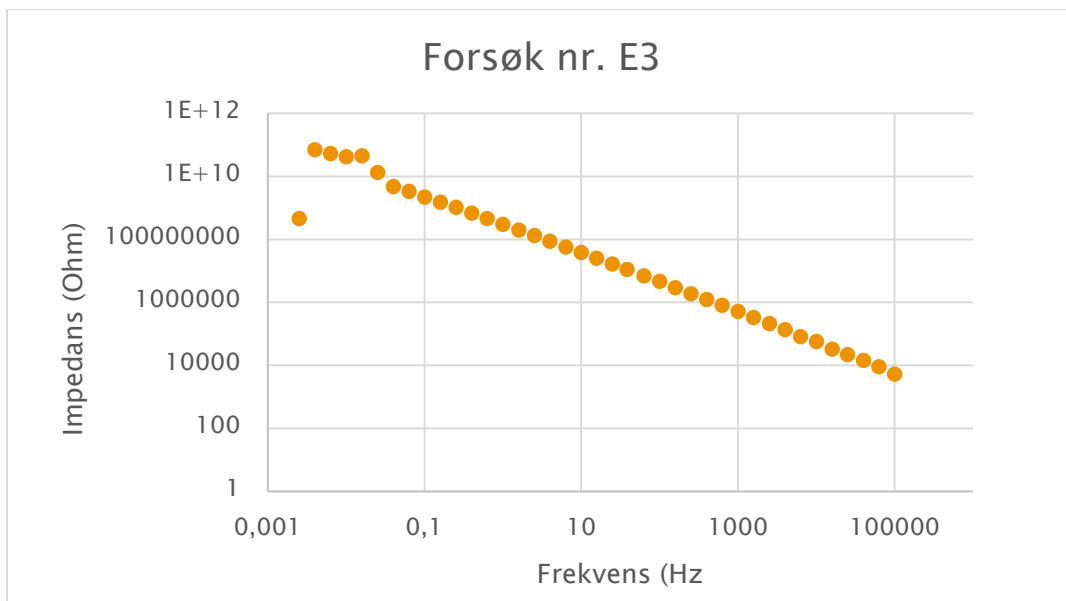
Figur 11: Forsøk nr. E2 – Impedans plottet mot frekvens

5.1.3 Forsøk nr. E3

Forsøk nr.	Markering på plate	Blåserensning	Påføring	Skade-type	Første strøk	Forsøk	Beleggtykkelse reparasjon
E3	6.2	Sa 2.5	Pensel	Skade A	Sinkrik primer	Elektrokjemisk forsøk	387 μm

Figur 12 viser målingene gjort på forsøk nr. E3 viser en målt motstand mot transport av ioner er på over 10^{11} Ohm* cm^2 . Dette viser at belegget har nødvendig motstand mot transport av ioner og er ansett som tett og beskyttende. Det er registrert noen forstyrrelser mot slutten av loggingen, men kurven viser en helt klar tendens.

Beskrevet minimums-tykkelse på reparasjonsbelegget for Skade A er 260 μm , mens gjennomsnittstykkelsen på belegget i forsøk E2 var på 387 μm . Det vil si en overtykkelse på ca. 49%. Dette er overtykkelser utover det en kan forvente.



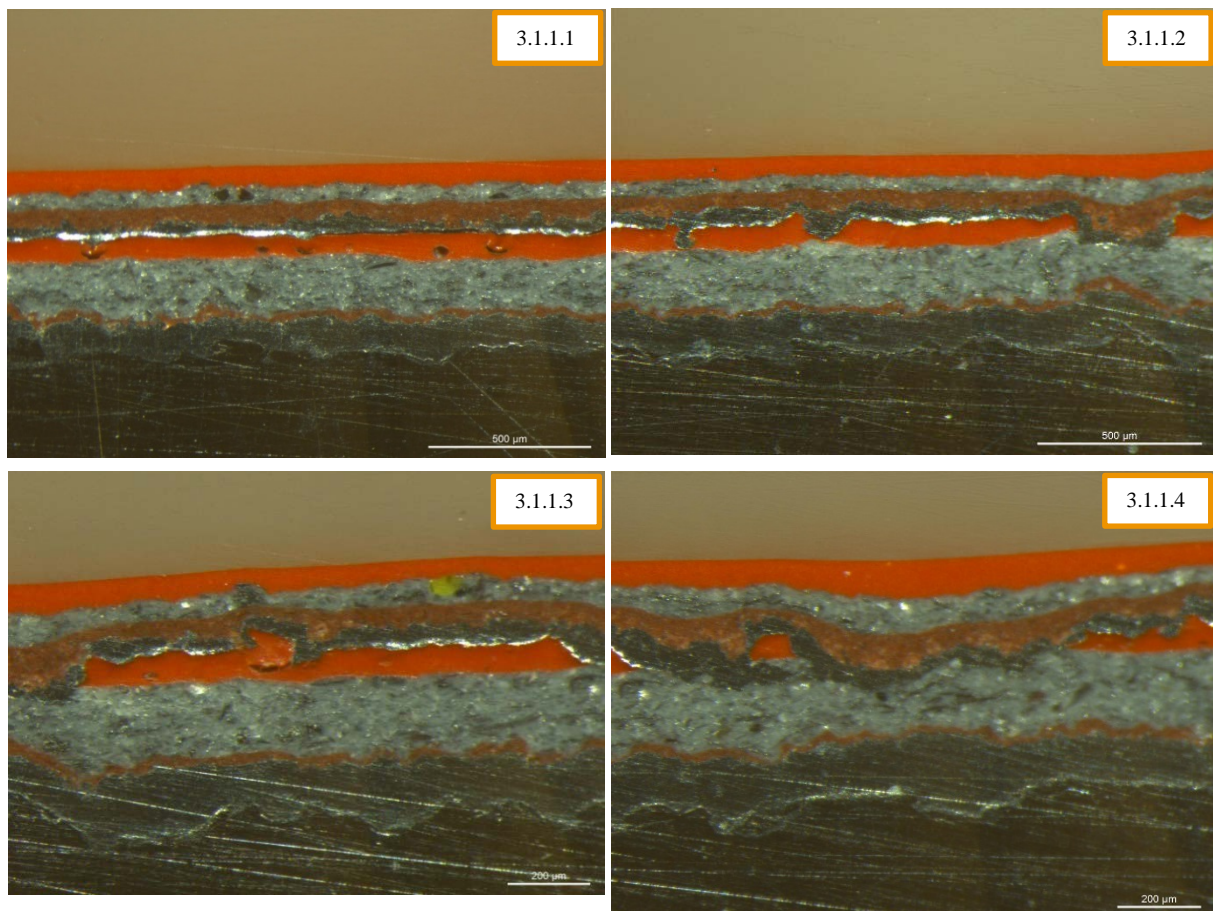
Figur 12: Forsøk nr. E3 – Impedans plottet mot frekvens

5.2 Resultater fra mikroskopering

5.2.1 Prøve M1

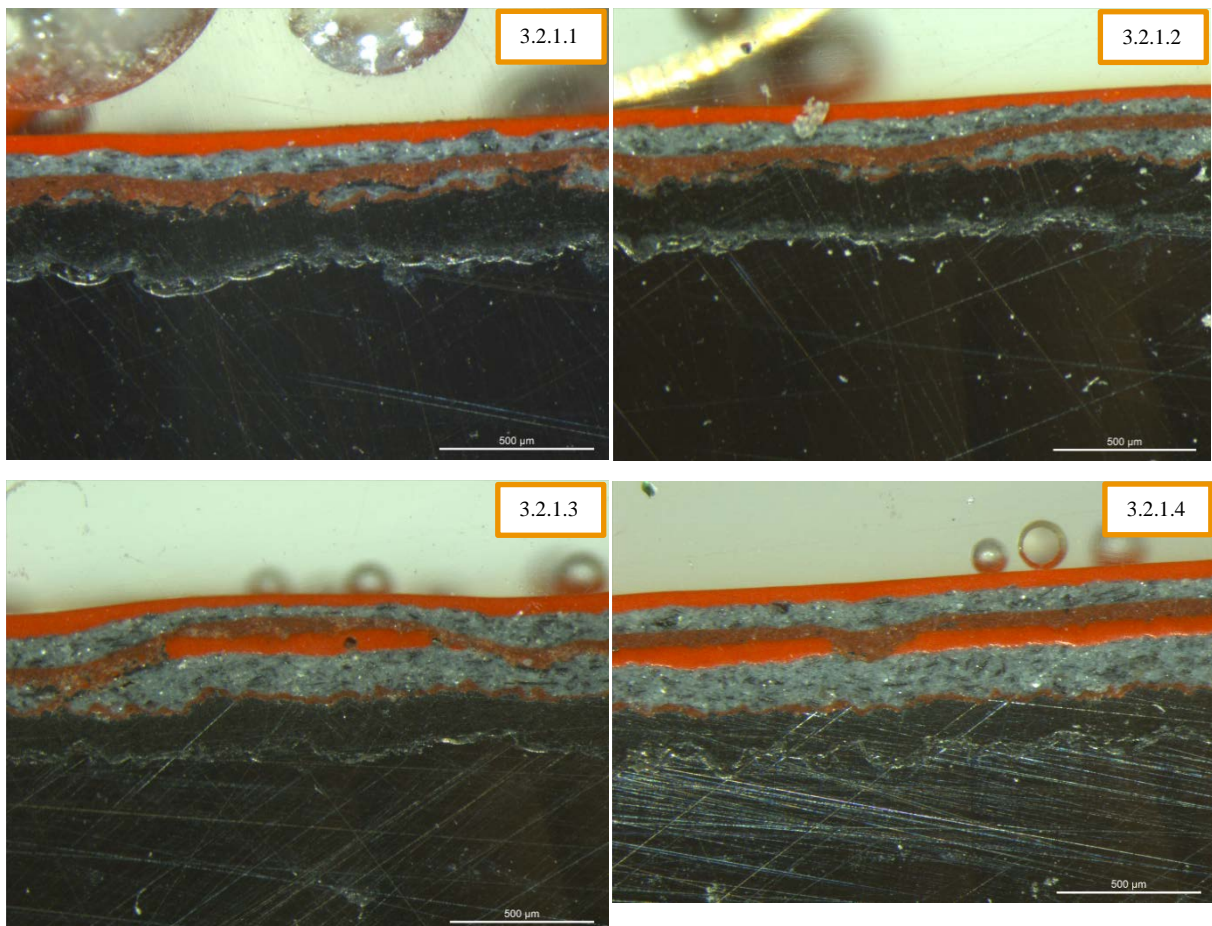
Figur 13 viser Prøve M1 som ble behandlet som en Skade B (se kapittel 3.6.3).

Den viser et området utenfor selve reparasjonsområdet som er skadet av blåserensing. En kan tydelig se større og mindre områder som er skadet, hvor opprinnelig toppstrøk og deler av epoksymastik laget er fjernet. Ingen av skadene her går helt til metalliseringen. Det er lagt et tynt lag med metallisert sink på det gamle belegget. Overraskende nok ser det ut som om metalliseringen har fylt opp gropene etter skadene fra blåserensingen. Den nye malingen ser også ut til å følge metalliseringen og trekke godt ned i de skadete områdene. Gjennomsnitt tykkelse på belegget er 560 μm . Skaden gjennom toppstrøket til høyre på bilde 3.2.2.2 er ca. 300 μm , skaden til venstre på samme bildet er ca. 45 μm .



Figur 13: Prøve M1 – markering 3.1.1 Flekkvedlikeholdt som Skade B

Figur 14 er også fra Prøve M1 og er fra andre siden av reparasjonsområdet. På bilde 3.2.1.1 og 3.2.1.2 kan en se at nesten alt belegg er fjernet ned til metalliseringen, før det er lagt nytt belegg over. Her ser det ikke ut til å være lagt metallisering over gammelt belegg. En kan skimte rester av gammel epoksyforsegler og epoksymastik i det blåserensede området. Gjennomsnitt tykkelse på belegget er 476 μm .

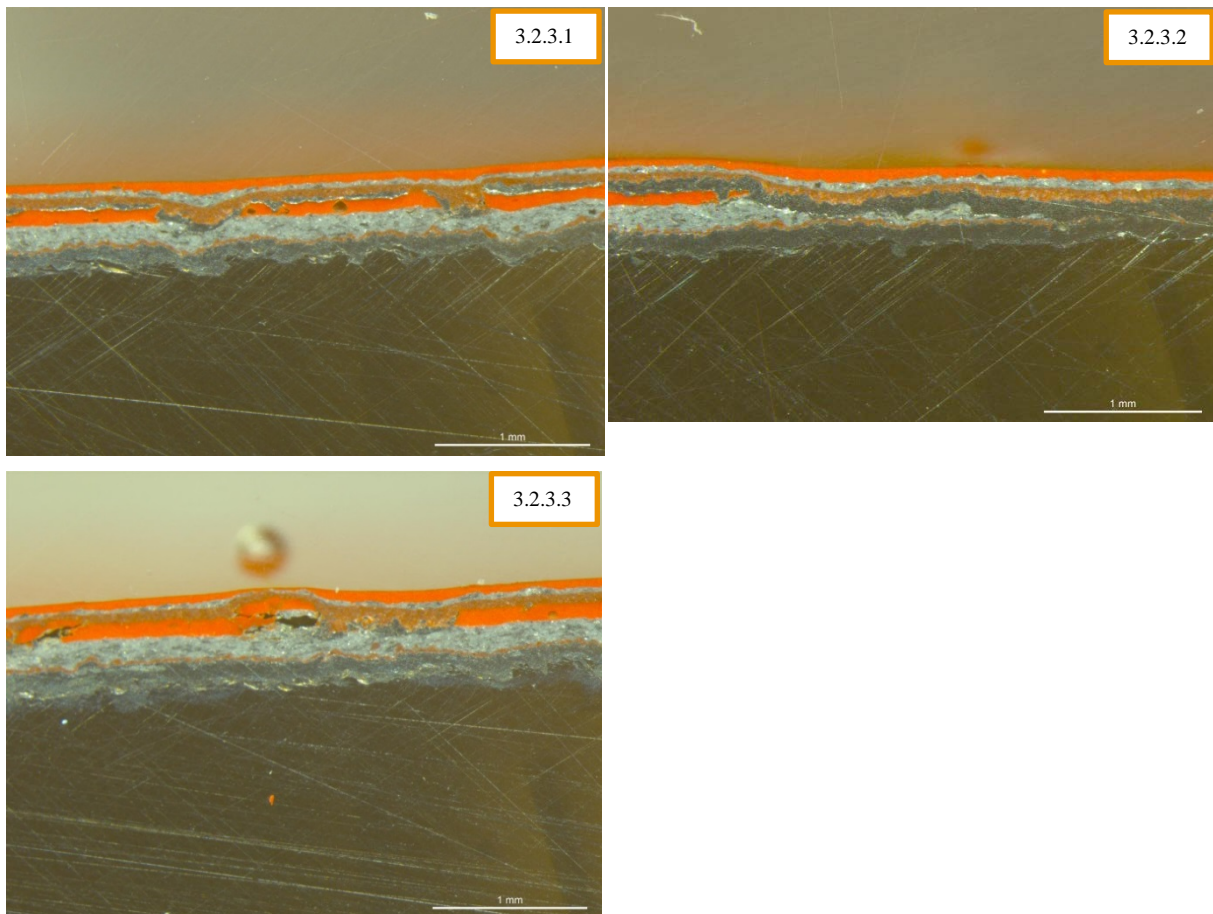


Figur 14: Prøve M1 – markering 3.2.1 Flekkvedlikeholdt som Skade B

Figur 15 er fra Prøve M1, denne prøven kommer fra randsonen av blåserenset område. Overgangen er tydelig fra høyre mot venstre på bilde 3.2.1.2 og 3.2.3.1. På høyre side av bilde 3.2.1.2 er det blåst til metallisering og ny metallisering er lagt oppå. Vider kan en se at metalliseringen som er lagt på gammelt belegg avtar i tykkelse.

På bilde 3.2.3.3 kan en se to luftlommer hvor skadeskutt belegg ikke har falt av.

Gjennomsnitt tykkelse på belegget er 551 μm . Høyre side av bilde 3.2.1.2 er beleggetykkelsen 408 μm .



Figur 15: Prøve M1 – markering 3.2.3 Flekkvedlikeholdt som Skade B

5.2.2 Prøve M2

Figur 16 viser Prøve M2 som ble behandlet som en Skade A (se kapittel 3.6.3).

Opprinnelig metallisering er inntakt på alle fire bildene, dette viser at prøven er tatt utenfor reparert område.

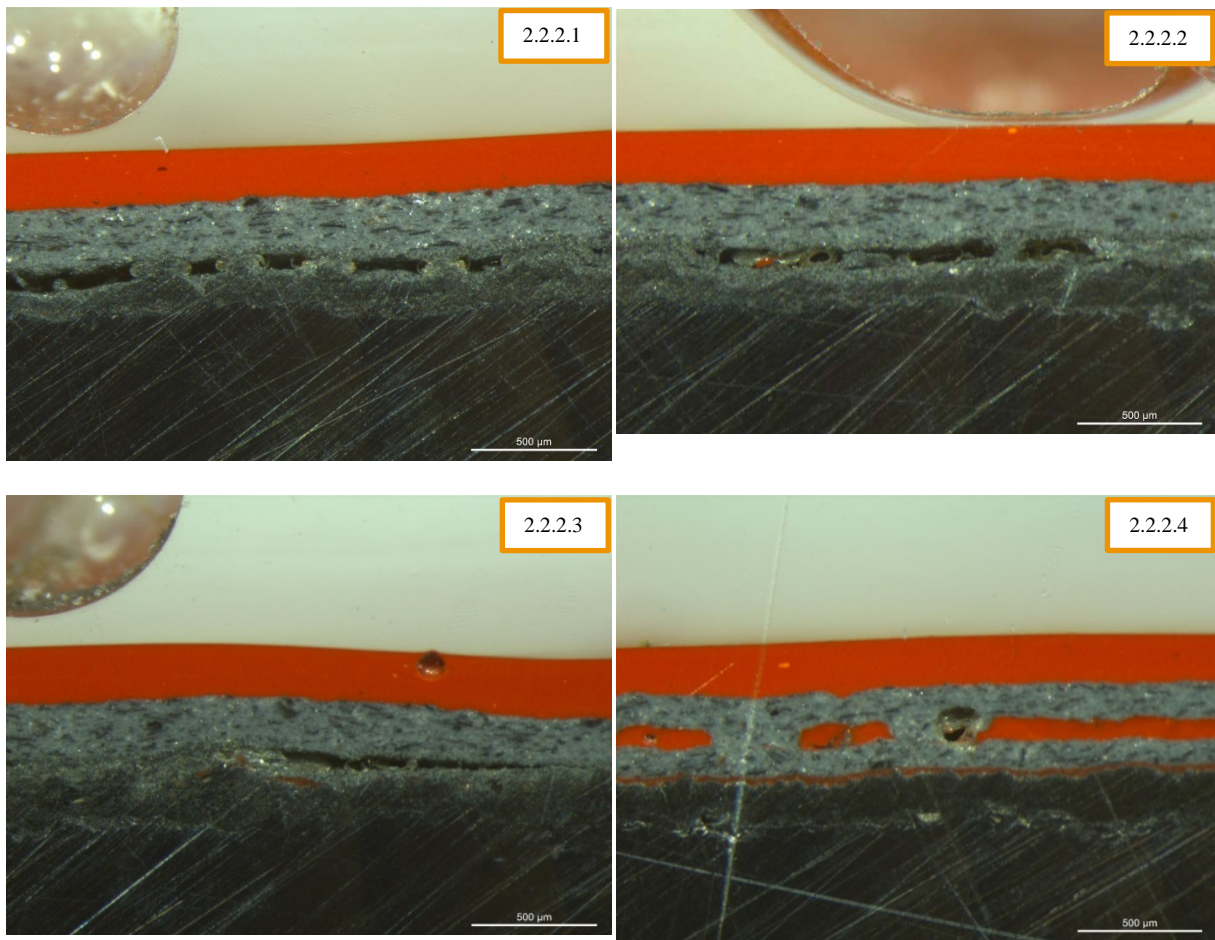
På bilde 2.2.2.4 kan en se blåseskader hvor den nye malingen ser ut til å trekke godt ned i de skadde områdene. Her er vi så langt utenfor reparasjonsområdet at det er ikke malt med sinkrik epoksy, men kun epoksymastik og polyueretan.

På de tre andre bildene kan det observeres kohesivt brudd i den sinkrike primeren. Bruddet kan med stor sannsynlighet ha oppstått under klagjøring av prøven, enten under kutting, eller sliping.

Det er ikke mulig å se forseglere som skulle vært lagt oppå den sinkrike primeren på noen av bildene.

En pore er synlig i epoksymastik på bilde 2.2.2.4 og toppstrøket på bilde 2.2.2.3.

Gjennomsnitt tykkelse på belegget er 685 μm , toppstrøket er lagt i en tykkelse på 205 μm .



Figur 16: Prøve M2 – markering 2.2.2 Flekkvedlikeholdt som Skade A

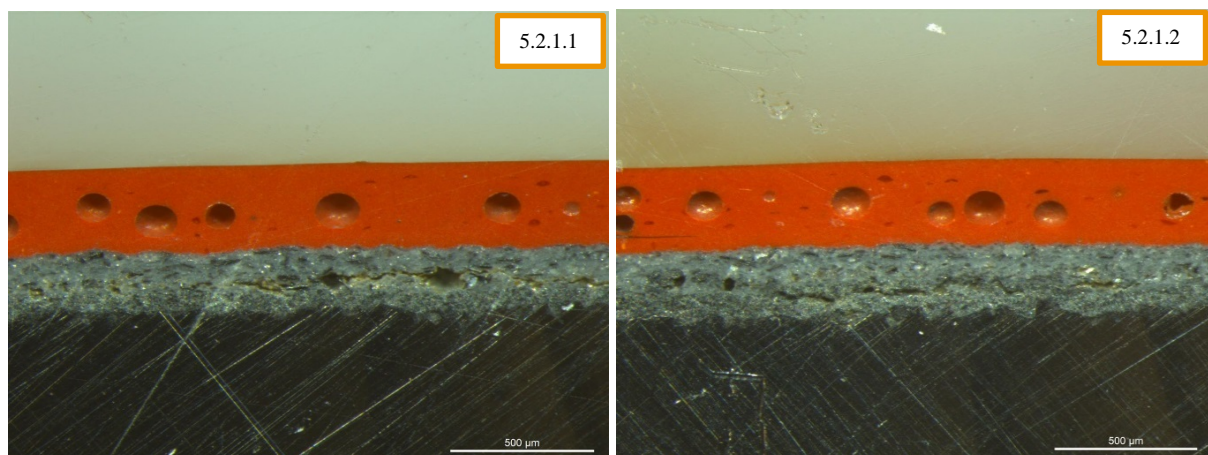
5.2.3 Prøve M3

Figur 17 viser Prøve M3 som ble behandlet som en Skade A (se kapittel 3.6.3).

På denne prøven er all metalliseringen blåst vekk og den sinkrike primeren er lagt rett på stålet. Forsegleren som skulle vært lagt oppå den sinkrike primeren er ikke synlig på bildene.

Også på denne prøven observeres det brudd i den sinkrike primer. Bruddet kan med stor sannsynlighet ha oppstått under klagjøring av prøven, enten under kutting, eller sliping.

Gjennomsnitt tykkelse på belegget er 500 μm . Toppstrøket er lagt så tykt (250 μm) at det har oppstått hulrom i malingen. Det største hulrommet måler 105 μm .



Figur 17: Prøve M3 – markering 5.2.1 Flekkvedlikeholdt som Skade A

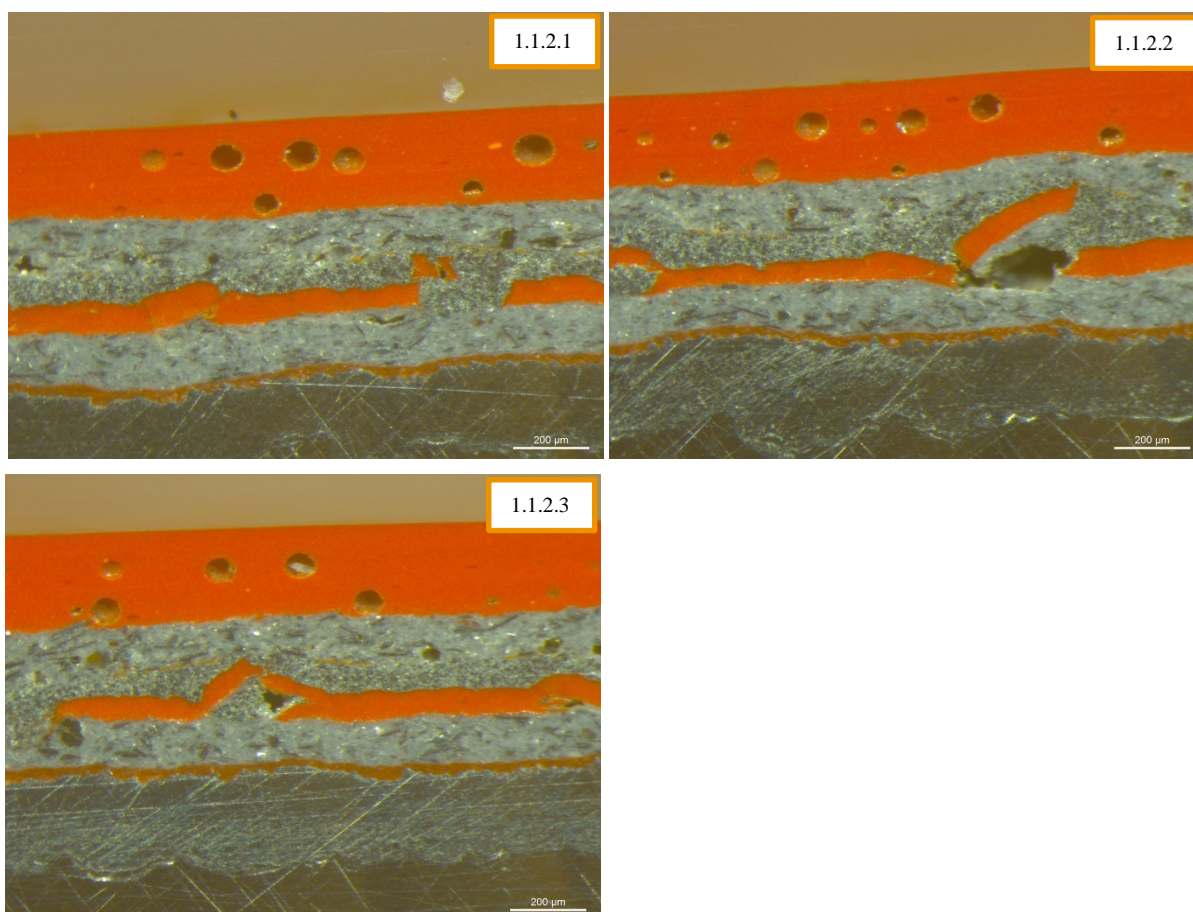
5.2.4 Prøve M4

Figur 18 og Figur 19 viser Prøve M4 som ble behandlet som en Skade A (se kapittel 3.6.3).

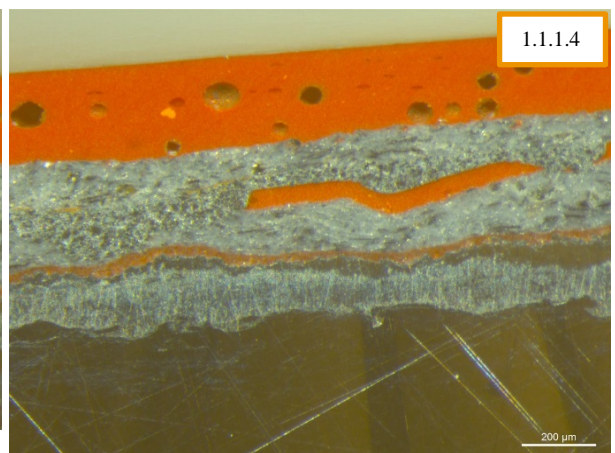
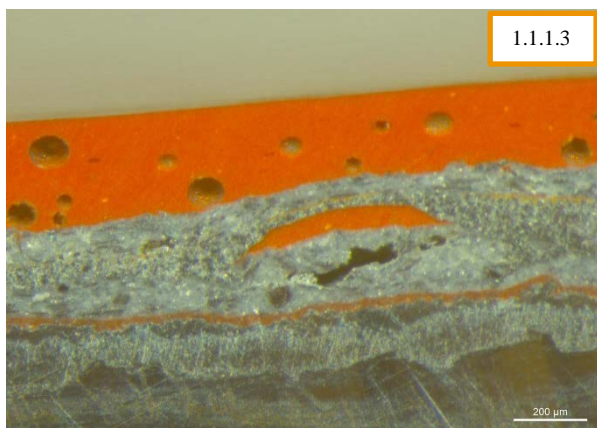
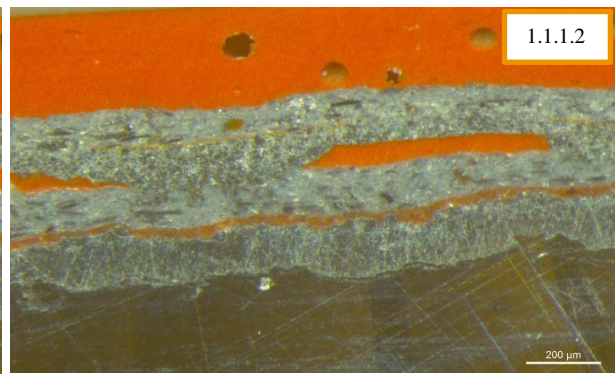
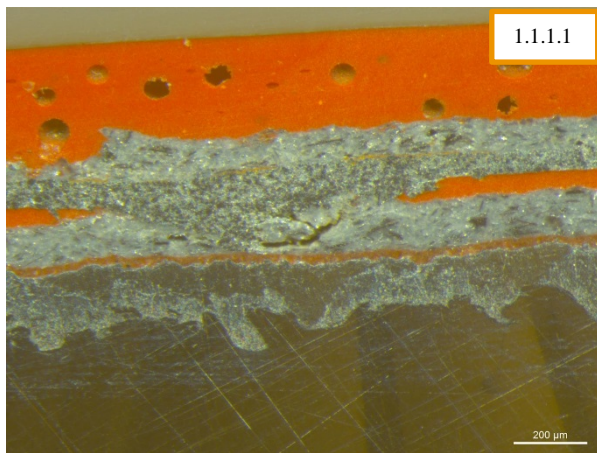
Bildene viser områder som er skadet etter blåserensing. På prøve 1.1.2.1 / 1.1.2.3 / 1.1.1.1 / 1.1.1.3 kan en se at det gamle belegget har løsnet, men ikke falt av. Overmalingen med nytt belegg har kapslet inne det løse belegget med luftflommer. Den sinkrike forsegleren ser ut til å ha trukket godt ned i de resterende områdene med skader.

Figur 18, bilde 1.1.1.1 viser en blåseskade til opprinnelig forsegler med en størrelse på 857 μm .

Gjennomsnitt tykkelse på belegget er 900 μm . Toppstrøket har blitt lagt så tykt (200-300 μm) at det har oppstått hulrom.



Figur 18: Prøve M4 – markering 1.1.2 Flekkvedlikeholdt som Skade A



Figur 19: Prøve M4 – markering 1.1.1 Flekkvedlikeholdt som Skade A

6 Feltundersøkelser

6.1 Erfaringer fra bruer som er vedlikeholdt.

For å samle erfaringer fra flekkvedlikehold gjort på SVV sine konstruksjoner er det plukket ut åtte bruer, noen er vedlikeholdt, mens andre er tatt med som referanser. Disse bruene er vist i Tabell 5. Dokumentasjon fra byggefase og fra vedlikehold har vært analysert, men det har vært vanskelig å oppdrive dokumentasjon fra noen av de eldre, mindre bruene. Dette gjelder både fra opprinnelig overflatebehandling og fra reparasjoner som er gjort i ettertid.

Ressurspersoner har derfor vært førstehåndkilder til informasjon om disse bruene. Disse har vært representanter både fra byggherremiljøet og fra entreprenørebansjen. Bruene er valgt med bakgrunn i tilgjengelighet, tilgjengelig informasjon og relevans til oppgaven. Bruene er befart for å få førstehånds informasjon om tilstand på overflatebehandlingen. Det er brukt brulift som gir tilgang til undersiden av bruer, de steder det har vært nødvendig.

Det er hovedsakelig utført visuell inspeksjon. Der belegtykkelse er målt, er det brukt en Positector 6000 med FNDS probe kalibrert på glatt flate. FNDS probe gir mulighet til å skille mellom sink og maling i et duplekssystem. Totaltykkelsen som blir målt av instrumentet er nøyaktig, men porøsiteten til metallisert sink kan gi et noe skjevt utslag i fordelingen mellom sink og maling. I og med at FNDS proben kan skille mellom sink og maling er det derfor også mulig å identifisere områder med og uten metallisering. Filmtykkelser er referert i denne oppgaven som totaltykkelser på belegg.

Tabell 5: Liste over befarte bruer

Navn	Brutype	Klima	Inspeksjonsmetode	Moh	Åpnet	Vedlikeholdt
Bergsøysundbrua	Flytebru	Kyststrøk, plaskesone	Visuell fra gangbane på rørkonstruksjon	5	1992	1997 -2014
Nordhordlandsbruen	Flytebru kasse	Kyststrøk, plaskesone	Visuell. Viadukt fra stillas, kassebærer fra pongtong og båt.	5	1994	2016 - Pågåar
Brandasund	Bjelkeplate	Værhardt Kyststrøk	Visuell. Brulift	24	1991	Ikke vedlikeholdt
Djupasund	Bjelkeplate	Værhardt Kyststrøk	Visuell. Brulift	20	1990	Ikke vedlikeholdt
Klubbasund	Bjelkeplate	Værhardt Kyststrøk	Visuell. Brulift	20	1990	1995
Bukholmstraumen	Bjelkeplate	Værhardt Kyststrøk	Visuell. Brulift	17	1988	1. gang ukjent + 2012-2013
Lauvøystraumen	Bjelkeplate	Værhardt Kyststrøk	Visuell. Brulift	8	1990	2012-2013
Osterøybruen	Hengebru kasse	Indre kyststrøk	Visuell. Brulift	58	1997	Ikke vedlikeholdt

Håndbok V440 Bruregistrering (Statens vegvesen, 2014c) deler klimasone /miljø som bruer er eksponert for inn i 4 klimasoner. Disse er ikke direkte overførbare til ISO 12944-2 (ISO, 1998), men Tabell 6 gir en naturlig sammenligning.

Tabell 6: Sammenligning av SVV sine klimasoner og ISO 12944-2 Klassifisering av miljø

SVV klimasone	ISO 12944-2 Klassifisering av miljø
Innland benyttes for områder uten saltvannseksponering	C2 lav Hovedsakelig land-atmosfære
Indre kyststrøk Brukes for saltvannseksponerte steder på Sør-Vestlandet og i Sør-Norge som er godt skjermet, f.eks. ved Oslofjorden og i indre fjordstrøk på Vestlandet	C3 middels Kyststrøk med lavt saltinnhold
Kyststrøk Benyttes for værutsatte kystområder med noe skjerming i landskapet, f.eks. kyststrøk på Sør-Vestlandet og Sørlandet	C4 høy Kyststrøk med moderat saltinnhold
Værharde kyststrøk Brukes kun for steder med ekstreme kystværforhold, for eksempel ytre kyststrøk i Nord-Norge og Nord-Vestlandet	C5-M meget høy (marin) Kyst-og havstrøk med høyt saltinnhold

6.2 Bergsøysundbrua



Figur 20: Bergsøysundbrua, oversiktsbilde (foto: Brutus)

Bergsøysundbrua, vist på Figur 20, er den første flytebruen i sitt slag som ble bygget i Norge. Flytebruen består av pongtonger av lettbetong, rørfagverk og kjøredekk med trapesprofiler i stål. Bruen ble åpnet i 1992.

Den ligger i kyststrøk ifølge SVV sin klassifisering, noe tilsvarer korrosjonsklasse C4 i henhold til ISO 12944-2 (se Tabell 6). Bruen ligger i skvalpesonen, 5 meter over havet. Bruen ble overflatebehandlet med et system som avvek fra datidens System 1 (1977), dupleks-systemet. System 1 bestod av 100 μm metallisering, 10 μm washprimer og fire lag med alkyd/klorkautsjukmaling 40-50 μm (spes. nr. 115/116/117/118) (se kapittel 3.2). På Bergsøysundbrua var det et ønske om en lysere blåfarge på toppstrøket.

Alkyd/klorkautsjukmaling ble kun levert i mørkere farger på toppstrøket på grunn av den tilsatte jernglimneren. Spes. nr. 118 ble derfor byttet ut med ett toppstrøk av en silikonmodifisert alkydmaling. Totalt beskrevet tykkelse på overflatebehandling var 270 μm .

Det er laget flere inspeksjonsrapporter fra Bergsøysundbruen. De tre første fra 2003, 2008 og 2009 ble laget av Teknologisk Institutt as. Bakgrunnen var å få en nærmere beskrivelse av tilstanden på malingsystemet, skader, skadeårsaker og forslag til reparasjonsprosedyre.

Det ble videre laget en prosedyre for totalrehabilitering av Force Technology i 2011 (Scheie, 2011). Denne prosedyren ble seinere fulgt opp med 9 rapporter fra utførelsen og 1 oppsummeringsrapport for arbeidet som gikk fra 2011 til 2013, også disse er utarbeidet av Force Technology.

Det har ikke vært mulig å oppdrive noen rapporter fra den opprinnelige overflatebehandlingen gjort i 1992.

Bruen ble første gang vedlikeholdt i 1997 bare fem år etter ferdigstilling (Scheie, 2003). Før Mesta As ble skilt ut fra SVV i 2003, ble bruens vedlikeholdt av SVV sin produksjonsavdeling. Vedlikeholdet den gang omfattet maling med epoksymastik og et toppstrøk av silikonmodifisert alkyd. Det er uvisst hvilken forbehandling som ble utført og hvilken type skader som ble reparert, men ut ifra seinere skadebilder kan man anta at det var gjennomslag av hvitrust fra sink som var hovedproblemet. Flickingen ble utført fra brulift.

Teknologisk Institutt as skriver i sin rapport fra 2003 at:

«Det kan være flere tenkelige forhold som har innvirket og medført at det lokalt har oppstått dannelse av hvite korrosjonsprodukter på Bergsøysundbrua. Under sprøyting av malingen kan det lokalt ha vært dannet områder hvor malingen kanskje ikke er optimal. Dette kan være områder med høy ruhet etter termisk sprøyting, lav tørrfilmtykkelse, sprøytefeil, eller porer m.m. i malingen. Slike områder kan virke som svake punkter, og korrosjonsangrep kan initieres herfra.»

Rapporten viste at tykkelser på overflatebehandlingen på bruens varierte, men det var ingen direkte sammenheng mellom de observerte skadene og de målte filmtykkelsene. Gittersnitt-test viste god vedheft. Det korrosive miljøet ble dratt frem som en forklaring på den raske degraderingen.

Den andre runden med vedlikehold ble gjort i 2002, 10 år etter ferdigstilling. Den gang ble halve bruens vedlikeholdt, slipt og flicket med epoksymastik uten noe toppstrøk vist på Figur 21. Arbeidet med flekkvedlikehold ble utført fra brulift.



Figur 21: Bergsøysundbrua, flekkvedlikeholdt med epoksymastik i 2002. (Foto: Jan Scheie)

Sommeren 2008 ble ca. 20 % av bruen vasket og områder med skader reparert. Skadene ble slipt og flikket opp med epoksymastik og et toppstrøk med silikonmodifisert alkyd. Arbeidet ble også denne gangen utført fra brulift. Denne gangen ble arbeidet utført av entreprenøren som hadde den generelle bruvedlikeholds kontrakten i Region midt. Teknologisk Institutt befarte bruen i november samme år og utarbeidet en rapport der det ble konkludert at toppstrøket ikke hadde god nok vedheft til epoksymastik og anbefalte en ny type toppstrøk (Stræte, 2008a). Det ble i denne rapporten (som i den forrige) pekt på det korrosive miljøet som bruen ligger i og det ble diskutert videre om diffusjon kunne være årsaken, da det var utslag av sinksalter på tilsynelatende uskadet overflate.

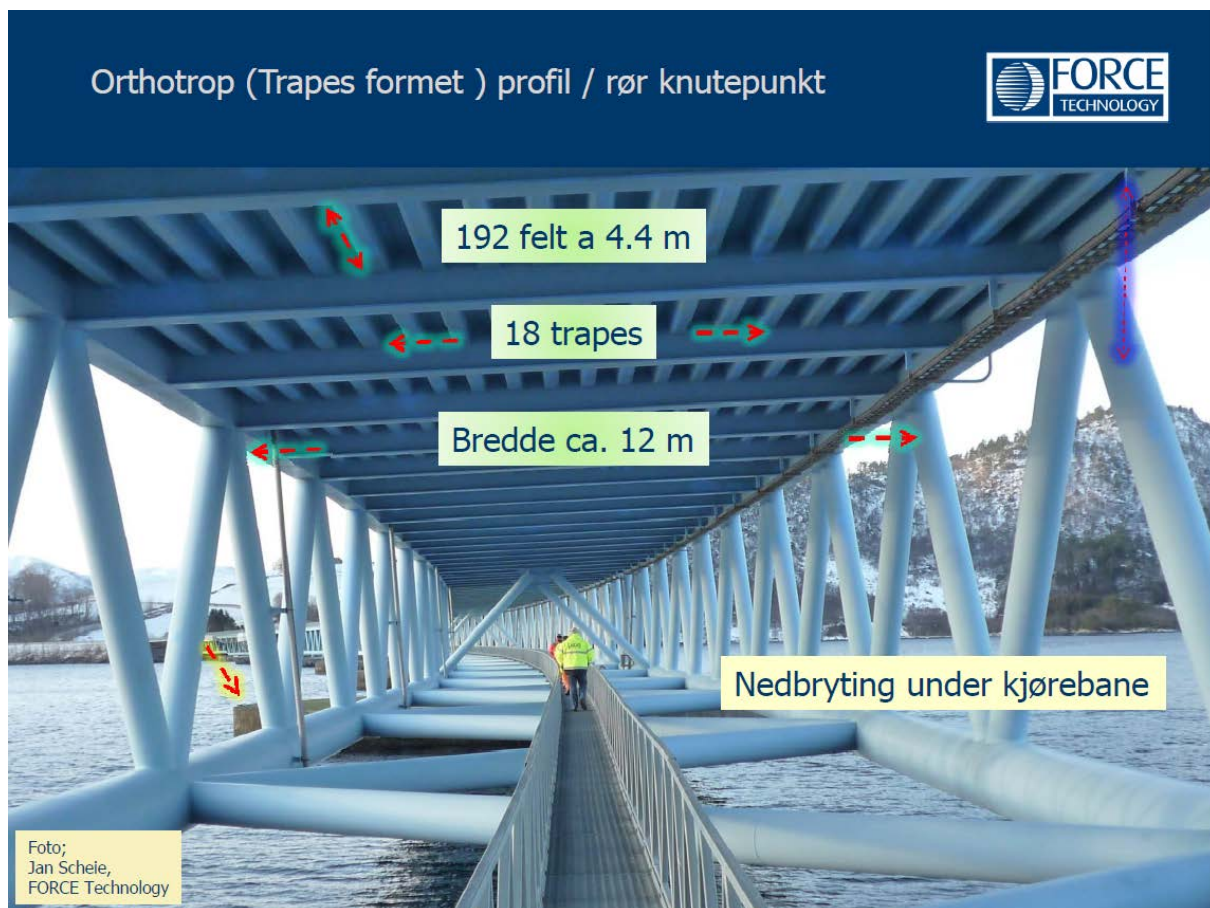
Med bakgrunn i at det prosentvise flikkarealet var så stort ble det anbefalt en full utbedring av overflaten, bare 16 år etter ferdigstilling. SVV besluttet etter denne rapporten å totalrehabiliterer bruen. Teknologisk Institutt ble bedt om å komme med forslag til prosedyre.

Bruen hadde i 2009 vært vedlikeholdt i tre omganger. Om tidligere utført vedlikehold var det skrevet i rapporten fra 2009 (Stræte, 2009): «Vi har ingen dokumentasjon på overflatebehandlingens historie, men vi observerer følgende: Noe sig på vertikale flater. Svært sporadisk og trolig lite forbehandling på flikk, som ble utført for noen år siden. Områder som var slipt var ikke nullet ut. Flere fargenyanser på toppstrøk. Manglende toppstrøk».

I 2009 ble prosedyrer laget av Teknologisk Institutt (Stræte, 2009), hvor prosedyre 1, var å reparere skader til stål, som en Skade B (se kapittel 3.6.3) pluss forsterking av hele overflaten

med epoksymastik og toppstrøk av polyuretan. Prosedyre 2 bestod av å forsterke eksisterende belegget med epoksymastik og polyuretan. Det eksisterende belegget med silikonmodifisert alkyd skulle vaskes med alkalisk vaskemiddel. Det ble også laget et Tec. Memo i 2011 med beskrivelse av arbeidet (Scheie, 2011).

Arbeidet med å totalrehabiliterer startet i 2011, 19 år etter åpning. Det var på dette tidspunktet gjort noen endringer i prosedyrene fra 2009. Det ble rigget stillas med inndekking til dette arbeidet. Den sprø alkyd/klorkautsjukmalingen var vanskelig å flekkblåse. Det ble derfor bestemt at undersiden av dekket med trapesprofiler, vist på Figur 22, skulle blåserenses til eksisterende metallisering, slik at man kunne beholde den originale metalliseringen. Men det viste seg at variasjonen i kvalitet og tykkelse på sinkbelegget var stor, selv under intakt maling.



Figur 22: Bergsøysundbrua, gangbane på rørkonstruksjon (Foto: Jan Scheie, Force Technology)

Resultatet ble da at hele undersiden av dekket ble blåserenset til stål og bygget opp igjen med dagens System 1 (se Tabell 1), en stor reparasjon som en Skade B (se kapittel 3.6.3). Rørkonstruksjonen ble behandlet som tidligere beskrevet med prosedyre 2.

Bruen ble befart 14. mars 2017. Det var da 4-6 år etter at rehabiliteringsjobben var utført. Befaringen ble gjort fra gangbane på rørfagverk med nærmere inspeksjon av rørkonstruksjon fra pongtonger som vist på Figur 22.

Observasjonene våre stemte overens med referert av Force Technology i oppsummeringsrapport etter vedlikeholdsarbeidene (Scheie, 2014). Arbeidet så ut til å være utført i henhold til beskrivelsen. Undersiden av dekket med trapesprofiler som var totalrehabilitert og bygget opp med System 1, viste ingen tegn til nedbrytning. Rørkonstruksjonene som i utgangspunktet hadde vært i bedre stand enn undersiden av dekket, viste heller ingen tegn til nedbrytning. Bekymringen her var om den silikonmodifiserte alkyden hadde sluppet fra underlaget og om alkyd/klorkautsjukmalingen hadde krakelert i de områdene hvor denne var overmalt med epoksymastik. Det var ikke tegn til noen av disse problemene.

6.3 Nordhordlandsbrua



Figur 23: Nordhordlandsbrua, oversiktsbilde (Foto: Brutus)

Nordhordlandsbrua med totallengde 1614 meter, den består av en flytebrudel og en høybrudel vist på Figur 23. Inn mot høybruken er det en viadukt som leder trafikken opp mot en skråstagbru. Nordhordlandsbrua ble åpnet for trafikk i 1994. Flytebruken og viadukten er i stål. Den ligger i værhardt kyststrøk ifølge SVV sin klassifisering, noe tilsvarer korrosjonsklasse C4 i henhold til ISO 12944-2 (se Tabell 6). Bruen ligger 5 meter over havet, noe som kan defineres som i skvalpesonen. Overflatebehandlingen er den samme som beskrevet på Bergsøysundbrua, System 1 fra 1977 med et endret toppstrøk til en silikonmodifisert alkyd.

Det er flere likheter mellom Bergsøysundbrua og Nordhordlandsbrua; de er begge flytebruer som er plassert i skvalpesonen i et værhardt kyststrøk og produsert tidlig på 90 tallet.

I motsetning til Bergsøysundbrua er ikke Nordhordlandsbrua vedlikeholdt med annet enn et ekstra lag med silikonmodifisert alkyd på viadukten i 2006.

Nordhordlandsbrua hadde problemer med nålestikk oppstått i byggefasen. I rapporten fra 2007 (Fjeldstad, 2007) står det at:

«Ved overflatebehandling i Fredrikstad, opplevde man at det oppstod pinholes i malingen. Dette ble reparert i stort omfang, men det viste seg å være vanskelig å oppnå fullgod forsegling av disse. Problemet var størst på undersiden av brukassen og på ”skråbunn”.»

Det ble den gang gjort en del undersøkelser med tanke på bakgrunn og mulige måter å tette nålestikk. Flere rapporter ble laget i 1993/1994 av blant annet SINTEF, Corrosion Consulting AS, Scandia Kjemiske AS og SVV, disse ble samlet i et notat (Fjeldstad, 1994).

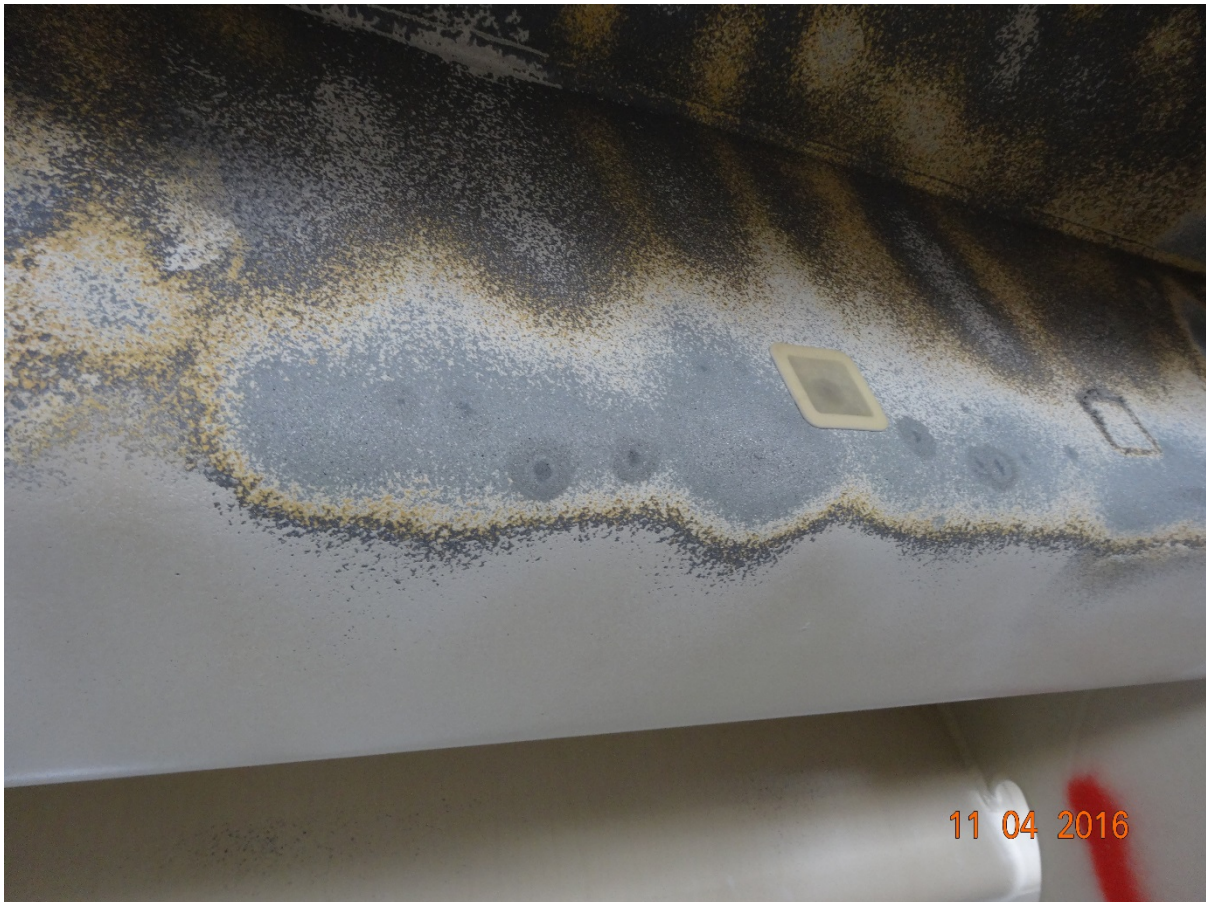
Reparasjonsmetoden som ble forsøkt brukt den gangen var å sprøyte et tynt strøk med silikonmodifisert alkyd fortynnet med 30% Whitespirit, som skulle trenge inn i nålestikkene.

Dette viste seg å ikke ha ønsket effekt.

I Teknisk Institutt as sin rapport fra bruinspeksjon i 2008 (Stræte, 2008b), kan man lese at tidligere nevnte nålestikk har utviklet seg og det var observert hvitrust i disse områdene. Hvitrust var utbredt, men ikke rust fra grunnmaterialet. Konklusjonen var derfor at tilstanden på bruene var meget god, metalliseringen hadde fremdeles en beskyttende effekt. Det ble derfor anbefalt kun flikking av skader med sliping, to lag epoksymastik og et toppstrøk med polyuretan.

I 2012 ble det utført en inspeksjon av SVV (Engen, 2012), i rapporten ble det anbefalt med blant annet bakgrunn i kostnader, at hele undersiden og noen arealer på nedre skråsider av kassen burde blåserenses til stål og bygges opp med nytt beleg. Kostander forbundet med tilkomst var antatt til å være en så stor andel av en vedlikeholdsjobb at en totalrehabilitering av belegget kunne forsvares også økonomisk. Hvitrusten omtalt i 2008 hadde utviklet seg og det ble rapportert en del rustgjennomslag fra stålet. For resten av arealene ble det konkludert at det var tilstrekkelig med lokale reparasjoner og forsterkning av overflaten.

Det foregår per dags dato en større vedlikeholdsjobb på Nordhordlandsbrua. Dette arbeidet ble startet i 2016, 22 år etter åpning av bruene. Stillas med inndekking ble rigget under bruene. Som på Bergsøysundbrua var det stor variasjon i kvaliteten på den gjenværende metalliseringen. Det ble målt høye konsentrasjoner av salter på blåserenset overflate vist på Figur 24.



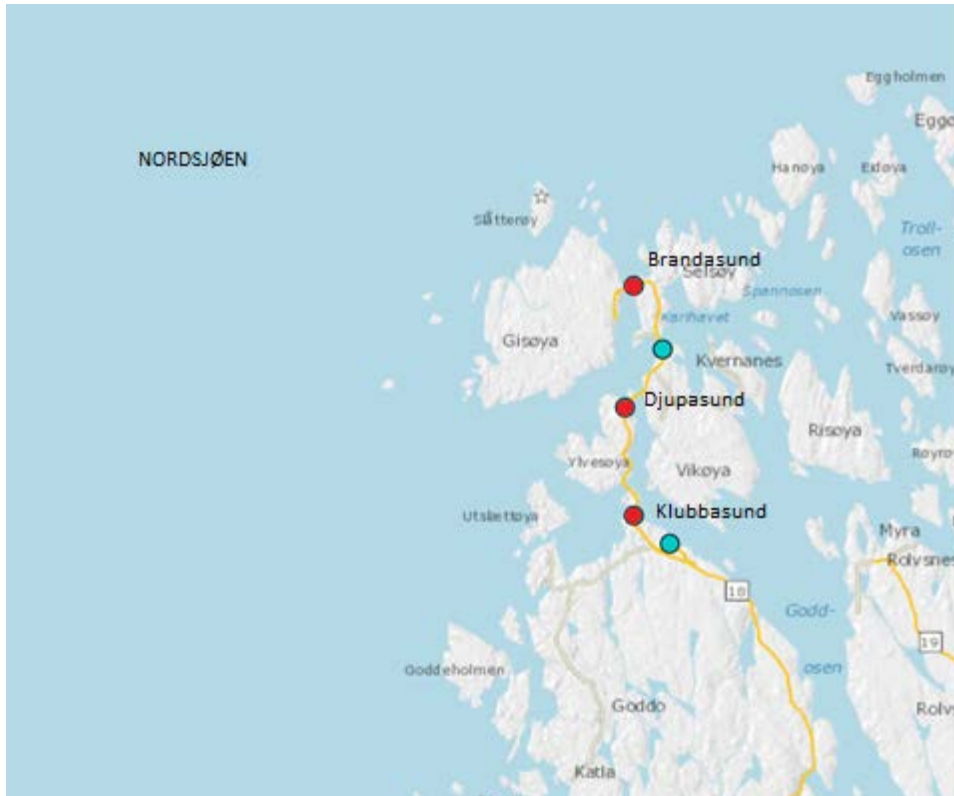
Figur 24: Nordhordlandsbrua, overflate etter blåserensing til metallisering (Foto: SVV)

Undersiden brukassen og viadukt blir blåserenset til stål og bygget opp med et forsterket System 1 (ett ekstra lag med epoksymastik for ekstra barriere). For resten av brukassen som er i mye bedre stand enn undersiden, er det planlagt flekkvedlikehold som Skade A (se kapittel 3.6.3) og forsterking av hele overflaten med epoksymastik og polyuretan.

6.4 Brandasund, Djupasund og Klubbasund

På Bømlo ble tre bruer valgt ut. Bakgrunnen for valg av disse tre bruene var muligheten til å observere hvordan overmalt alkyd/klorkautsjukmaling oppfører seg og hvordan forsterking av overflaten fungerer over tid. De tre bruene er bygget av samme entreprenør mellom 1989-1991. Klubbasund og Djupasund ble åpnet i 1990, Brandasund i 1991.

De tre bruene er bygget som en forbindelse mellom en øygruppe på Bømlo, vist på Figur 25.



Figur 25: Bømlo, kart over befarte bruer

Bruene er av typen bjelkeplatebru og er mellom 126 m og 163m lange. Seilingshøyden til Brandasund vist på Figur 26, er på 24 meter, mens Djupasund og Klubbasund har seilingshøyde på 20 meter. De ligger i værhardt kyststrøk ifølge SVV sin klassifisering, noe tilsvarer korrosjonsklasse C5-M i henhold til ISO 12944-2 (se Tabell 6). Bruene ble overflatebehandlet med System 1 fra 1977 (se Tabell 1).

Det er laget rapporter fra bruene, henholdsvis i 1991, 1993 og 2014.



Figur 26: Brandasund, oversiktsbilde (Foto: Brutus/SVV)

Tilstandsrapporter fra Klubbasund og Djupasund fra 1991 (Djuve, 1991b, 1991a) ble laget i sammenheng med overlevering av bruene fra SVV sin utbyggingsavdelingen til SVV sin vedlikeholdsavdelingen. Her ble det rapportert om «betydelige» skader på det korrosjonsbeskyttende belegget, med blæredannelse, porer i belegget, hvitrust og rust fra grunnmaterialet. Det pekes på dårlig heft til sink, tynt belegg, manglende malingslag og nålestikk som årsak til dette. Tilstanden på Klubbasund ble beskrevet som dårligst av de to bruene.

I SINTEF sin rapport fra 1994 (Steinsmo, 1994), hvor alle tre bruene ble befart, ble Brandasund beskrevet til å være i god forfatning. Tykkelsene på belegget på Brandasund ble rapportert til å ligge mellom 500-600 μm . På de to andre bruene var malingsfilmen stort sett samsvar med beskrivelse, men beleggetykkelse helt ned til 112 μm ble målt. I rapporten anbefalte SINTEF å sette i gang vedlikehold på Klubbasund og Djupasund så snart som mulig. Videre ble det anbefalt at områder med rust skulle blåserenses til Sa 2.5 rust og påføring av sinkrik primer, eller metallisering og nytt system. Kun Klubbasund vedlikeholdt. Det ble rigget stillas med inndekking før vedlikeholdet.

Rambøll befarte bruene i våren 2014 (Langestrand, 2014) og skrev om opprinnelig overflatebehandling og vedlikehold på Klubbasund:

«Vegvesenet registrerte mange pin-holes i malingen og prøvde å dekke disse ved å legge epoxymastic (antatt Jotamastic 15) så tykt som mulig. Man hadde problem med at noen ganger «glapp» malingen og rant av i store flak. Gunnar Djuve mener at formannen, Peder Strand, sjekket med lupe at han så maling i bunn av nålehullene. Toppstrøk var Hard Top i vanlig tykkelse. Man hadde også problem med vandrende pin-holes, dvs. knott. Klubbasund ble vedlikeholdt i 1995. Områder med skader ble blåserenset og metallisert og forseglet, hele bruene ble så overmalt med epoxymastik og polyuretan toppstrøk».

Djupasund og Brandasund er ikke vedlikeholdt siden åpning og i dag vel 26 år seinere, ser man stor forskjell på bruene.

Bruene ble befart med brulift i sammenheng med denne oppgaven 3. mai 2017. Målinger av tykkelse på belegg lå noe høyere på Brandasund, mellom 500-600 μm , enn på Djupasund hvor det lå mellom 300-400 μm . Dette samsvarer med opprinnelige rapporter.

De samme skadene som var rapportert på Djupasund i 1991 observeres i dag vist på Figur 27, dette bekrefter at ikke er gjort vedlikehold på denne bruene.



Figur 27: Djupasund, samme punkt fra 1991 og 2017

Nedbrytingen av belegget på Djupasund er kommet noe lengre, enn på Brandasund. Underside flens bærebjelker og alle kryssavstivninger var alvorlig angrepet av hvitrust og områder med korrosjon fra grunnmetallet. Dette gjelder også de fleste kanter og vinkler som også var kraftig angrepet som vist på Figur 28.



Figur 28: Djupasund, nedbrytning av belegg, mai 2017 (Foto: SVV)

En kan anta at skader på de store flatene skyldes nålestikk rapportert i 1991, mens kanter og vinkler kan i tillegg skyldes manglende stripemaling.

Det som er typisk for SVV sine konstruksjoner som er i nærheten av marine miljøer, er at de områder som ikke blir vasket av regn regelmessig, dvs. overflater som har horisontale flater mot sjøen, er i en dårligere stand enn de som er eksponert mot regn. Dette ser en også i dette tilfellet. Underside flens og innside er mer alvorlig angrepet enn utvendige flater.

Observasjoner på Klubbasund er derimot noe helt annet enn de to andre. Beleggtykkelse målt under befaring av Klubbasund lå mellom 500-750 μm , med laveste måling på 475 μm . Bildene på Figur 29 viser at alle flater har intakt malingsystem og nesten ingen tegn til nedbrytning.



Figur 29: Klubbasund, tilstand på overflatebehandling, mai 2017 (Foto: SVV)

Noen få punkter med korrosjon ble observert, da gjerne rundt muttere og ved kanter/vinkler. Dette er mest sannsynlig grunnet porer i sveis og manglende striping med malerpensel, dvs. For tynn tørrfilmykkelse lokalt. Alkyd/klorkautsjukmalingen viser ingen tegn krakelering etter å blitt overmalt med et tykt lag med epoksymastik.

6.5 Bukkholmstraumen og Lauvøystraumen



Figur 30: Bukkholmstraumen, oversiktsbilde (Foto: Brutus/SVV)

Bukkholmstraumen vist på Figur 30, er en bjelkeplatebru på 119 meter. Bruen ble ferdigstilt i 1988. Den ligger i værhardt kyststrøk ifølge SVV sin klassifisering, noe som trolig tilsvarer korrosjonsklasse C5 M i henhold til ISO 12944-2 (Tabell 6). Bruen har en seilingshøyde på 17 meter.

Den ble opprinnelig overflatebehandlet med System 1 fra 1977 (se Tabell 1), og er ifølge Gunnar Djuve² blitt rehabilitert to ganger. Første gang var på 90 tallet, da ble utført flekkvedlikehold på innvendige flater og på kanter av flens fra brulift. Det er ikke dokumentert hvordan flekkvedlikeholdet ble utført.

Lauvøystraumen er en bjelkebru på 58.30 meter, ferdigstilt i 1990. Overflatebehandling og plassering er lik Bukkholmstraumen. Lauvøystraumen har en seilingshøyde på 8 meter, noe som er 9 meter mindre enn Bukkholmstraumen.

I 2013 ble begge bruene vedlikeholdt, Lauvøystraumen for første gang og Bukkholmstraumen for andre. Det ble rigget stillas med inndekking. Figur 31 viser tilstand på Bukkholmstraumen før vedlikehold. Tilstanden var beskrevet som lik på begge bruene, utsider var generelt i god stand, men på enkelte flater på innside av bjelker og kanter var det hvitrust og rustgjennomslag fra grunnmaterialet.

² Gunnar Djuve (Prosjektleder Bruvedlikehold SVV Reg. vest) Samtale, september 2017



Figur 31: Bukkholmstraumen, tilstand før vedlikehold 2013 (Foto: SVV)

I en kommentar til beskrivelsen oversendt til utførende entreprenør fra Anne Margit Fjeldstad³ (SVV) stod det:

«Der metallisering er intakt, pusses skader ned til metallisering. Der metallisering er skadet, pusses det ned til rent stål. Kanter pusses ned. Deretter påføres maling etter vedlikeholdssystem 1, men 1. strøk erstattes av epoksy mastik.»

Utover dette skulle det ifølge beskrivelsen stripemailes før hvert strøk som vist på Figur 32 og legges et heldekkende lag med epoksymastik og et toppstrøk med polyuretan.

³ Anne Margit Fjeldstad (Byggeleder SVV) Notat av 16.02.2012 - «Kommentar til beskrivelsen oversendt 27.01»



Figur 32: Lauvøystraumen, stripemalt før helstrøk med epoksymastik i 2013 (Foto: SVV)

Første strøket i Vedlikeholdssystem 1 er sinkrik epoksy primer med minst 90% vektprosent sink i den tørre filmen (Tabell 2). I samtaler med Anne Margit Fjeldstad⁴ og Henning Raa⁵ ble årsaken til bytte av første strøk begrunnet med at sinkepoksy har dårlig vedheft når den ikke blir påført rent stål med tilstrekkelig ruhet. Det vil si at på slipte flater og på maling vil ikke sinkrik epoksy ha tilstrekkelig vedheft. Det ble derfor besluttet å påføre epoksymastik rett på slipt overflate og bygge opp en solid barriere med epoksymastik.

Korrespondanse mellom byggherre og entreprenør⁶ viser at overflaten har blitt vasket både før flekkvedlikehold og før helstrøk med epoksymastik og polyuretan. Det vises til meget høye målinger av salt på bruene, uten at målingene er kvantifisert.

Bruene ble befart med brulift 4. mai 2017. Enkeltmålinger av beleggtykkelsen var på over 1200 μm , mens gjennomsnittet lå på over 700 μm . Positector 6000 med FNDS probe indikerte at det ikke var metallisering på enkelte områder som var flekkvedlikeholdt. Bruene var i god stand og det var ingen tegn til hvitrust, eller rødrust. Det var heller ingen tegn til krakelering av overflaten.

⁴ Anne Margit Fjeldstad (Byggeleder SVV) Samtale august 2017.

⁵ Hennig Raa (Formann utførende entreprenør) Samtale august 2017.

⁶ Anne Margit Fjeldstad (Byggeleder SVV) og Vidar Pettersen (Utførende entreprenør) Mailkorrespondanse 5-7 juni 2013.

6.7 Osterøybrua



Figur 33: Osterøybrua, oversiktsbilde (Foto: Brutus/SVV)

Osterøybrua vist på Figur 33, er en hengebru på 1065 meter, den ble ferdigstilt og åpnet i 1997. Det er den første av de større bruene i Hordaland som ble overflatebehandlet med System 1 (Tabell 1) som brukes i dag, daværende System 3.

Denne bruene er tatt med i oppgaven for å se på forskjell fra det gamle duplekssystemet med alkyd/klorkautsjukmaling og dagens System 1.

Jan Ove Nygård⁷ opplyser at overflatebehandlingen var utført i henhold til spesifikasjon. Bruen ligger i et innlands kystklima ifølge SVV sin klassifisering, noe som tilsvarer korrosjonsklasse C3 i henhold til ISO 12944-2 (Tabell 6). Altså mer skjermet omgivelser enn de andre bruene og med en seilingshøyde på 58 m. Osterøybruen har ikke hatt vedlikehold av overflatebehandlingen siden åpning.

Hovedinspeksjon ble gjennomført våren 2014 (Berntsen, 2015) «Avstivningsbæreren har noen små skader i overflatebehandlingen, men er stort sett i god stand».

Denne bruene ble befart med brulift en stund før oppstart av denne oppgaven, men det er ikke grunn til å tro at tilstanden har forverret seg siden da. Observasjonene gjort stemmer overens med det som rapportert av Berntsen.

⁷ Jan Ove Nygård (Byggeleder (SVV) ved overflatebehandling av ny konstruksjon 1994) Samtaler september 2017

Det ble da kun observert et fåtall av skader på selve avstivningsbæreren (brukassen). Ledeskovlene som er ettermontert hadde utslag av hvitrust som vist på Figur 34. Ledeskovlene er varmforsinket og pulverlakkert.



Figur 34: Osterøybrua, hvitrust på innfesting av ledeskovler (Foto: SVV)

Observasjonene gjort her viser at epoksy/polyuretan tilsvarende System 1 fra 2007 (Tabell 1), kan vise til 20 vedlikeholdsfrie år. Dette er i tråd med undersøkelser omtalt i kapittel 3.3.

Det er planlagt vedlikehold på denne bruene innen de neste 5 år. Den vil da være 25 år gammel. Planlagt vedlikeholdet vil da bestå av vask, flikking av de få skader som er registeret, for så å forsterke overflaten med et heldekkende lag med epoksy og polyuretan.

7 Diskusjon

7. 1 Diskusjon av funn etter eksperimentelle forsøk

7.1.1 Diskusjon av funn etter elektrokjemiske forsøk

De tre testene viste en motstand mot transport av ioner i størrelsesorden over 10^{10} Ohm*cm². Som omtalt i kapittel 3.5 er malinger med motstand målt over 10^9 Ohm*cm² ansett som tette.

Målingene er gjort i overgangssonene mellom blåst flate og gammelt belegg, dette er et område det lett kan oppstå feil og svake soner.

Det er noe forstyrrelser i målingen fra Forsøk nr. E2 og E3, men målingene viste likevel en høy motstand mot transport av ioner.

Alle målingene ble alle gjort ved utkanten i de blåserensede områdene, beleggykkelsen var noen steder ganske høy, noe som kan være medvirkende årsaken til de gode målingene. Beleggykkelsen i Forsøk E2 var 10 % over spesifisert tykkelse, noe som er innenfor forventet variasjon. En malingsentreprenør vil som regel prøve å sikre seg ved å ligge i overkant av spesifisert tykkelse. Kostnaden ved å generelt påføre litt mer maling er mindre, enn det vil koste å utføre tiltak på grunn av lave tykkelser.

Forsøk E1 og E3 hadde begge skader som ble reparert med sinkrik primer som første strøk. Forsøk E1 hadde alle strøk påført med pensel, mens all strøk ble påført med sprøyte på Forsøk E3. Målingene viser ingen signifikant forskjell mellom reparasjoner utført med sprøyte, eller pensel.

Resultatene gir et entydig svar på at flekkvedlikeholdet utført i henhold til Håndbok R762 kan ansees som tett.

7.1.2 Diskusjon av funn etter mikroskopering

Bildene av de blåserensede områdene før videre behandling, (Figur 7) viser tydelig at det er skader utover de områdene som er tenkt blåserenset. Hvor dype skadene er, vil avhenge av størrelsen på partikkelen og hvor stor kraft denne har når den treffer overflaten. Størrelsen både på prøveplatene og på prøvene skåret ut til mikroskopering, gjorde at det var i hovedsak randsonene rundt reparasjonene som ble undersøkt.

En kunne tydelig se slagskader fra blåserensing i originalt belegg, det ble observert både større og mindre groper. Gropene så ut til å være fylt opp av ny maling (og metallisering), det var ingen tegn til luftlommer der hvor blåseskadene var åpne groper. Derimot var det luftlommer på tre av prøveplatene hvor biter av belegget var slått løs etter blåserensing, men ikke fjernet. I et slikt område vil det være to svakheter, det vil ikke være vedheft under den løse biten og en luftlomme.

Reparasjonene var gjort på et ferskt epoksy/polyuretan belegg. Det vil være stor forskjell på hvordan et eldre sprøtt alkyl/klorkautsjuk belegg og et nyere sterkt epoksy/polyuretan belegg oppfører seg. Sprøhet vil gjøre en maling mer sårbar for slag fra blåsemiddel og vil med stor sannsynlighet skape både større groper og sprekker. Blåseskadene er avhengig av å få bygget opp en tilsvarende malingstykkelse som den som blir blåst av. En blåseskade utenfor reparasjonsområdet kan fort bli oversett og en risikerer at den ikke blir overmalt. Den minste skaden observert gjennom toppstrøket var 45 µm og den minste til forseglar 857 µm. De små størrelsene gjør det lett å overse en skade. Dersom prosessen med blåserensing skaper flere svake områder enn det som blir reparert, kan en reparasjon potensielt gjøre mer skade, enn nytte.

En måte å redusere blåseskader på er å benytte seg av et vakumsystem ved blåserensing. Dette er et lukket system, hvor både blåsedysen og en vakumsuger er samlet i ett munnstykke. Blåserensing starter ikke før munnstykket er i kontakt med overflaten. På denne måten blir kun et bestemt område eksponert og en kan begrense blåseskadene utover dette området. Dette er en mer tidkrevende prosess enn konvensjonell blåserensing, men for små områder kan man spare inn tiden ved at en slipper inndekking for oppsamling av brukt blåsemiddel.

Det var på alle prøvene tydelig at det var metallisert, eller malt med sinkrik epoksy utover reparasjonsområdene. Det som var overraskende var hvor godt metallisering hadde fylt opp gropene.

Metallisering er utelukkende avhengig av mekanisk vedheft og krav satt til overflaten før påføring er derfor høye. Håndbok R762 sine krav til blåserensing er en renhet Sa 3 og en ruhet medium G, Ry5= 50-85 µm. Metallisering vil ikke ha mekanisk vedheft til maling.

Som tidligere nevnt i kapittel 4.1, ble ikke prøveplatene maskert før påføring av sinkrik primer, slik det stilles krav om i Håndbok R762. Å maskere rundt et blåserenset område er vanskelig. Ujevne kanter vil gjøre at det enten bli maskert for mye, eller for lite. Dette vil

resulterer i at det vil være mindre blåserensede områder som ikke blir påført sinkrik primer, eller så vil sinkrik primer bli påført på mindre områder med eksisterende belegg.

Observasjonene gjort av overmalte flater er derfor aktuelle.

Den sinkrike primeren i Vedlikeholdssystem 2 har også høye krav til overflaten før påføring, renhet skal være Sa 2.5 og ruhet medium G, Ry5= 50-85 μm .

Kravene i Håndbok R762 til vedheft er satt ganske lavt, 3.5 MPa på metallisering og 2 MPa på maling. Metallisert sink på gammelt belegg vil ikke klare å oppfylle dette kravet, men sinkrik primer lagt på gammelt belegg klarer i de fleste tilfeller kravet til vedheft for maling. Hvor mye vedheft en egentlig trenger er usikkert, da de fleste av SVV sine konstruksjoner ikke har noen mekanisk påkjenning etter at arbeid med montering av bruen er fullført.

På bildene fra prøve M2 og M3 kan en se at det har oppstått kohesive brudd i den sinkrike primeren. Dette kan ha skjedd i preparering av prøvene, enten når de ble skåret ut fra prøveplaten, eller under sliping av prøven. Bruddene observeres imidlertid kun i områder på prøver hvor sinkrik primer er påført. Den høye andelen sink i primeren (over 95 %) korresponderer med et tilsvarende lavt innhold med bindemiddel, noe som vil gjøre malingen svakere. Dette kan være årsaken til at vi får kohesive brudd under den mekaniske prepareringen av prøven.

Begge disse prøvene hadde i tillegg en høy total tykkelse på belegget (500-685 μm) og spesielt på toppstrøket (200-250 μm). Det var hulrom i toppstrøket.

7.2 Diskusjon av funn fra feltundersøkelsene

Erfaringene fra Bergsøysundbrua har vist at flekkvedlikehold av belegget i områder der sinken har startet å korrodere ikke har vært effektivt. Nye korrosjonsangrep har raskt oppstått på samme sted etter vedlikeholdet. Undersøkelser gjort i sammenheng med denne oppgaven har vist at utført flekkvedlikehold ikke har vært i henhold til Håndbok R762. Det kan likevel ikke hevdes at hvis flekkvedlikeholdet hadde vært gjort i henhold til Håndbok R762 så hadde ikke bruene blitt totalrehabilitert i 2011, etter ca. 19 års levetid. Skadene eskalerte også utover de tidligere reparerte områdene. Hadde man derimot gått inn på et tidlig stadium og forsterket overflaten med epoksy/polyuretan, viser erfaringer fra andre bruer at man mest sannsynlig kunne forlenget levetiden til belegget.

Da det ble besluttet å rehabilitere Bergsøysundbrua var tanken at man kun skulle blåserense malingen og beholde det metalliserte belegget. Ved å gjøre dette, hadde man sluppet å blåse vekk sinken og påføre ny, noe som er to kostbare operasjoner. Man kunne beholdt «verdien» til sinken. Når dette ikke lenger var aktuelt, burde man utnyttet restlevetiden til systemet og utsatt rehabiliteringen av bruene. Nordhordlandsbrua hadde en lignende problemstilling, men stod i 22 år før den ble rehabilitert. Den hadde på dette tidspunktet kommet lengre i nedbrytningsprosessen enn Bergsøysundbrua, med en del rust fra grunnmaterialet. Men også her kunne en trolig utsatt vedlikeholdet noen år.

7.2.1 Beleggskader

Studiene omtalt i kapittel 3.3, gir en konservativ forventet levetid til dupleksbelegget på 15-20 år og da skal toppstrøket kun friskes opp. Ut i fra dette kan en si at skader som har oppstått før 15 år, defineres som en for tidlig nedbrytning.

Det er i liten grad observert mekaniske skader på bruene. Der hvor denne type skader er observert, har de i hovedsak oppstått under monteringsarbeider. Etter at monteringen er fullført er det ikke mekanisk påvirkning i noe omfang. De skadene som er observert og som har blitt reparert har i hovedsak hatt bakgrunn i utførelsesfeil.

Lav filmtykkelse er ikke rapportert som et omfattende problem på de store flatene.

Observasjoner viser derimot at kanter og sveiser, er de områdene som er kommet lengst i nedbrytingen. Grunnen til dette kan være manglende stripemaling, som fører til at det ikke bygges opp nok filmtykkelse og disse områdene blir derfor angrepspunkt for korrosjon.

Nålestikk har vært og er fremdeles et problem med dupleksbelegget. På Djupasund, Klubbasund og Nordhordlandsbrua var det rapportert om nålestikk oppstått fra byggefasen. Det nevnes ikke direkte nålestikk på Bergsøysundbrua, men det var observert hvite korrosjonsprodukter som kan ha hatt bakgrunn i blant annet porer. På Bukkholmstraumen og Lauvøystraumen er det ingen dokumentasjon fra byggefasen, eller rapporter fra seinere inspeksjoner. Man kan derfor ikke utelukke at det har vært et problem der også. Den eneste bruene undersøkt i denne oppgaven hvor en med sikkerhet kan si at ikke har vært problem med nålestikk er Osterøybrua.

I kapittel 3.5 er det beskrevet en prosess hvor vann og ioner kan vandre gjennom mindre tette soner i malingen og forårsake korrosjon på sinkbelegget. Belegget vil sprekke opp som følge av volumøkningen etter korrosjonen. Sinkionene vil vandre ut og hvite sinksalter vises på overflaten. Undersiden av konstruksjoner er spesielt utsatt. Dette er områder som aldri blir vasket av regn. Her vil det være en opphopning av salter som gir et svært aggressivt miljø. Lav filmtykkelse, nålestikk og sinkpigge vil alle være feil som akselerer en slik nedbrytningsprosess.

Observasjonene som er gjort på Bergsøysundbrua og Nordhordlandsbrua, hvor det er salter på metallisering under tilsynelatende intakt maling gjør det naturlig å stille spørsmål ved tettheten til alkyd/klorkautsjukmalingen.

7.2.2 Reparasjonsmetoder og erfaringer

Det viser seg at det er viktig å skille mellom når selve flekkvedlikeholdet svikter og når omfanget blir så stort at flekkvedlikehold ikke lengre er den rette metoden for vedlikehold. Dette må sees i sammenheng med bakgrunnen for at skadene oppstår.

En kartlegging av skadeårsak har sannsynligvis ikke vært utført før vedlikehold ble startet på flere av bruene, noe som burde vært avgjørende for valg av strategi. Hvis man for eksempel får gjennomslag av hvitrust, med bakenforliggende årsak i for lav filmtykkelse, må man forvente at tilsvarende skade vil oppstå flere steder. Da hjelper det ikke å bedrive flekkvedlikehold i seg selv uten å forsterke overflaten over hele området.

Det meste av det vedlikeholdet som er registrert gjennom denne oppgaven har ikke vært utført i henhold til beskrivelsen i Håndbok R762. En metode som går igjen, både for Bergsøysundbrua og for arbeid gjort på andre bruer, er at blåserensing og sinkrik primer er erstattet til fordel for sliping og epoksymastik. Blåserensing krever betraktelig mer rigging

enn sliping. Fordi sinkrik primer også krever en mer bearbeidet overflate, er det en naturlig fortsettelse, at denne blir erstattet med en epoksymastik som er mer tolerant med tanke på vedheft og forbehandling. Det er usikkert om dette er gjort fordi det var den antatt beste løsningen, eller om det var den enkleste og derfor den rimeligste løsningen.

Den reparasjonsmetoden som har gitt lengst levetid i felt, har vært en kombinasjon av flekkvedlikehold og at det er bygget opp barriere med epoksy/polyuretan over hele overflaten. Erfaringene fra Klubbasund viser at denne kombinasjonen har hatt god effekt i 22 år. Forsterking av overflaten på rørkonstruksjonen på Bergsøysundbrua hadde heller ingen tegn til nedbrytning etter 6 år. Tilsvarende ser man også på Bukkholmstraumen og Lauvøystraumen selv om disse bare har 5 år å vise til. På Klubbasund er det ikke dokumentert hvilken forbehandling som ble utført, men anbefalinger gjort i rapport fra SINTEF og i seinere inspeksjonsrapport fra Rambøll, tyder på at områder med rust ble blåserenset og metallisert før forsterkning av hele overflaten. På de andre bruene har flekkvedlikeholdet bestått av vasking, sliping og påføring av epoksymastik, før forsterking av hele overflaten.

Osterøybruen er den eneste av bruene undersøkt i denne oppgaven som er opprinnelig behandlet med epoksy/polyuretan. Denne bruene viser ingen tegn til nedbrytning etter 20 år. Den står i et noe mindre eksponert miljø enn de andre bruene. Også de andre bruene som er vedlikeholdt med forsterking av overflaten med epoksy/polyuretan står veldig bra i dag. Som nevnt har Klubbasund som ble overflatebehandlet med epoksy/polyuretan i 1995, stått i et eksponert værhardt kyststrøk i 22 år uten nevneverdig nedbrytning.

Erfaringene fra disse bruene kan tyde på at epoksy/polyuretan har bedre barriereegenskaper, enn alkyd/klorkautsjukmalingen.

7.2.3 Overmaling av alkyd/klorkautsjuk med epoxymastik

Epoksymastik som er en maling med mye indre spenninger, kan føre til at en eldre sprøere alkyd/klorkautsjukmaling sprekker opp når den blir overmalt. Forsterkningen av overflaten gjort på Klubbasund viste at noenlunde fersk alkyd/klorkautsjukmaling ikke har krakelert etter overmaling, denne har stått overmalt i 22 år, fortsatt uten tegn til krakelering. Overmalingen på Bergsøysundbrua var ikke direkte på alkyd/klorkautsjukmaling, da toppstrøket var byttet ut med en silikonmodifisert alkyd. Siden silikonmodifisert alkyd ifølge rapportene hadde dårlig vedheft, kan en anta at det mange steder ble lagt epoksymastik rett på alkyd/klorkautsjukmaling. Det var ingen tegn til krakelering på Bergsøysundbrua da denne

bruen ble befart. Bukkholmstraumen og Lauvøystraumen var 22 og 24 år gamle da de ble rehabilitert, her ble det brukt epoksymastik i tykke lag rett på alkyd/klorkautsjukmaling. Etter fem år viser heller ikke disse buene noen tegn til krakelering. Samlet viser disse observasjonene at krakelering ikke er et problem dersom alkyd/klorkautsjukmaling blir overmalt med epoksy/polyuretan.

7.2.4 Tilkomst

Flekkvedlikehold har som regel blitt utført fra brulift, mens større vedlikeholdsjobber har blitt utført fra stillas med inndekking.

Flekkvedlikehold utført fra brulift har også vært vanskelig for byggherren å inspisere. Det er begrenset kapasitet i korgen til en brulift. Byggherren har derfor ikke hatt mulighet til å kontrollere under selve utførelse, kun i ettertid. Siden det ikke er praktisk mulig å ha inndekking når en arbeider fra en brulift, har en heller ikke kunnet ha kontroll med de klimatiske forholdene.

Når flekkvedlikehold kombineres med en forsterkning av overflaten, eller overflaten totalrehabiliteres, er omfanget så stort at det må rigges med stillas og inndekking. Det vil si at man har bedre kontroll på de klimatiske forhold og det er lettere for byggherren å inspisere. En bedre og mer omfattende form for vedlikehold, samtidig som en har hatt bedre kontroll med utførelsen har gitt bedre resultater.

7.2.5 Kostnad, kvalitet og levetid

Flekkvedlikehold er ikke utført i særlig stort omfang i Region vest. Hovedgrunner til dette er at det erfaringsmessig er det dyrt i forhold til reparasjonens levetid.

Flekkvedlikehold er et arbeid som sjelden har fått tett oppfølging av SVV, noe som den vanskelige tilkomsten og den manglende dokumentasjonen vitner om. Som nevnt over blir arbeidet utført i korte tidsintervall fra brulift, noe som også gjør det vanskelig å ha kontroll på de klimatiske forholdene.

En av grunnene for at flekkvedlikehold ikke har gitt bedre resultat, kan derfor ha bakgrunn i manglende kvalitet på utførelsen. En tettere oppfølging av utførelsen, vil med stor sannsynlighet også gitt bedre kvalitet, som igjen vises i lengre levetid. For å sikre kvalitet og levetid ved flekkvedlikehold må en ha kontroll på de klimatiske forholdene. I de deler av

landet som har et tørrere klima, kan man ha gode klimatiske forhold for overflatebehandling i lengre perioder, men i Region vest er klimaet slik at det bør rigges stillas og overflaten skjermes for å ha kontroll med dette.

I kapittel 3.7 opplyses det at erfaringstall fra SVV tilsier at tilkomst utgjør ca. 25% av kostnadene ved totalrehabilitering av et belegg. Skal man rigge stillas og inndekking for flekkvedlikehold vil kostnaden med dette være lik som på en jobb hvor en utfører totalrehabilitering, men prosentandelen av totalkostnaden vil være mye høyere.

Med bakgrunn i disse betraktningene kan man ofte fra et økonomisk perspektiv forsvare en totalrehabilitering fremfor et flekkvedlikehold. Da vil det være økonomisk gunstig å utsette vedlikeholdet, la korrosjon på sinken fortsette til stålet starter å korrodere, for å oppnå maksimal levetid for det eksisterende belegget, og deretter gå inn og totalrehabiliterer belegget.

8 Oppsummering

De elektrokjemiske forsøk gjort i den eksperimentelle delen av denne oppgaven viser at flekkvedlikehold utført i henhold til reparasjonsprosedyrene i Håndbok R762 kan ansees som tette. Mikroskoperingen avdekket at belegget utenfor reparasjonsområdet ble skadet i prosessen med blåserensing, men at overmalingen fylte gropene etter blåseskader tilfredsstillende. Det var ikke observert luftlommer i disse gropene. Det var derimot noen tilfeller hvor belegget var slått løs, men ikke fjernet. Dette førte til at overmalingen kapslet inne en luftlomme i tillegg til den løse biten. Videre viste undersøkelsene at eksisterende belegg ble overmalt med sinkrik primer og metallisert med sink. Vedheften i disse områdene var med stor sannsynlighet svekket, men samtidig er det usikkert hvor mye vedheft en egentlig trenger på flater som ikke er mekanisk påvirket. Samlet viser dette at flekkvedlikehold kan ansees som tett, men at det er svakheter med metoden selv når det er utført under kontrollerte former i en malingshall.

Erfaringen fra feltundersøkelsene viser at flekkvedlikehold utført fra brulift ikke har hatt forventet levetid. Det er to hovedgrunner til dette, flekkvedlikeholdet har ikke vært utført i henhold til beskrivelsen i Håndbok R762 og det har vært manglende kontroll ved utførelsen. Arbeid fra brulift viser seg å ikke være et godt utgangspunkt for å oppnå god kvalitet.

Eldre sprø alkyd/klorkautsjukmaling viser ingen tegn til krakelering når den blir overmalt med epoksymalinger.

Flekkvedlikehold kombinert med en forsterking av hele overflaten har hatt gode resultater og kan vise til over 20 års levetid i værhardt kyststrøk.

9 Konklusjon

Feltundersøkelsene avdekket at det flekkvedlikeholdet som er undersøkt i denne oppgaven ikke er utført i henhold til beskrivelsen i Håndbok R762. Det vil derfor ikke være mulig å evaluere beskrivelsen med bakgrunn i dette. Det har likevel vist seg at det er mulig å oppnå lang levetid på flekkvedlikehold, hvis det kombineres med en forsterking av hele overflaten.

De eksperimentelle forsøkene viser imidlertid at flekkvedlikehold utført etter beskrivelsen i Håndbok R762, er tette og skal kunne oppnå forventet levetid. Mikroskoperingen viser at det kan oppstå problemer med skader fra blåserensingen, løse biter med belegg som ikke blir fjernet og blåseskader som potensielt ikke blir overmalt.

Med bakgrunn i funn fra mikroskoperingen bør det settes krav i Håndboken R762 til at blåserensing ved flekkvedlikehold utføres med et lukket vakumsystem for å unngå blåseskader.

Anbefalt vedlikeholdsstrategi med bakgrunn i de funn som er gjort i denne oppgaven er:

- Skadeårsak må kartlegges før flekkvedlikehold vurderes.
- Er man tidlig i skadeforløpet og det forventes at flere punkt med samme skadeårsak vil dukke opp, bør flekkvedlikehold sammen med en forsterkning av overflaten vurderes.
- Er det en skade med et begrenset omfang, som har bakgrunn i f.eks. en mekanisk skade og ikke i en utførelsesfeil, kan den flekkvedlikeholdes.
- For flater som har skader med hvitrust, på over 4% av overflaten. Anbefales det å la korrosjon på sinken fortsette til stålet starter å korrodere, for å oppnå maksimal levetid for det eksisterende belegget, og deretter totalrehabiliterer belegget.

10 Videre arbeid

Som det fremgår av både diskusjon og konklusjon er flekkvedlikehold ikke utført etter beskrivelsen i Håndbok R762. Årsaken til dette er ikke undersøkt i denne oppgaven og bør derfor kartlegges bedre:

- Hvorfor blir ikke prosedyrene fulgt?
- Hvorfor har SVV godtatt at entreprenør ikke følger Håndbok R762?
- Er de beskrevne prosedyrene hensiktsmessige?
- Er de beskrevne prosedyrene for kostbare, eller for tungvinte til at de lar seg utføre?

Videre vil kvaliteten på utførelsene alltid være det svakeste leddet ved flekkvedlikehold. Det bør derfor undersøkes om man kan redusere denne faktoren ved å ta i bruk andre metoder og/eller alternative produkter.

Det bør også arbeides mot nye inspeksjonsmetoder for å kunne mer nøyaktig kartlegge tilstanden på overflatebehandlingen. Dette vil være et ledd i å utvikle bedre vedlikeholdsstrategier for hele brumassen og for hver enkel konstruksjon.

Referanseliste

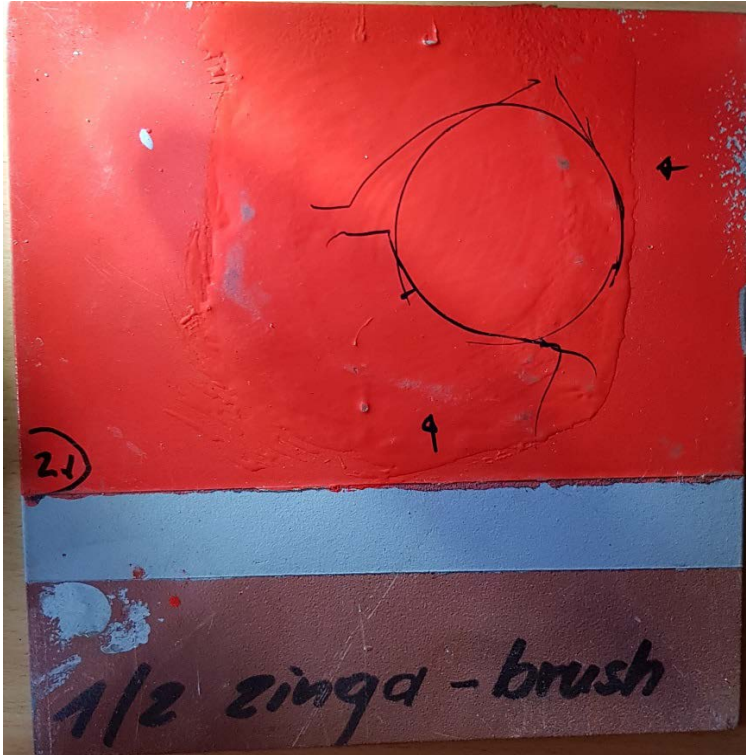
- Axelsen, S. *et al.* (2010) Protective Coatings Offshore: Introducing a Risk-Based Maintenance Management System—Part 3: A Case Study, *Corrosion*, 66(1), s. 015004-015004-015010.
- Babiak, R. (2016a) 6.2.1.1. *Paint Report System 1*. Lie Overflate AS.
- Babiak, R. (2016b) 6.2.1.1. *Paint Report Repair (Sinkrik primer)*. Lie Overflate AS.
- Babiak, R. (2016c) 6.2.1.1. *Paint Report Repair (Zink Wire)*. Lie Overflate AS.
- Berntsen, K. (2015) *Bru nr. 12-2850 Osterøybrua Rapport fra hovedinspeksjon*. Statens vegvesen.
- Djuve, G. (1991a) *Tilstandsrapport Fv 18 Klubbasundet Bru*. Statens vegvesen Hordaland Vedlikeholdsavdelingen.
- Djuve, G. (1991b) *Tilstandsrapport Fv 18 Djupasund Bru*. Statens vegvesen Hordaland Vedlikeholdsavdelingen.
- Engen, K. (2012) *12-2900 Nordhordlandsbrua Inspeksjon maling/belegg*. (Statens vegvesens rapporter): Statens vegvesen, Region vest.
- Fjeldstad, A. M. (1994) RV1 - FLYTEBRU OVER SALHUSFJORDEN PROBLEMER MED STANDRAD MALINGSSPESIFIKASJON FOR BRUER.
- Fjeldstad, A. M. (2007) *Vedlikehold av bruer - Eksempel fra Bergen distrikt i Region vest*.
- Foder, M. H. *et al.* (2008) *Korrosjonsbeskyttelse, stål*. (NVF-rapporter ISSN: 0347-2485). Molde, Norge: Statens vegvesen.
- Heen, K. (2012) *Investigations of Ekofisk Jacket Structures brought Onshore: Inspection of Ekofisk 2/4R Jacket at AF Decom's Decommissioning Yard in Vats Rogaland*. Høvik: DNV.
- ISO (1998) NS-EN ISO 12944-2:1998 Maling og lakk - Korrosjonsbeskyttelse av stålkonstruksjoner med beskyttende malingsystemer - Del 2: Klassifisering av miljøet (ISO 12944-2:1998)
- ISO (2009) *Paints and varnishes — Performance requirements for protective paint systems for offshore and related structures* (s. 23).
- Klinge, R. (1999) Protection of Norwegian Steel Bridges against Corrosion (Korrosionsschutz von norwegischen Stahlbrücken), *Stahlbau*, 68(5), s. 382-391.
- Klinge, R. (2011) Korrosjonsbeskyttelse av norske bruer og offshorekonstruksjoner, *Nyheter om stålbyggnad*, (2), s. 43-46.
- Knudsen, O. Ø. (2016) *Korrosjonsbeskyttelse av stålbruer - Testing og vurdering*. SINTEF materialer og kjemi.
- Królikowska, A. (2000) Requirements for paint systems for the steel bridges in Poland, *Progress in organic coatings*, 39(1), s. 37-39.
- Kundsen, O. Ø., Hasselø, J.-A. og Djuve, G. (2016) Coating Systems with Long Lifetime—Paint on Thermally Sprayed Zinc, i *CORROSION 2016*. NACE International.
- Langstrand, R. (2014) *Spesialinspeksjon av bruer på Stord og Bømlo*. Rambøll Norge AS.
- Lavaert, V. *et al.* (2000) Influence of pores on the quality of a silicon polyester coated galvanised steel system, *Progress in organic coatings*, 38(3), s. 213-221.
- Lie, T. (2015a) *Paint procedure Statens Vegvesen, System 1*. Lie Overflate AS.
- Lie, T. (2015b) *Paint procedure Statens Vegvesen VEDLIKEHOLDSSYSTEM*.
- M-501, N. (2012) NORSOK M-501 Surface preparation and protective coating - Edition 6.
- Mills, D. og Mayne, J. (1981) Inhomogeneous Nature of Polymer Films and Its Effect on Resistance Inhibition, *D. J. Mills and J. E. O. Mayne. Corrosion Control by Organic Coatings*, H. Leidheiser, editor. 1981. NACE, Houston, TX, s. 12-17.

- Nguyen, T., Hubbard, J. og Pommersheim, J. (1996) Unified model for the degradation of organic coatings on steel in a neutral electrolyte, *JCT, Journal of coatings technology*, 68(855), s. 45-56.
- Scheie, J. E. (2003) *Inspeksjon av E39 bru nr. 15-2221 Bergsøysunfbrua*. Teknologisk Institutt as.
- Scheie, J. E. (2011) *Tech. Memo - Bergsøysund Bru - Prosedyre Forbehandling/termisk sprøyting / maling* FOREC Technology Norway AS.
- Scheie, J. E. og Kleven, K. A. (2013) *OVERFLATEBEHANDLING mot korrosjon*. Gyldendal Norske Forlag AS.
- Scheie, J. E. (2014) *Bergsøysund Bru - Oppsummering av rapporter MAIN REPORT*.
- Statens vegvesen, V. (2014a) *Håndbok V441 Inspeksjonshåndbok for bruer*. Oslo: Statens vegvesen.
- Statens vegvesen, V. (2014b) *Håndbok R411 Bruforvaltning*. Oslo: Statens vegvesen.
- Statens vegvesen, V. (2014c) *Håndbok V440 Bruregistrering*. Oslo: Statens vegvesen.
- Statens vegvesen, V. (2014d) *Håndbok R762 Prosesskode 2 Standard beskrivelse for bruer og kaier Hovedprosess 8*. Oslo: Statens vegvesen.
- Steinsmo, U. (1994) *Inspeksjon av Klubbasund bru, Djupasund bru og Brandasund bru i Bømlo - 8. desember 1993*. SINTEF Materialteknologi Korrosjonsenteret.
- Stræte, O. (2008a) *Befaring av bru nr. 15-221 Bergsøysundbrua på E39*. Teknologisk Institutt as.
- Stræte, O. (2008b) *Tilstandvurdering E-39 bru 12-2900 - Nordhordlandsbroen*. Teknologisk Institutt as.
- Stræte, O. (2009) *Vurdering av overflatebehandling for rehabilitering av bru nr. 15-2221 Bergsøysundbrua - E39*. Teknologisk Institutt as.

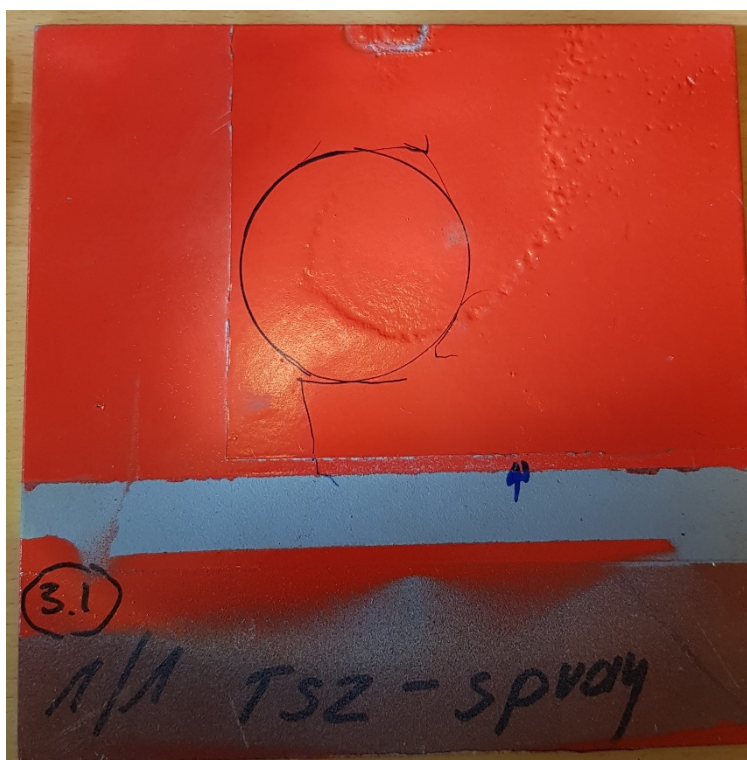
Vedlegg

Vedlegg 1 – Prøver valgt til elektrokjemiske forsøk

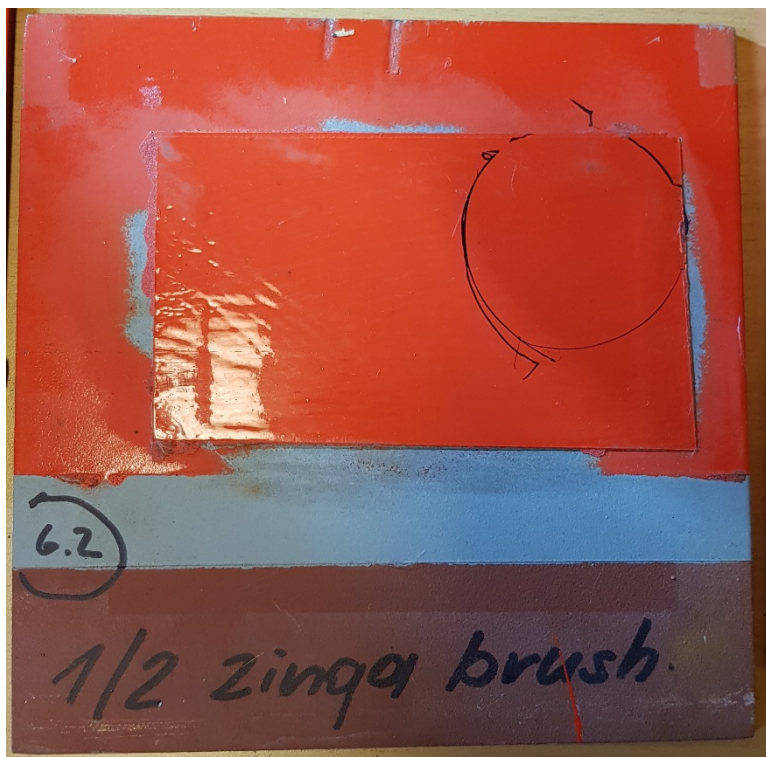
Forsøk nr. E1



Forsøk nr. E2



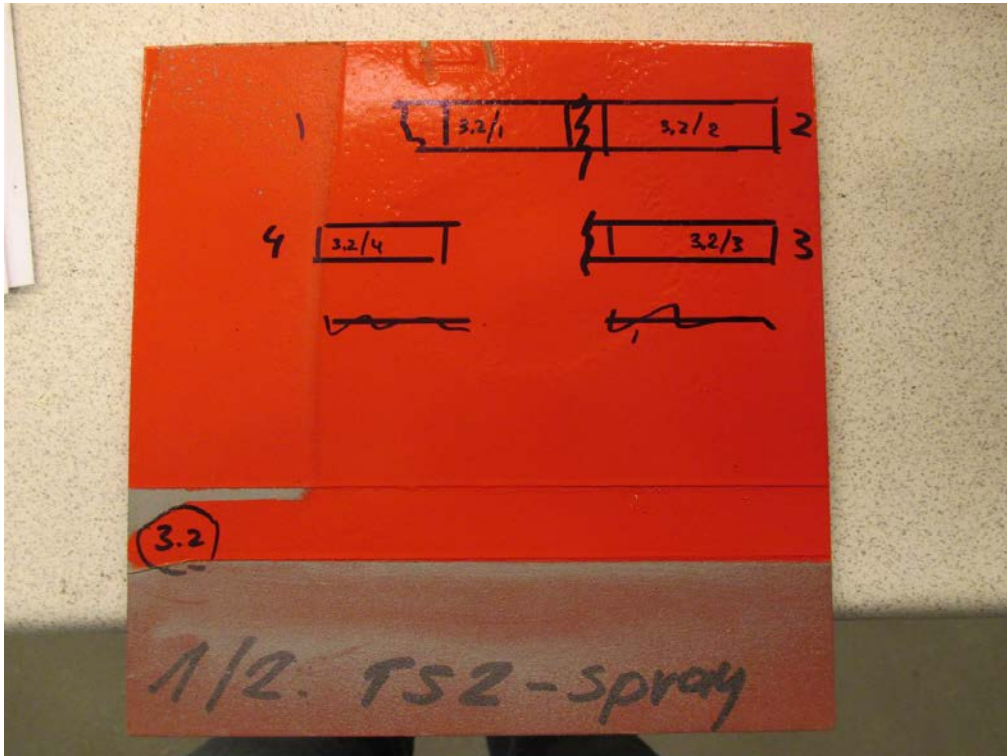
Forsøk nr. E3



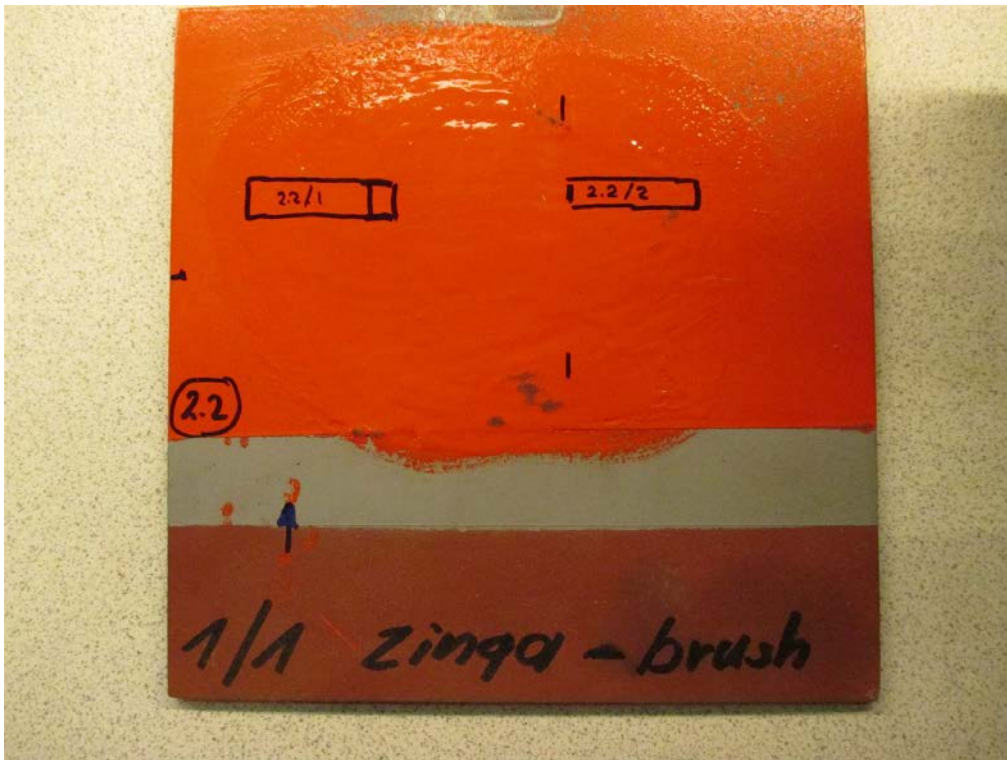
Vedlegg 2 Mikroskopering – markering av prøver på prøveplater

Prøver til mikroskopering ble skåret ut av prøveplatene. Markeringen på platene viser hvor på platene prøvene ble skåret ut.

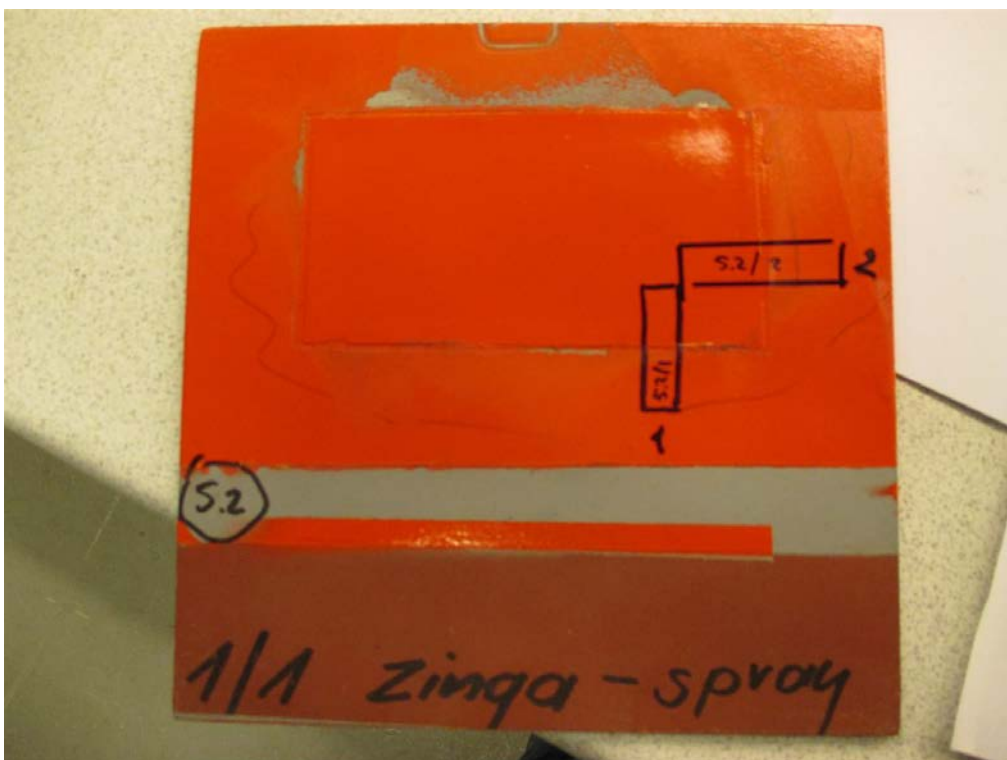
Prøve M1 - Prøveplate 3.2 markering av prøver til mikroskopering



Prøve M2 - Prøveplate 2.2 markering av prøver til mikroskopering



Prøve M3 - Prøveplate 5.2 markering av prøver til mikroskopering



Prøve M4 - Prøveplate 1.1 markering av prøver til mikroskopering

