

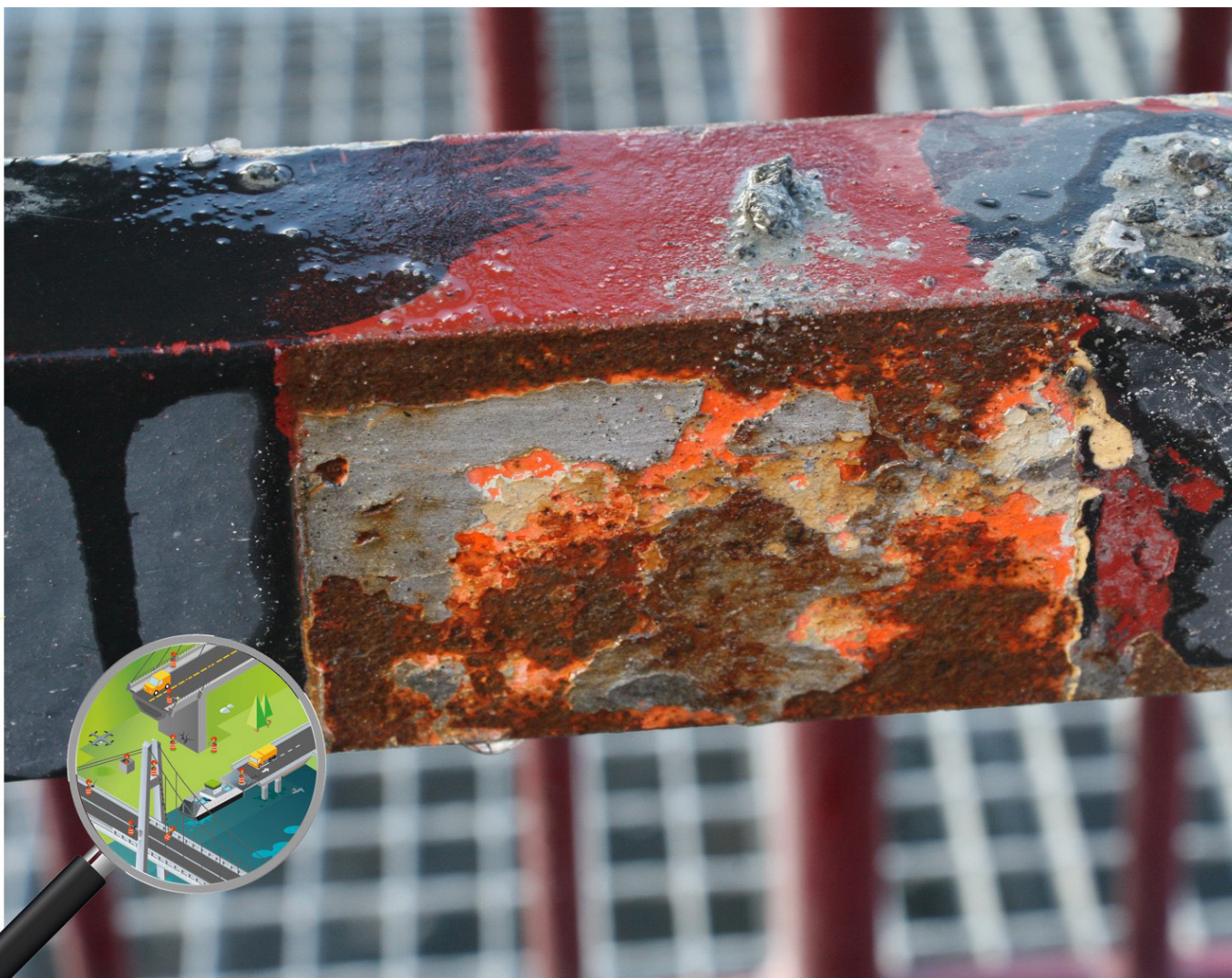


Vedlikehold av bly- og kromatholdige belegg

FoU-programmet Bedre bruvedlikehold 2017-2021

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 595



Tittel

Vedlikehold av bly- og kromatholdige belegg

Undertittel

FoU-programmet Bedre bruvedlikehold 2017-2021

Forfatter

Ole Øystein Knudsen, SINTEF Industri

Avdeling

Vegavdelingen

Seksjon

Tunnel, geologi og betong

Prosjektnummer

604875

Rapportnummer

Nr. 595

Prosjektleder

Bård M. Pedersen

Godkjent av

Claus K. Larsen

Emneord

Materialteknologi, korrosjon, belegg, blymønje, kromat

Sammendrag

Fram til 1977 ble det benyttet beleggsystemer med blyoksid og sinkkromat på stålbruer i Norge. Disse beleggene medfører en HMS risiko i forbindelse med vedlikehold. Rapporten beskriver omfanget av denne type belegg på norske bruer, myndighetskrav i forbindelse med vedlikehold, erfaringer fra andre land og bransjer og strategi og prosedyrer for hvordan vedlikehold av denne typen belegg skal gjennomføres for å minimere HMS-risiko.

Title

Maintenance of coatings containing lead and chromate

Subtitle

R&D program Better bridge maintenance 2017-2021

Author

Ole Øystein Knudsen, SINTEF Industri

Department

Roads Department

Section

Tunnels, geology and concrete

Project number

604875

Report number

No. 595

Project manager

Bård M. Pedersen

Approved by

Claus K. Larsen

Key words

Materials Technology, corrosion, coatings, chromate, lead oxide

Summary

Until 1977 coating systems with lead oxide and zinc chromate were used on steel bridges in Norway. There is an HSE risk in connection with maintenance of these coatings. The report describes the extent of this type of coatings on Norwegian bridges, regulatory requirements related to maintenance, experience from other countries and industries and strategies and procedures for how maintenance of this type of coatings should be carried out to minimize the HSE risk.

Forord

Denne rapporten er et utarbeidet av FoU-programmet Bedre bruvedlikehold (2017–2021). Bedre bruvedlikehold skal gjennom ny kunnskap bidra til at Statens vegvesen kan optimalisere ressursbruken knyttet til inspeksjon, vedlikehold og forvaltning av bruer.

Bedre bruvedlikehold består av fire prosjekter:

- Prosjekt 1: Forvaltningsverktøy for bruer
- Prosjekt 2: Armeringskorrosjon i betong
- Prosjekt 3: Alkalireaksjoner i betong
- Prosjekt 4: Vedlikehold av stålbruer

Bedre bruvedlikehold ledes av Bård M. Pedersen, Vegdirektoratet.

Denne rapporten er skrevet av Ole Øystein Knudsen, SINTEF Industri, innenfor rammene av et samarbeidsprosjekt mellom SINTEF Industri og Statens vegvesen. Rapporten tilhører *Prosjekt 4: Vedlikehold av stålbruer* som ledes av Håkon Matre. Prosjektet har fokus på vedlikehold av korrosjonsbeskyttende belegg på stålbruer.

Stålbruer bygd fram til midten av 1960-tallet ble påført blymønje som korrosjonsbeskyttelse, og for bruer i innlandsmiljø fortsatte praksisen fram til 1977. Fra midten av 1960-tallet ble det innført såkalte dupleksbelegg med termisk sprøytet sink (alternativt aluminium) og maling. I en periode fram til 1977 ble det i første strøk benyttet sinkkromat. Både blymønje og sinkkromat medfører risiko for utslipp til miljø og helseskade for personell som utfører vedlikehold av belegget.

En målsetning med samarbeidsprosjektet har vært å velge en strategi for å unngå helse- og miljøskader og å lage prosedyrer for hvordan belegg med blymønje og sinkkromat skal behandles.

2019:00808 - Åpen

Rapport

Vedlikehold av bly- og kromatholdige belegg

Bedre bruvedlikehold

Forfatter(e)

Ole Øystein Knudsen



Toppstrøket på Tjeldsundbrua er slitt av og eksponerer underliggende rød kromatholdig maling. Byggeår 1967. Bildet ble tatt i 2015.

SINTEF Industri

Postadresse:
Postboks 4760 Torgarden
7465 Trondheim
Sentralbord: 73593000

info@sintef.no

Foretaksregister:
NO 919 303 808 MVA

Rapport

Vedlikehold av bly- og kromatholdige belegg

Bedre bruvedlikehold

EMNEORD:

Materialteknologi;
Korrosjon; Belegg;
Blymønje; Kromat

VERSJON

1.0

DATO

2019-08-06

FORFATTER(E)

Ole Øystein Knudsen

OPPDRAGSGIVER(E)

Statens vegvesen

OPPDRAGSGIVERS REF.

Håkon Matre

PROSJEKTNR

102017950

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

43

SAMMENDRAG

Denne rapporten er utarbeidet i prosjektet "Vedlikehold av eldre bruer med blymønje og kromatholdig belegg" som er et samarbeidsprosjekt mellom SINTEF Industri og Statens vegvesen Vegdirektoratet i etatsprogrammet Bedre Bruvedlikehold. Frem til 1977 ble det benyttet beleggsystemer med blyoksid og sinkkromat på stålbruer i Norge. Disse beleggene medfører en HMS-risiko i forbindelse med vedlikehold.

Målsetning med prosjektet er å velge en strategi for å unngå helse- og miljøskader og lage prosedyrer for hvordan denne typen belegg skal behandles.

Målsetning med denne rapporten er å gi en oversikt over:

- relevante myndighetskrav i forbindelse med vedlikehold av belegg med tungmetaller
- omfanget av belegg med tungmetaller på norske bruer
- erfaringer med vedlikehold av belegg med tungmetaller fra andre land og bransjer

UTARBEIDET AV

Ole Øystein Knudsen

SIGNATUR



KONTROLLERT AV

Astrid Bjørgum

SIGNATUR



GODKJENT AV

Daniel Blücher

SIGNATUR



RAPPORTNR

2019:00808

ISBN

978-82-14-06395-0

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.0	2019-08-06	Første versjon

Innholdsfortegnelse

1	Sammendrag og konklusjoner	5
2	Innledning	6
2.1	Bakgrunn	6
2.2	Målsetning	6
2.3	Definisjoner	6
3	Bruk av blymønje og kromatholdig maling på bruer i Norge	7
4	Regelverk	9
4.1	Helserisiko for utførende personell	9
4.2	Risiko for utslipp til ytre miljø	10
4.3	Behandling av avfall	10
4.4	Forurenset grunn	12
5	Blymønje og sinkkromat på norske bruer	13
5.1	Blymønje	13
5.2	Kromatholdig maling	14
6	Beleggenes tilstand	15
6.1	Evaluering av tilstand	15
6.2	Beleggtilstand på bruer med blymønje i Trøndelag	16
6.2.1	Jøssundbrua	18
6.2.2	Stjørdal jernbanebru	20
6.2.3	Kvål	21
6.2.4	Meldal	22
6.2.5	Ena	23
6.3	Test av blymønje i henhold til ISO 12944-9	24
6.4	Tilstand på kromatholdig maling	25
6.4.1	Rombaksbrua	26
6.4.2	Madsøybrua	27
6.4.3	Kvalpsundet	28
6.4.4	Tjeldsundbrua	29
7	Prosedyrer for vedlikehold av belegg med tungmetaller fra andre land og bransjer	30
7.1	Statkraft	30
7.2	Trafikvirket i Sverige	31

7.3	Prosedyrer fra USA og New Zealand	32
8	Avfallsreducerende strategier.....	33
8.1	Kjemiske malingsfjernere.....	33
8.2	Slipe- og børsteverktøy	33
8.3	Vannjetting.....	33
8.4	Induksjon.....	34
8.5	Vakuumblåsing.....	34
8.6	Blastox.....	34
9	Diskusjon.....	36
9.1	Omfang og strategi	37
9.2	Rengjøring og behandling av avfall etter rengjøring	37
9.3	Reparasjonsbelegg	38
10	Forslag til prosedyre for rehabilitering av belegg med tungmetaller	38
10.1	Skade- og sårbarhetsvurdering	38
10.2	Blymønje	40
10.2.1	Identifisering av blymønje	40
10.2.2	Tiltak og valg av vedlikeholdsbelegg.....	40
10.3	Belegg med sinkkromat	41
10.3.1	Identifisering av sinkkromat	41
10.3.2	Tiltak og valg av vedlikeholdsbelegg.....	41
10.4	Risikovurdering før vedlikehold av belegg.....	42
11	Referanser.....	43

1 Sammendrag og konklusjoner

Blymønje ble spesifisert for korrosjonsbeskyttelse av stålbruer fram til 1969, da dupleksbelegg ble introdusert for kystbruer i den nye spesifikasjonen. Men allerede fra 1965 ble dupleksbelegg anbefalt for kystbruer, basert på erfaringer fra Storbritannia hvor Forth Road Bridge (åpnet 1964) ble metallisert med sink og malt. Det gjort et forsøk med dupleksbelegg på Djupfjord bru i 1958 (nå revet), mens Tjeldsundbrua, som ble åpnet i 1967, innledet den utbredte bruken av dupleksbelegg på bruer i Norge. Stålbruer i innlandsmiljø kunne beskyttes med blymønje fram til 1977.

Ifølge Vegvesenets database Brutus ble ca. 2200 bruer med tilsammen ca. 1 100 000 m² stål bygget i perioden da blymønje ble spesifisert, og dermed trolig opprinnelig beskyttet med blymønje. Blymønja er fjernet på en betydelig andel av dette er allerede. Det er imidlertid ikke mulig å fastslå sikkert hvor mye, siden det er begrenset med informasjon om overflatevedlikehold utført før 2000. En grundig gjennomgang av bruer i Trøndelag fra den aktuelle tidsperioden indikerer at omkring 25 % av det aktuelle stålarealet fortsatt har blymønje.

Dupleksbelegg som inkluderte malingsstrøk med sinkkromat ble inkludert i Vegvesenets prosesskode i 1969 for bruer i kyststrøk, men anbefalt allerede fra 1965. Rød sinkkromat ble brukt på et antall bruer åpnet mellom 1967 og 1969, for eksempel Tjeldsundbrua og Hornesund bru. Deretter ble gul sinkkromat spesifisert fram til 1977, da den ble erstattet med sinkfosfat. Ifølge Brutus er det rimelig å anta at dupleksbelegg med sinkkromat ble påført omkring 100 bruer med tilsammen omkring 300 000 m² stål.

Tiltak vil være avhengig av bruas restlevetid. Hvis denne er betydelig foreslår vi å utnytte levetiden til blymønja, for deretter å fjerne alt og påføre et dupleksbelegg. For kort restlevetid foreslår vi å ikke gjøre noe, så lenge det ikke går ut over bruas bæreevne.

Dupleksbelegg som inneholder sinkkromat bør beholdes i størst mulig grad, siden sinkkromat har gode beskyttende egenskaper og ikke utgjør noen HMS-risiko så lenge belegget sitter på brua.

Vedrørende helse, miljø og sikkerhet:

- Blåserensing av bly- og kromatholdig maling medfører ekstra krav til arbeidsgiver vedrørende beskyttelse og oppfølging av arbeidstakere. Bestemmelser i "Forskrift om utførelse av arbeid, bruk av arbeidsutstyr og tilhørende tekniske krav" om blyforbindelser (ved blåserensing av blymønje) og kreftfremkallende kjemikalier (ved blåserensing av kromatholdig maling) skal følges.
- Avfall fra blåserensing skal behandles i henhold til avfallsforskriften.
- Der det er utført blåserensing tidligere, eller belegget har flasket av brua, bør det undersøkes om grunnen under brua er forurenset. Avhengig av tilstandsklasse og risiko for spredning kan det være krav om fjerning av forurenset grunn.
- Ulike metoder for avfallsreducerende tiltak i forbindelse med rengjøring er gjennomgått. Om de er hensiktsmessige ut fra økonomi og HMS må vurderes for hvert enkelt vedlikehold. De opplysningene vi har mottatt tyder ikke på at levering av blåsesand med rester av tungmetaller er en vesentlig kostnad sammenlignet med vedlikeholdets totale kostnad.
- Det må vurderes om ekstra tiltak for å hindre utslipp av blåsestøv til ytre miljø er nødvendig. Det er ikke funnet tilstrekkelig informasjon til å gi et svar på dette.

2 Innledning

2.1 Bakgrunn

Stålbruer bygd fram til midten av 1960 tallet i Norge ble normalt belagt med blymønje for korrosjonsbeskyttelse. I 1965 ble malingsspesifikasjonen endret og termisk sprøyta sink eller aluminium med maling (dupleksbelegg) ble anbefalt for bruer i kyststrøk. Overgangen skjedde trolig gradvis, slik at det i denne rapporten er antatt at blymønje hovedsakelig ble bruk på bruer åpnet før 1967. Deretter ble dupleksbelegg med termisk sprøyta sink og alkyd/klorkautsjuk benyttet, der det første strøket inneholdt sinkkromat. Sinkkromat ble byttet ut med sinkfosfat i 1977. Det er her antatt at utskifting av sinkkromat gikk raskt, siden det ikke ville ha vesentlige følger for prosjektering eller kostnader. Ifølge Brutus er det omkring 2200 små og store bruer av stål med byggeår til og med 1977 som fortsatt er i drift. Blymønje ble anbefalt for bruer i innlandsstrøk fram til 1977.

Blymønje og sinkkromat medfører en risiko for utslipp til miljø og helseskade for personell som utfører vedlikehold av belegget. Statens vegvesen har et betydelig antall bruer bygd i tidsrommet hvor disse beleggene ble brukt, med behov for overflatevedlikehold. Ifølge opplysninger fra en malingsleverandør i 1977 inneholdt blymønje 1,2 kg blyoksid pr liter maling, mens de kromatholdige malingene som ble spesifisert mellom 1965 og 1977 inneholdt 0,25 – 0,3 kg sinkkromat per liter.

2.2 Målsetning

Målsetning med prosjektet er å velge en strategi for å unngå helse- og miljøskader og lage prosedyrer for hvordan denne typen belegg skal behandles. Delmål har vært:

- Beskrive relevante myndighetskrav i forbindelse med vedlikehold av belegg med tungmetaller
- Estimere omfanget av belegg med tungmetaller på norske bruer
- Samle erfaringer med vedlikehold av belegg med tungmetaller fra andre land og bransjer
- Estimere tilstand og levetid for blymønje og kromatholdige dupleksbelegg som funksjon av korrosiviteten til det lokale miljøet der bruene står eksponert

2.3 Definisjoner

Blymønje: Dette er egentlig en blanding av toverdige (PbO) og fireverdige (PbO_2) blyoksid, men blir normalt brukt som betegnelse på den malinga som man fikk ved å blande dette pulveret i linolje eller alkyd.

Byggeår: Begrepet byggeår er noe upresist siden å bygge ei stor bru normalt tar mange år. En mer presis datering av ei bru ville være de året den ble åpnet for trafikk. Byggeår er imidlertid brukt i denne rapporten siden dette begrepet brukes i Brutus.

Levetid til belegg: Tiden til første større vedlikehold, definert i ISO 12944-1. Dette er et upresist mål på beleggets levetid. Skal for eksempel preventivt vedlikehold (som på Rombaksbrua) inkluderes? Og hva er et større vedlikehold? Beleggtilstanden ved oppstart av vedlikehold varierer. Her er for enkelhets skyld årstall for beleggvedlikehold som er oppført i Brutus benyttet for å beregne levetiden til belegg.

Sinkfosfat: Hvitt pulver med formel $Zn_3(PO_4)_2$ som er langt mindre giftig enn kromat.

Sinkkromat: Gult pulver med formel $ZnCrO_4$. Kromat (seksverdige krom) er kjent for å gi god korrosjonsbeskyttelse og er brukt både i maling og konversjonsbelegg (kromatering). Bruken fases ut fordi seksverdige krom er svært giftig og kreftfremkallende. Rustfritt stål beskyttes av et sjikt treverdige krom, som er langt mindre giftig.

3 Bruk av blymønje og kromatholdig maling på bruer i Norge

Dette kapitlet er basert på Reidar Klinges historiske oversikt over korrosjonsbeskyttende belegg [1].

Blymønje var det suverent mest brukte belegget for korrosjonsbeskyttelse av stålbruer i Norge fram til 1965. I utgangspunktet var bindemidlet basert på linolje, som etter hvert ble erstattet med alkyd omkring midten av 1900-tallet. Nesten alle bruer med byggeår før 1965 ble derfor originalt beskyttet med blymønje.

Dupleksbelegg med termisk sprøyta sink (eller aluminium) ble innført i Vegvesenets beleggspesifikasjon i 1969. Før det var det spesifisert blymønje som førstestrøk på alle bruer. Men allerede fra 1965 ble det anbefalt å bruke dupleksbelegg på kystbruer. Tjeldsundbrua som ble åpnet i 1967 innledet den utstrakte bruken av dupleksbelegg på norske bruer. Det er i denne rapporten derfor antatt at dupleksbelegg ble benyttet på bruer som står oppført med byggeår 1967 og senere i Brutus.

I rundskriv NR. 60/69 BRU (1969), "Korrosjonsbeskyttelse av utendørs stålkonstruksjoner – bruer, ferjeleier, etc." ble de den gang nye spesifikasjonene nr. 1-10 beskrevet. Spesifikasjon nr. 1 og 2 var for blåsesand til overflatebehandling, Spesifikasjon 3 var sink metalltråd for termisk sprøyting, mens Spesifikasjon 4 og 5 var washprimere. Spesifikasjon nr. 6 var blymønje basert på alkyd bindemiddel. Spesifikasjon 7 og 8 var grunning med sinkkromat, og spesifikasjon 9 og 10 var dekkmaling. Fra 1965 til 1969 var trolig ikke malingsystemet i dupleksbelegget spesifisert i særlig grad, slik at ulike belegg som var tilgjengelige på markedet kan ha blitt benyttet. Ifølge Klinge ble det frarådet å bruke blymønje på TSZ, slik at det trolig ikke er blymønje på bruer med dupleksbelegg. Pigmentering med sinkkromat var trolig vanlig i korrosjonsbeskyttende maling på denne tiden, og en rød maling med sinkkromat ble brukt en periode. Både Tjeldsundbrua fra 1967 og Hornesund bru fra 1969 har dette røde sinkkromatbelegget, ifølge Klinge.

Dupleksbelegg ble imidlertid ikke innført som eneste alternativ. Beleggsystemene spesifisert i "Retningslinjer for vedlikehold av bruer - Vegvesenets håndbokserie nr. 3" fra 1976 er gjengitt i Tabell 1. System A dupleksbelegg var oppført som hovedsystem. System B med blymønje kunne velges for "tørre innlandsstrøk". Hvis brua ble malt innendørs i verksted kunne washprimer med Spesifikasjon 7-10 eller Spesifikasjon 15-18 brukes i stedet for System B, som kunne være ønskelig på grunn av kortere herdetid. System D ble anbefalt dersom det ikke var ønskelig å metallisere.

Tabell 2 viser type bindemiddel og pigmentering med sinkkromat i spesifikasjon 7-10, 11-14 og 15-18. Pigmenteringen var lik i de tre seriene, der de to første strøkene inneholdt gul sinkkromat. Spesifikasjon 7-10 med alkyd hadde den ulempen at den herdet langsomt. Ved å blande inn klor-kautsjuk (KK) ble herdetiden redusert. Spesifikasjon 11-14 med alkyd/KK blandingsforhold 1:1 ga imidlertid et spesielt hardt og sprøtt belegg, slik at man etter hvert gikk over til Spesifikasjon 15-18 med et lavere innhold av KK (blandingsforhold 2:1). Forskjellen mellom de tre seriene ligger altså i bindemidlet. Da sinkkromat ble skiftet ut med sinkfosfat i 1977 ble det ikke laget nye spesifikasjoner for produkter med alkyd/KK i forholdet 1:1. Spesifikasjon 107-110 er rene alkydmalinger, og Spesifikasjon 115-118 har alkyd/KK i forholdet 2:1.

Sinkkromatholdig maling ble påført både over CMP sinkpulvermaling og TSZ, som vist i Tabell 1 og Tabell 2. CMP sinkpulvermaling ble innført i 1972 [1]. Blymønje ble ikke overmalt med kromatholdig maling ifølge retningslinjene. I 1977 ble sinkkromat erstattet med sinkfosfat [1]. Vi har derfor antatt at alle bruer i kyststrøk bygget i perioden 1969 – 1977 har dupleksbelegg med to strøk kromatholdig maling. I tillegg vil eldre bruer som ble vedlikeholdt med dupleksbelegg i denne perioden trolig være påført maling med sinkkromat. Dette er ikke hensyntatt her, siden vi ikke har opplysninger om vedlikehold i denne perioden.

Tabell 1. Beleggsystemene spesifisert i "Retningslinjer for vedlikehold av bruer. Vegvesenets håndbokserie nr. 3" fra 1976.

Strøk	System A - kyststrøk	System B - innland	System C - vedlikehold	System D – sinkpulver
1	TSZ 100 µm	Washprimer 10 µm	Spes. 6 blymønje*	CMP sinkpulvermaling**
2	Washprimer 10 µm	Spes. 6 blymønje	Spes. 9/13/17	Spes. 11/15
3	Spes. 7/11/15	Spes. 6 blymønje	Spes. 10/14/18	Spes. 12/16
4	Spes. 8/12/16	Spes. 9/13/17		Spes. 13/17
5	Spes. 9/13/17	Spes. 10/14/18		Spes. 14/18
6	Spes. 10/14/18			

* Bindemidlet i blymønje var alkyd

** Spesifisert 95 vekt% sink i tørr film. Bindemiddel var ren klor-kautsjuk

Tabell 2. Sammensetning til Spesifikasjon 7-18

Alkyd	Alkyd/KK 1:1	Alkyd/KK 2:1
7 sinkkromat, gul	11 sinkkromat, gul	15 sinkkromat, gul
8 sinkkromat, gul	12 sinkkromat, gul	16 sinkkromat, gul
9 grå	13 grå	17 grå
10 grå	14 grå	18 grå

4 Regelverk

4.1 Helseisiko for utførende personell

Blåserensing av bly- og kromatholdige belegg medfører helseisiko. Arbeidstilsynet angir grenseverdier for forurensninger i arbeidsatmosfæren [2]:

- Bly og blyforbindelser: 0,05 mg/m³ luft
- Kromatforbindelser: 0,005 mg/m³ luft

Ved blåserensing av bly- og kromatholdige belegg er det sannsynlig at disse grenseverdiene overskrides. Konklusjon må imidlertid baseres på målinger. Standard trykkluftbasert åndedrettsvern som benyttes ved overflatebehandling vil trolig gi tilstrekkelig beskyttelse, siden pusteluft da tilføres utenfra. Inspektører og annet personell bør også bruke trykkluftbasert åndedrettsvern. Blåsestøv vil legge seg etter en viss tid, men kan raskt virvles opp igjen som følge av bevegelser i luften, forårsaket for eksempel av annet arbeid eller vind. Verneutstyr kan derfor være nødvendig helt til støvet er fjernet. Igjen bør dette undersøkes ved målinger.

Forskrift om utførelse av arbeid [3] angir arbeidsgivers forpliktelser i forbindelse med arbeid med farlige kjemikalier som kan medføre helsefare. Normal overflatebehandling med blåserensing og påføring av maling vil falle innunder denne forskriften. Blåserensing av bly- og kromatholdig maling medfører imidlertid flere tilleggskrav.

Forskriftens § 3-25 spesifiserer krav om helseundersøkelse ved arbeid med bly og blyforbindelser:

- Arbeidstaker som skal arbeide med bly og blyforbindelser, skal gjennomgå helseundersøkelse før arbeidstakeren settes til slikt arbeid.
- Helseundersøkelsen skal omfatte klinisk undersøkelse og måling av blyinnholdet i blodet.
- Måling av blyinnholdet i blod skal utføres hver 3. måned.
- Dersom tre etterfølgende kvartalskontroller viser verdier lavere enn 0,5 µmol/l for kvinner i fertil alder, og 1,0 µmol/l for øvrige arbeidstakere, kan kontroll av blyinnholdet i blod foretas en gang pr. år så lenge eksponeringsnivået og arbeidsforholdene er uendrede.
- Hvis arbeidstaker har så høye verdier av bly i blodet at det er nødvendig med omplassering, jf. § 3-22, skal arbeidstakeren undersøkes av lege. Det skal også foretas helseundersøkelse av arbeidstakerne dersom eksponeringen for blykonsentrasjon i luft overstiger grenseverdier for forurensninger i arbeidsatmosfæren i forskrift om tiltaks- og grenseverdier § 5-1 samt de biologiske grenseverdier i § 5-2.
- Arbeidstakere som har fått dispensasjon i henhold til § 1-5 skal ha regelmessig helseundersøkelse, minst hvert 3. år, så lenge dispensasjonen varer.

§ 3-26 spesifiserer minimum 3 måneder omplassering ved overskridelse av angitte grenseverdier for blyverdier i blodet. Det er også krav om register over arbeidstakere som eksponeres for blyforbindelser (§ 31-1).

Forskriften nevner ikke arbeid med kromatholdige forbindelser spesielt, men disse vil falle innunder arbeid med kreftfremkallende kjemikalier. Dette behandles spesielt i flere paragrafer i forskriften, som blir for omfattende til å gjengis i sin helhet her. Følgende paragrafer er relevante:

- § 3-11 Særlige tiltak ved arbeid med kreftfremkallende eller mutagene kjemikalier.
- § 3-16 Håndtering av farlig avfall.
- § 3-17 Hygienetiltak ved arbeid med kjemikalier.
- § 31-1 Register over arbeidstakere utsatt for kreftfremkallende eller mutagene kjemikalier og bly.

4.2 Risiko for utslipp til ytre miljø

Forurensningsforskriften regulerer utslipp til ytre miljø [4]. Overflatebehandling av bruer vil omfattes av kapittel 29 "Forurensninger fra mekanisk overflatebehandling og vedlikehold av metallkonstruksjoner i tilknytning til faste anlegg/installasjoner". Utslipp av bly og kromat til vann omtales i § 26. Utslipp av disse komponenter er bare tillatt dersom de er så små at de må anses å være uten miljømessig betydning. Fylkesmannen kan gi veiledning med å vurdere hva som anses å være uten miljømessig betydning.

§ 29-5 om utslipp til luft sier at støv/partikler fra blåserensing av metallkonstruksjoner skal ikke medføre at mengde nedfallsstøv overstiger 5 g/m² i løpet av 30 dager. Nedfallsstøv som inneholder rester av bly- og kromatholdig maling vil imidlertid måtte ses i forhold til tilstandsklasser for forurenset grunn, se seksjon 4.4. Grenseverdiene for konsentrasjon av bly og kromat i de ulike tilstandsklassene er svært lave, og spesielt for kromat. I hvilken grad normal telting i tilstrekkelig grad hindrer utslipp har vi ikke funnet offentlig tilgjengelig informasjon om. Vi har fått muntlig informasjon fra veimyndigheter i USA krever undertrykk i teltet ved blåserensing av blyholdig maling på bruer i bystrøk. Dette kan være komplisert hvis det samtidig er krav om regulering av temperatur og fuktighet i teltet.

4.3 Behandling av avfall

Krav til behandling av avfall er behandlet i Forskrift om gjenvinning og behandling av avfall (Avfallsforskriften), Kapittel 9, fra 2004. Krav til testing er spesifisert et informasjonsskriv fra det som da var Statens Forurensningstilsyn (SFT, nå Miljødirektoratet) [5].

Avfallsforskriften opererer med deponi i tre kategorier med ulike grenseverdier for utlekkingspotensial:

- kategori 1: deponier for farlig avfall,
- kategori 2: deponier for ordinært avfall,
- kategori 3: deponier for inert avfall.

Avfallsprodusenten skal sørge for basiskarakterisering av avfall før deponering. Avfallets sammensetning og utlekkingssegenskaper skal underbygges ved testing. Det er ikke påkrevd med laboratorietesting for avfall som skal til deponi for ordinært avfall, forutsatt at det ikke er mistanke om at det kan inneholde farlige forbindelser. Dette er avfallsprodusentens ansvar.

Prøver av avfallet undersøkes ved standardisert testing i laboratorium for å bestemme både innholdet av og utlekkingspotensial for utvalgte stoffer. Laboratoriet skal ha akkreditering eller tilsvarende kvalitetssikringssystem. Det kreves både kolonnetest [6] og ristetest [7] for evaluering av utlekkingspotensial.

Grenseverdier for klassifisering med hensyn på ulike stoffer i de to testmetodene med hensyn på utlekkingspotensial er gitt i Avfallsforskriften, og gjengitt her i Tabell 3. Grenseverdier for utlekking av bly og krom er markert i tabellen. Forskriften spesifiserer at det er forbudt å uttynne eller blande avfallet i den hensikt å oppfylle kriteriene for mottak.

Det er rimelig å anta at blåsemiddel fra blåserensing av bruer med bly- og kromatholdig belegg vil være i kategori 1, farlig avfall. Vi kan anta følgende:

- Forbruk av blåsemiddel: 50 kg/m² for malingsbelegg (bly) og 75 kg/m² for dupleksbelegg (kromat)
- Filmtykkelse for bly- og kromatholdig maling: 100 µm
- Innhold av blyoksid i blymønje: 1,2 kg/liter
- Innhold av sinkkromat: 0,3 kg/liter

Vi vil da få omkring 2000 mg/kg bly og omkring 100 mg/kg krom i det brukte blåsemiddelet. Hvor mye av dette avfallet som vil lekke ut i en ristetest eller kolonnetest (Tabell 3) er ikke mulig å si før det er testet. Tilsetninger i blåsemidlet kan binde malingrestene i blåsemidlet og begrense utlekkingen, men forskriften sier ikke noe om det er tillatt eller ønskelig å bruke slike.

Kostnaden for levering av denne typen farlig avfall er anslått av en mottager til minimum 2000 NOK/tonn i 2018.

Tabell 3. Grenseverdier for klassifisering av avfall gitt i Avfallsforskriften kapittel 9. Utlekking av farlige forbindelser fra avfall ved ristetest og kolonnetest.

Parameter	L/S* = 10 l/kg ved ristetest med partikkelstørrelse < 4 mm mg/kg tørrstoff			C ₀ (L/S = 0,1 l/kg) ved kolonnetest mg/l		
	Inert	Ordinært	Farlig	Inert	Ordinært	Farlig
Arsen (As)	0,5	2	25	0,06	0,3	3
Barium (Ba)	20	100	300	4	20	60
Kadmium (Cd)	0,04	1	5	0,02	0,3	1,7
Krom (Cr) totalt	0,5	10	70	0,1	2,5	15
Kobber (Cu)	2	50	100	0,6	30	60
Kvikksølv (Hg)	0,01	0,2	2	0,002	0,03	0,3
Molybden (Mo)	0,5	10	30	0,2	3,5	10
Nikkel (Ni)	0,4	10	40	0,12	3	12
Bly (Pb)	0,5	10	50	0,15	3	15
Antimon (Sb)	0,06	0,7	5	0,1	0,15	1
Selen (Se)	0,1	0,5	7	0,04	0,2	3
Sink (Zn)	4	50	50	1,2	15	60
Klorid	800	15000	25000	460	8500	15000
Fluorid	10	150	500	2,5	40	120
Sulfat	1000	20000	50000	1500	7000	17000
Fenoltall	1	800	1000	0,3	250	320
Løst organisk karbon (DOC)	500	60000	100000	160	–	–
Totalt suspendert stoff (TSS)	4000	4000	4000			

* L/S = Liquid to solid ratio

4.4 Forurenset grunn

Det er også en viss fare for at tidligere utført reparasjon av belegg har ført til forurensning av grunnen under brua. SFT utarbeidet i 2009 en veileder for klassifisering av forurenset grunn [8]. Veilederen gir råd om prøvetaking og tiltak basert på klassifiseringa.

Tilstandsklassene er etablert for å kunne gi føringer på hvor høye konsentrasjoner av miljøgifter som er helsemessig akseptabelt knyttet til forskjellige typer arealbruk. Grenseverdier for de ulike tilstandsklassene er gjengitt i Tabell 4. Risiko for spredning av miljøgifter til omkringliggende arealer skal vurderes når jorda er forurenset i helsebasert tilstandsklasse 4 eller 5. Over klasse 5 kan jorda anses å være farlig avfall. Ifølge veilederen er tilstandsklasse 3 og noen ganger tilstandsklasse 4 akseptabelt for trafikkarealer.

Tabell 4. Tilstandsklasser for forurenset grunn (mg/kg tørrstoff)

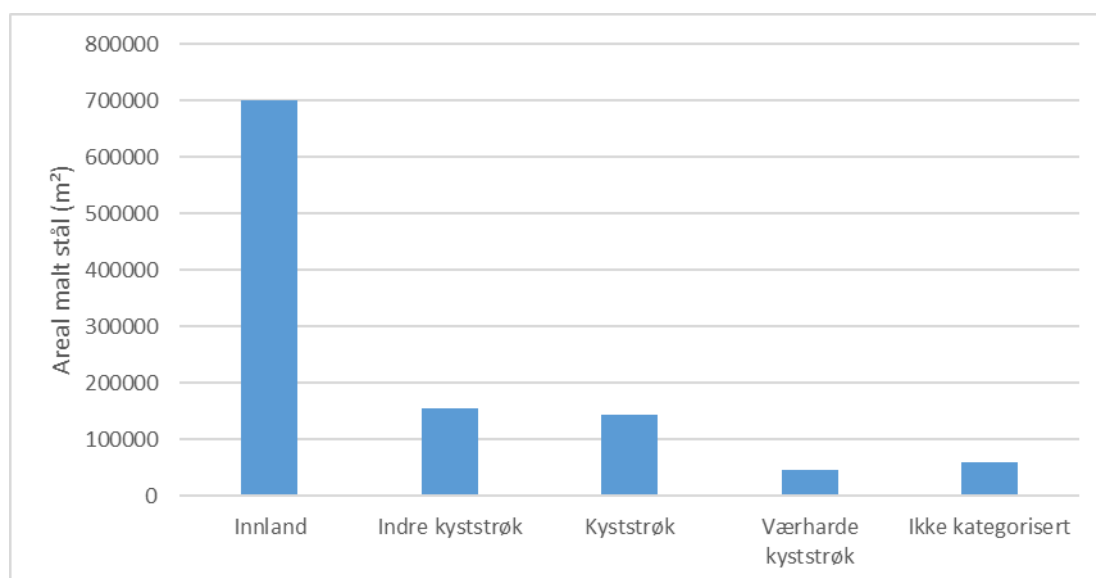
Tilstandsklasse/ Stoff	1	2	3	4	5
	Meget god	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
Arsen	< 8	8-20	20-50	50-600	600-1000
Bly	< 60	60 -100	100-300	300-700	700-2500
Kadmium	<1,5	1,5-10	10-15	15-30	30-1000
Kvikksølv	<1	1-2	2-4	4-10	10-1000
Kobber	< 100	100-200	200-1000	1000-8500	8500-25000
Sink	<200	200-500	500-1000	1000-5000	5000-25000
Krom (III)	<50	50-200	200-500	500-2800	2800-25000
Krom (VI)	<2	2-5	5-20	20-80	80-1000
Nikkel	< 60	60- 135	135-200	200-1200	1200-2500
∑PCB ₇	< 0,01	0,01-0,5	0,5-1	1-5	5-50
DDT	<0,04	0,04-4	4-12	12-30	30-50
∑PAH ₁₆	<2	2-8	8-50	50-150	150-2500
Benzo(a)pyren	< 0,1	0,1-0,5	0,5- 5	5 -15	15-100
Alifater C8-C10 ¹⁾	< 10	≤10	10-40	40-50	50-20000
Alifater > C10- C12 ¹⁾	< 50	50- 60	60-130	130-300	300-20000
Alifater > C12- C35	< 100	100-300	300-600	600-2000	2000-20000
DEHP	<2,8	2,8-25	25-40	40-60	60-5000
Dioksiner/furaner	<0.00001	0,00001- 0,00002	0,00002- 0,0001	0,0001- 0,00036	0,00036-0,015
Fenol	<0,1	0,1-4	4-40	40-400	400-25000
Benzen ¹⁾	<0,01	0,01-0,015	0,015-0,04	0,04-0,05	0,05-1000
Trikloretan	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,6	0,6-0,8	0,8-1000

5 Blymønje og sinkkromat på norske bruer

5.1 Blymønje

Figur 1 viser areal malt stål på bruer som ble bygget i periodene da blymønje ble spesifisert, fordelt på klimasone angitt i Brutus. Arealet malt stål er estimert som funksjon av bruareal og arealfaktor for ulike brutyper angitt i MOTIV (Modell for tildeling av vedlikeholdsmidler). Som figuren viser ble det brukt mer blymønje på innlandsbruer enn i de andre klimasonene, delvis fordi blymønje ble brukt i en lengre tidsperiode her og delvis fordi det er flest innlandsbruer. Areal av kabler på hengebruer er ikke inkludert, men disse ble også påført blymønje i den aktuelle tidsperioden. Faktisk areal med blymønje i dag er ikke mulig å estimere nøyaktig siden vi har begrenset med informasjon om overflatevedlikehold utført før 2000. Det er imidlertid helt sikkert betydelig lavere enn figuren viser, siden blymønje helt eller delvis er fjernet fra mange bruer. Det er rimelig å anta utskiftingstakten er størst i miljøer med høy korrosivitet (kyststrøk), siden behovet for vedlikehold er størst her. I hvilken grad blymønje er fullstendig fjernet eller vedlikeholdt flekkvis er også vanskelig å svare på, siden det ikke har vært noen overordnet strategi for dette. Noen fylker ser ut til å ha prioritert fullstendig fjerning, mens andre har valgt flikking av korroderte områder med ett eller flere heldekkende toppstrøk.

Til sammen gir tallene i Figur 1 i overkant av 1 100 000 m² malt stål fra den aktuelle tidsperioden. For Trøndelag har vi gjort en detaljert gjennomgang av bruene for å se hvilke som fortsatt har blymønje, se seksjon 6.2. Av omkring 300 bruer som ble bygget i den aktuelle perioden er vi relativt sikre på at 48 fortsatt har blymønje. De omkring 300 bruene har et samlet stålareal på omkring 160 000 m² (bortsett fra kabler), mens de 48 bruene med blymønje har et areal på bare 26 000 m², det vil si bare omkring 15 % av det samlede arealet. Bruforvalter i Trøndelag mener at vi bør ta høyde for at arealet med blymønje kan være noe høyere, kanskje opp mot 25 %. Tall i denne størrelsesorden kan være realistisk i flere fylker.¹ Behandling av bruer med blymønje varierer imidlertid noe fra fylke til fylke, som nevnt over. Siden beskrivelse av overflatebehandling stort sett ikke er lagt inn i Brutus er det vanskelig å si noe om mengde gjenværende blymønje.



Figur 1. Areal malt stål på bruer med byggeår til 1967 samt alle innlandsbruer med byggeår fra 1968 til 1977. For disse bruene ble det originalt spesifisert blymønje som korrosjonsbeskyttelse.

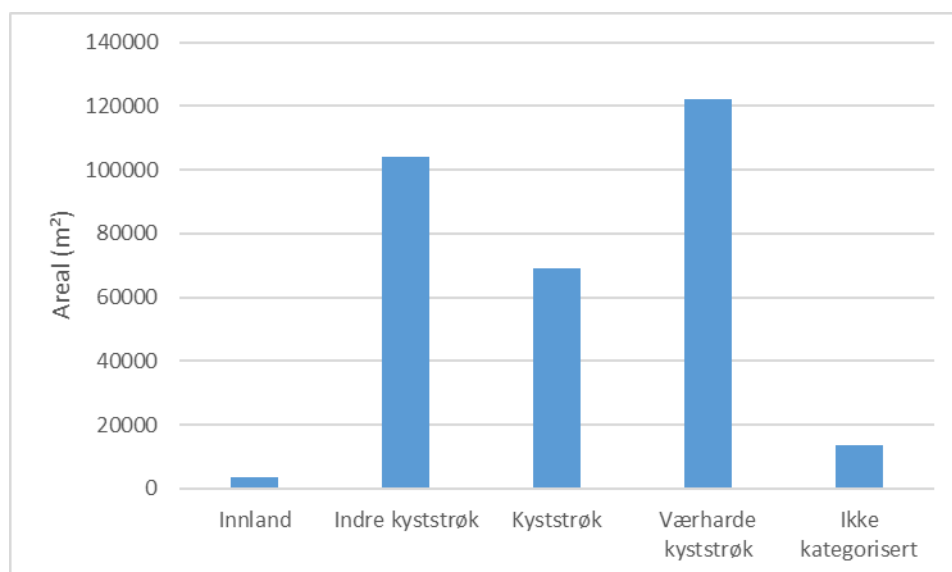
¹ Samtale med bruforvalter i Østfold, Oslo og Akershus, Rogaland, Sogn og Fjordane, Møre og Romsdal, samt en inspektør i Aas Jacobsen.

5.2 Kromatholdig maling

De kromatholdige malingene ble ikke brukt i kombinasjon med blymønje, ifølge spesifikasjonen vist i Tabell 1 og opplysninger fra Klinge. Det antas derfor at kromatholdig maling bare ble brukt i dupleksbelegg og på CMP sinkpulvermaling mellom ca. 1967 og 1977.

Figur 2 viser et estimat av antall kvadratmeter med dupleksbelegg der malingsbelegget er pigmentert med sinkkromat. Det er antatt at bruer i kyststrøk med byggeår 1967 – 1977 har denne typen belegg. Som tidligere nevnt er det normalt ikke angitt type beleggsystem på eldre bruer i Brutus, slik at det er en viss usikkerhet om det er dupleksbelegg på alle bruene som inkluderes her.

En gjennomgang av tilstanden til et utvalg av disse bruene (over 100 m lengde) viser at de gjennomgående var i god tilstand, se seksjon 6.4. Belegget er vedlikeholdt på flere av disse bruene, men blåserensning kun på begrensede arealer, ut fra de bruene vi har opplysninger om. Det er derfor rimelig å anta at arealene angitt i Figur 2 er relativt riktige. Bruk av kromatholdig maling på kabler er ikke inkludert. På ei hengebru vil kablene utgjøre omkring 10 % av det belagte arealet. Selv om det bare er 15 hengebruer i dette utvalget, utgjør de omkring 70 % av det malte stålarealet. Det faktiske arealet med kromatholdig maling kan derfor være noe høyere enn anslått her.



Figur 2. Areal belagt stål på bruer klassifisert som indre kyst, kyst og eksponert kyst med byggeår 1967 – 1977. For disse bruene ble det spesifisert dupleksbelegg med sinkkromat i de to første malingsstrøkene.

6 Beleggenes tilstand

6.1 Evaluering av tilstand

Tilstanden til beleggsystemer med blymønje og kromat undersøkt, hovedsakelig basert på bilder i Brutus fra vegvesenets egne inspeksjoner, samt noen få inspeksjoner utført i prosjektet. I Brutus er tilstand og vedlikehold av belegg relativt godt dokumentert fra omkring 2000. Det ble gjort et forsøk på å finne informasjon om reparasjon av belegg på bruene før 2000 ved å søke i papirarkiv. Dette var tidkrevende, og etter å ha søkt for mer enn 15 bruer uten å ha funnet noe vesentlig ble dette avsluttet. Vi har derfor ingen informasjon om vedlikehold fra før 2000.

Blymønje er lett å kjenne igjen på den karakteristiske røde eller oransje fargen, slik at det er mulig visuelt å fastslå om beleggsystemet inneholder blymønje ved skader i belegget der underliggende strøk er synlige. Der bildene viser hvite korrosjonsprodukter er det antatt at brua er beskyttet med dupleksbelegg, mens røde korrosjonsprodukter er tolket som at et rent malingsystem er benyttet. CMP sinkpulvermaling (se Tabell 1) kan også gi hvite korrosjonsprodukter, slik at bruer vi har antatt er beskyttet med dupleksbelegg kan ha CMP i stedet.

Tilstanden til beleggene er hovedsakelig estimert fra bilder i Brutus, og skadegrad er evaluert i henhold til vegvesenets tilstandsvurdering:

- 1 Liten skade/mangel, ingen tiltak nødvendig
- 2 Middels skade/mangel, tiltak i løpet av 4-10 år
- 3 Stor skade/mangel, tiltak i løpet av 1-3 år
- 4 Kritisk skade/mangel, tiltak straks eller senest innen ½ år

Skadegrad 4 er ikke benyttet på noen av bruene. Siden korrosjon er en langsom prosess må angrepene ha kommet svært langt før tiltak er nødvendig i løpet av et halvt år. Et belegg kan derfor være nedbrutt over store deler av brua, men vedlikehold kan likevel vente 1-3 år uten fare for bruas bæreevne.

Tabell 5 viser inndeling i korrosjonskategorier i henhold til ISO 12944-2, definert av korrosjon på stål i løpet av ett års eksponering. Korrosjonskategori er estimert for alle bruene i rapporten i henhold til denne tabellen. Korrosjonskategori har blitt målt for et antall bruer [9], og estimatene ble gjort ved sammenligning med de bruene der korrosivitet er målt som funksjon av miljø (kyst/innland), høyde over sjø og antatte vindforhold. Det er imidlertid vanskelig å gjøre en slik sammenligning, så det hefter en del usikkerhet ved estimatene.

Korrosjonshastigheten på bart stål avtar med tiden som følge av dannelse av beskyttende korrosjonsprodukter. Dette er vist i Figur 3 [10]. C-stål i figuren hadde en korrosjon på ca. 50 µm det første året, dvs. på grensen mellom C3 og C4, mens det siste året var korrosjonen bare omkring 15 µm. I praksis betyr dette at vedlikehold av belegg i mindre korrosivt miljø kan utsettes ganske lenge før det får konsekvenser for bruas bæreevne. Ved estimering av skadegrad kan det tas hensyn til dette. Dette er imidlertid ikke gjort i denne rapporten.

6.2 Beleggtilstand på bruer med blymønje i Trøndelag

Ifølge Brutus er det over 300 stålbruer i Trøndelag med byggeår til og med 1967. På bakgrunn av informasjon fra ansatte i Vegvesenet og gjennomgang av bilder fra inspeksjoner i Brutus (oransje maling i første strøk) ble det funnet at 48 av disse trolig fortsatt har blymønje, se Tabell 6. I tillegg ble det funnet at flere innlandsbruer med byggeår fra 1968 til omkring 1977 også har blymønje. Disse er ikke inkludert i tabellen.

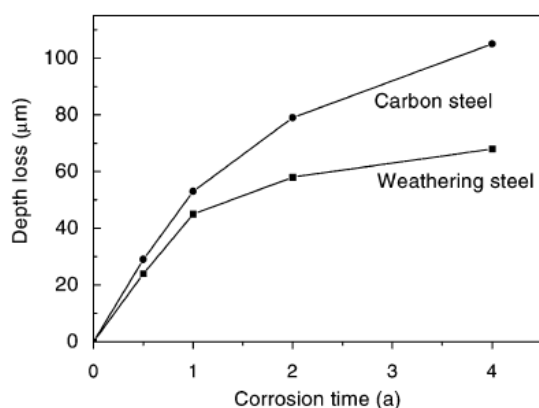
På alle bruene er blymønja overmalt med Vegvesenets alkyd eller alkyd/KK malinger. Overflatevedlikehold etter ca. 2000 er registrert i Brutus, slik at opplysninger om vedlikehold er funnet for et lite antall bruer. Året for vedlikehold er angitt i tabellen for disse bruene. Gjennomgang av papirarkiv for å finne opplysninger om eldre vedlikehold ble forsøkt for 15 bruer, men ga få resultater, så søket ble avslutta. Vi har derfor nesten ingen informasjon om tidligere vedlikehold og kan ikke gi noe godt estimat for forventet levetid for beleggsystemer basert på blymønje. Det er rimelig å anta at belegget på alle bruene er vedlikeholdt minst én gang, siden de er over 50 år gamle. For de bruene der vedlikeholdet ikke er dokumentert må siste vedlikehold være utført før 2000. Vedlikeholdsbelegget har derfor hatt en levetid på minst 18 år, og trolig over 30 år på flere av bruene.

Av de 48 bruene i tabellen er det kun 7 som er estimert å stå i mer aggressivt miljø enn korrosivitetskategori C2. Til tross for dette er belegget på omtrent halvparten av bruene i så dårlig forfatning at skadegrad er satt til 3 her. Som bildene i seksjon 6.2.1 til 6.2.5 viser er belegget degradert på store arealer på flere av bruene. På disse bruene er det hensiktsmessig med en total rehabilitering av belegget.

At det er få bruer med blymønje i mer aggressivt miljø skyldes trolig at belegget ble degradert til et nivå der totalrehabilitering var nødvendig for lenge siden.

Tabell 5. Korrosjonshastighet til C-stål i de ulike korrosjonskategoriene definert i ISO 12944-2.

Korrosjonskategori	Korrosjon på stål i ett år (μm)	
	Min	Maks
C1	0	1,3
C2	1,3	25
C3	25	50
C4	50	80
C5	80	200
CX	200	700



Figur 3. Utvikling i korrosjonshastighet til C-stål i løpet av flere års eksponering [10]

Tabell 6. Bruer med blymønje i Trøndelag.

Bru	Byggeår	Lengde	Korrosivitets- kategori	Skadegrad	Siste vedlikehold
1 Jøssundbrua	1939	55	C4	3	
2 Leirelva	1959	35	C3	3	
3 Lernes	1963	7	C3	3	
4 Sandnesbrua	1951	10	C3	2	
5 Børsa	1953	17	C3	2	
6 Ingdal	1956	36	C3	2	
7 Søa Nedre	1952	36	C3	2	2003
8 Meeggen	1930	13	C2	3	
9 Røa	1935	16	C2	3	
10 Håggå Bru	1940	8	C2	3	
11 Kvål	1953	147	C2	3	
12 Brå	1933	53	C2	3	
13 Resa	1935	30	C2	3	
14 Valdum	1935	152	C2	3	
15 Mælen	1937	16	C2	3	
16 Rena Store	1939	10	C2	3	
17 Lenes	1939	26	C2	3	
18 Stobrua	1939	32	C2	3	
19 Foss G/S-bru	1939	37	C2	3	
20 Hov	1943	51	C2	3	
21 Sunde	1952	7	C2	3	
22 Fosshaugbrua	1956	44	C2	3	
23 Alsetbrua	1958	17	C2	3	
24 Kroken	1958	18	C2	3	
25 Tverrå Søndre	1959	9	C2	3	
26 Krokstad	1960	21	C2	3	
27 Flyta	1961	14	C2	3	
28 Ena	1963	18	C2	3	
29 Laugen	1925	16	C2	2	
30 Holta	1933	25	C2	2	
31 Svorkmo	1934	74	C2	3	
32 Engan	1938	18	C2	2	
33 Hoston	1952	8	C2	2	
34 Åbrua Flomløp	1953	14	C2	2	
35 Gilde	1953	62	C2	2	
36 Tverrå Nordre	1961	5	C2	2	
37 Væla	1962	15	C2	2	
38 Rognes	1963	95	C2	2	
39 Mølingen	1935	18	C2	1	
40 Lomundal	1960	5	C2	1	
41 Einarsdalsbrua	1960	18	C2	1	1999
42 Sjøbakken	1960	27	C2	1	
43 Gjøsvik	1962	37	C2	1	
44 Løddølja	1962	42	C2	1	
45 Avtret	1968	16	C2	1	
46 Usma	1939	16	C2	1	
47 Meldal	1952	61	C2	1	2000
48 Rotla	1957	41	C2	1	2004

6.2.1 Jøssundbrua

Byggeår: 1939

Fri høyde: 3 m

Miljø: Eksponert kyst, trolig C4

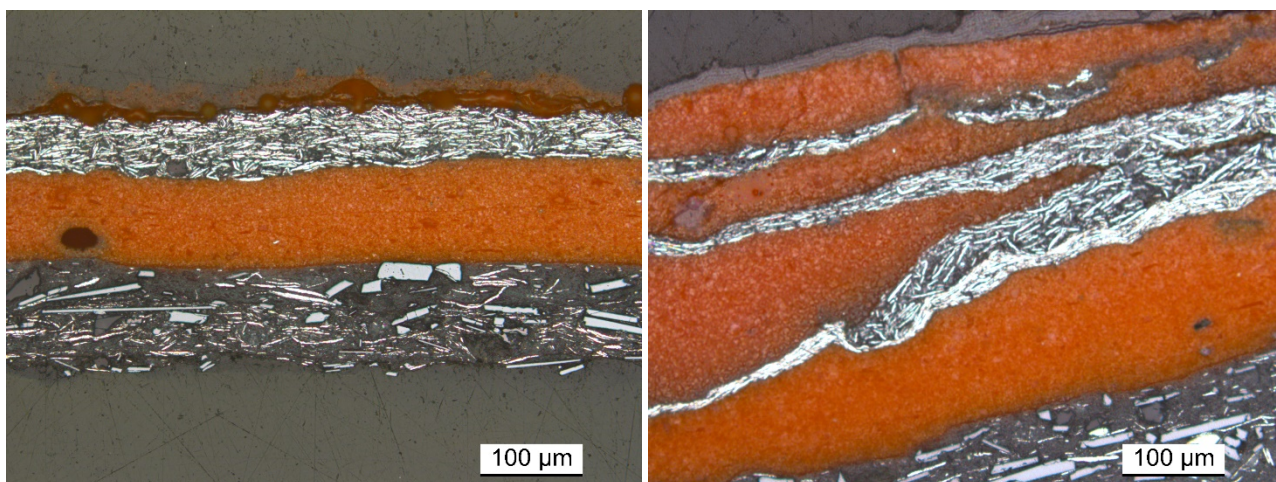
Anslått skadegrad: 3

Vedlikehold av overflatebehandling: Brua ble malt i 1974, men det kan ha vært utført vedlikehold både før og etter

Inspisert 16.10.2018

Belegget på brua er blymønje med overmaling. To tverrsnitt av flak av belegget tatt vilkårlige steder på brua er vist i Figur 4. Grenseflata mot stålet øverst i tverrsnittene. Tverrsnittet til venstre viser fem strøk maling. Innerst mot stålet er et tynt strøk oransje blymønje. Dette er overmalt med et strøk på ca 50 μm , pigmentert med metallflak i høy konsentrasjon. Så er det påført et nytt strøk blymønje på ca 100 μm , som igjen er overmalt med to strøk, der det siste er pigmentert med metallflak. Forskjellen på de to siste strøkene er ikke tydelig i tverrsnittet, men var godt synlig når det ble skrapet i malinga på brua. Det ytterste strøket er metallgrått, mens strøket innenfor er nesten hvitt. Gjennomsnittlig filmtykkelsen er $260 \pm 64 \mu\text{m}$, etter 42 målinger langs brubanen opp til ca 1,5 m høyde. Tverrsnittet til høyre viser mange overlappende strøk av blymønje og malingen med konsentrerte metallflak. Om dette skyldes flere omganger med vedlikehold eller overlappende strøk påført i samme vedlikeholdsprosess er usikkert. Strukturen på strøkene og bildet til venstre tyder på det siste. Det kan derfor se ut til at brua er malt to ganger, en gang i 1939 og ett vedlikehold. I papirarkiv ble det funnet en tegning av brua fra 1966 der det er påført med blyant at brua ble malt i 1974, som vi kan anta er den andre gangen brua ble malt. Det originale belegget fikk da en levetid på 35 år og vedlikeholdsbelegget 44 år. Det kan imidlertid også være utført flekk-vedlikehold eller fornying av toppstrøk senere.

Som bildet i Figur 5 viser er belegget nedbrutt på store deler av brua. Nedbrytningen er størst lengst ned på brua, som er naturlig siden disse delene får mer eksponering mot salt og et mer korrosivt miljø. Belegget er planlagt vedlikeholdt i 2019.



Figur 4. Tverrsnitt av løse flak av belegget på Jøssundbrua



Figur 5. Tilstanden til belegget på Jøssundbrua

6.2.2 Stjørdal jernbanebru

Byggeår: 1902

Fri høyde: 6 m

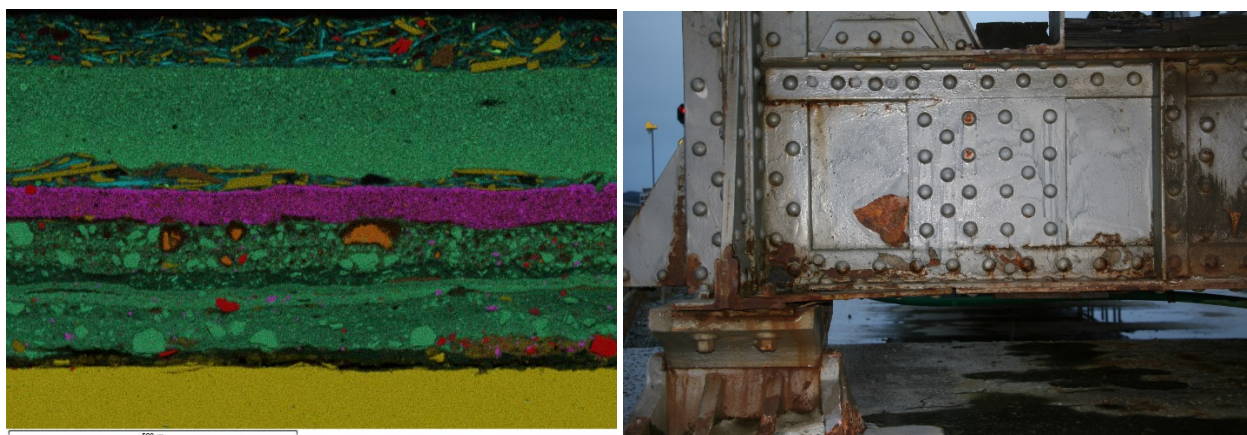
Miljø: Kyst, trolig C3. Brua gikk over ei elv, omkring 100 m fra fjorden.

Anslått skadegrad: 3

Vedlikehold av overflatebehandling: Ukjent

Denne brua ble erstattet av ei ny bru i 2016, og ett spenn av den gamle brua ble gitt til NTNU som et forskningsobjekt. Dette står på stasjonsområdet på Hell, der inspeksjonen ble foretatt. Siden dette nå er et forskningsobjekt er det tatt ut prøver av brua for ulike formål, og vi har fått tre prøveplater på omkring 10x15 cm for testing av belegget (pågående). Et tverrsnitt av belegget fra en av prøvene er vist til venstre i Figur 6. I bilde er de ulike elementene gitt ulike farge slik at bly lett kan identifiseres. Bly er grønt i bildet, og av de ni strøkene ser det ut til at i hvert fall seks inneholder bly.

Brua fikk en levetid på 114 år. Som bildet til høyre viser var belegget i dårlig forfatning da brua ble tatt ned. Noen områder hadde lite korrosjon, mens i andre områder var belegget fullstendig nedbrutt. Det er vanskelig å si hvor mange ganger belegget har vært vedlikeholdt, siden mer enn ett strøk trolig har blitt påført ved hvert vedlikehold. Det er heller ikke mulig å si om det første strøket i bildet er det originale belegget fra 1902, eller om det er fra et senere vedlikehold. Det er derfor ikke mulig å estimere vedlikeholdsintervaller for belegget på brua.



Figur 6. Venstre: Tverrsnitt av belegget analysert i SEM. Grønn farge er bly, gul er jern, lilla er titan.
Høyre: Tilstanden til belegget

6.2.3 Kvål

Byggeår: 1953

Fri høyde: 6 m (over elv)

Brutype: Parallellfagverksbru med underliggende brudekke

Miljø: Innland, trolig C2

Anslått skadegrad: 3

Vedlikehold av overflatebehandling: Ukjent

Vi har ingen opplysninger om belegget, hverken type, tykkelse eller når det er vedlikeholdt. Belegget er mer eller mindre fullstendig nedbrutt så siste vedlikehold antas å være langt tilbake i tid, gitt den lave korrosiviteten på stedet. Bildene i Figur 7 under viser overgurt og undergurt, som begge er angrepet av korrosjon. På undergurten har belegget vært i dårlig forfatning i lang tid og korrosjonsangrepene omfatter omtrent hele overflata av bjelken.



Figur 7. Nedbrytning av belegg på overgurt (over) og undergurt (under) på Kvål bru

6.2.4 Meldal

Byggeår: 1952

Fri høyde: 5 m (over elv)

Miljø: Innland, trolig C2

Anslått skadegrad: 2

Vedlikehold av overflatebehandling: Siste registrerte vedlikehold i 2000, men kan ha vært vedlikeholdt før også.

Belegget på Meldal bru ble vedlikeholdt i 2000 og er i relativt god tilstand. Skader er stort sett begrenset til brøyteskader og steinsprut. En detaljert beskrivelse av vedlikeholdet i 2000 er arkivert. Brua ble flikkblåst der det var korrosjon, mens intakt belegg ble sveipblåst, før påføring av heldekkende belegg. Rekkverket ble fullstendig blåserenset, metallisert og malt ifølge beskrivelsen, men bildet av rekkverket under viser tydelig at det fortsatt er blymønje på rekkverket, i hvert fall i noen områder. Brua har følgelig fortsatt en blanding av blymønje og moderne maling. Det er ikke mulig å si hvor det er blymønje, selv når det foreligger en beskrivelse av arbeidet.



Figur 8. Skader i belegget på rekkverk som viser blymønje i underliggende strøk

6.2.5 Ena

Byggeår: 1963

Fri høyde: 5 m (over elv)

Miljø: C2

Anslått skadegrad: 3

Vedlikehold av overflatebehandling: ukjent

Bildene under viser tilstanden på Ena bru i Midtre Gauldal i 2007 (øverst) og 2017 (nederst). Som bildene viser er belegget betydelig degradert. Det er også en viss utvikling fra 2007 til 2017, men arealet bart stål har ikke endret seg vesentlig i løpet av de 10 årene. Bildet fra 2017 viser imidlertid en god del mer gjennomrusting i belegget på flatene. Kantene viser også en viss utvikling, men var allerede i dårlig forfatning i 2007.



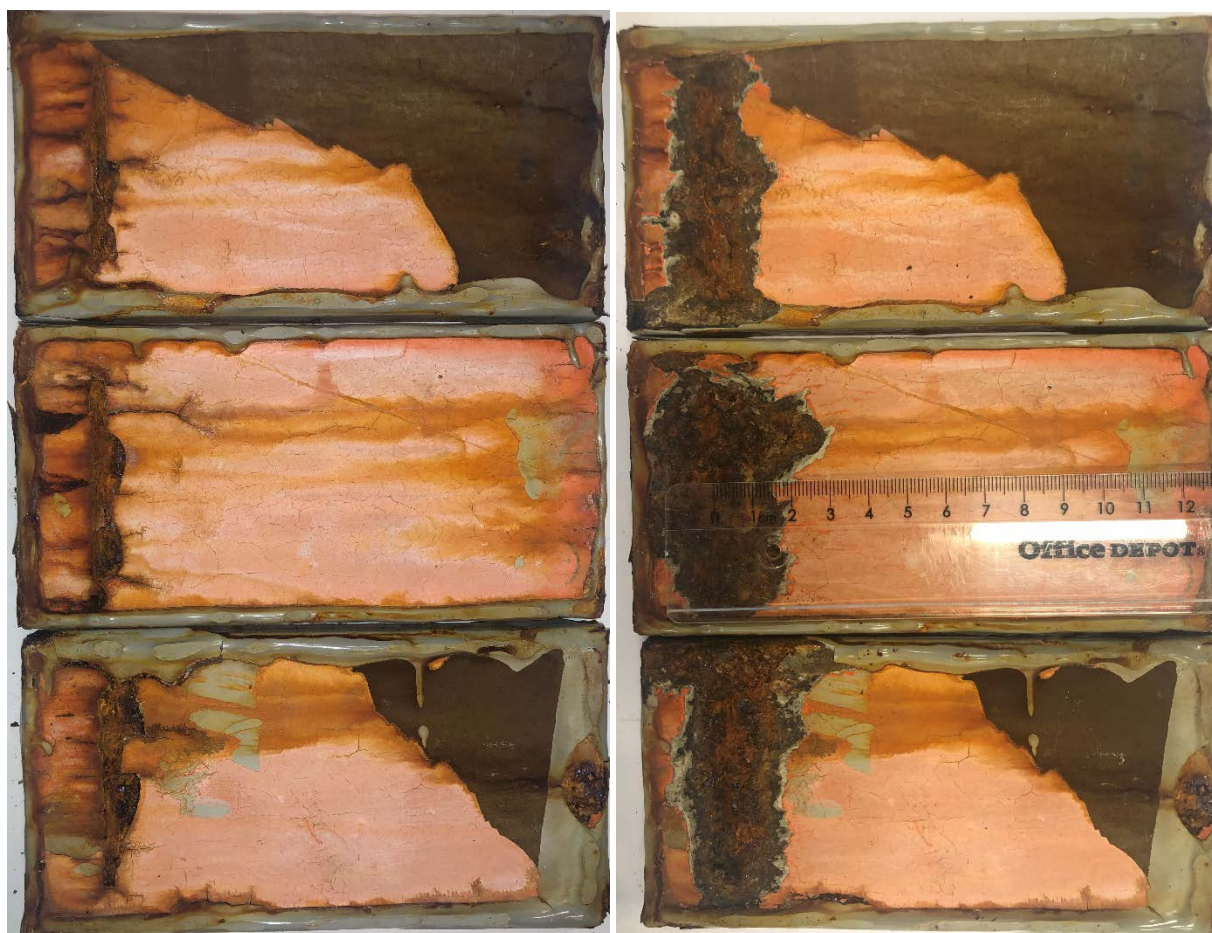
Figur 9. Tilstand til belegg på Ena bru i Midtre Gauldal. Øverste bilde er tatt i 2007 og nederste i 2017

6.3 Test av blymønje i henhold til ISO 12944-9

Prøver på 150 x 75 mm ble kappet ut av en stålplate fra Stjørdal jernbanebru. Brua og belegget er beskrevet i seksjon 6.2.2. Kantene ble beskyttet med epoksymastik. Det ble så laget et skår i belegget ned til ståsubstratet på 50 x 2 mm. Prøvene ble så eksponert i syklisk aldringstest i 6 måneder i henhold til ISO 12944-9 (testet i henhold til NORSOK M-501).

Bilder av prøvene etter testen (før og etter skrapping av løs maling) er vist i Figur 10. Gjennomsnittlig korrosjonskryp i testen var $12,5 \text{ mm} \pm 1,8 \text{ mm}$. Kravet for prekvalifisering i henhold til NORSOK M-501 er mindre enn 3 mm rustkryp i testen. Belegget ga følgelig omkring fire ganger mer korrosjonskryp enn det som kreves for prekvalifisering.

Vi vet ikke så mye om dette belegget, annet enn at det inneholder bly og består av mange strøk, se seksjon 6.2.2. Et brunt toppstrøk på prøvene flasket av under preparering av prøvene, som vist i bildet. Det oransje belegget under har den typiske fargen til blymønje. Da brua ble malt i 1902 ble det ganske sikkert brukt blymønje basert på linolje. Alkydbasert blymønje ble introdusert omkring midten av 1900-tallet. Om det første strøket på prøvene er den originale linoljebaserte blymønja fortsatt, eller om stålet der prøvene er tatt har blitt blåserenset og påført ny blymønje senere vet vi ikke. Testen viser uansett at blymønje ikke kan måle seg med et moderne beleggssystem basert på epoksy og sinkrik primer, som normalt klarer kravet om maksimalt 3 mm rustkryp med god margin.



Figur 10. Prøvene fra Stjørdal jernbanebru (1902) etter ISO 12944-9 test, før og etter skrapping av løst belegg.

6.4 Tilstand på kromatholdig maling

Tabell 7 viser en oversikt over stålruer på over 100 m lengde fra hele landet med byggeår 1968 – 1977. Det har vært utført vedlikehold av belegget på de fleste av bruene, ut fra registrert vedlikehold i Brutus (etter 2000) og spor etter vedlikehold på selve bruene (maling på tilstøtende betongoverflater). Vedlikeholdet har trolig bestått av flikking der det har vært korrosjon, og deretter påføring av et heldekkende toppstrøk. Det aller meste av det kromatholdige belegget er derfor ganske sikkert fortsatt på bruene.

Ut fra de skadene som er dokumentert i Brutus fremstår belegget på bruene hovedsakelig å være i akseptabel stand i dag. De korrosjonsskadene som er dokumentert i Brutus viser hovedsakelig gjennomslag av hvitrust, spesielt på kanter og bærebjelkenes underflens. Innside av bjelkene ser også ut til å være mer degradert enn utsiden. Dette tyder på at nedbrytningen hovedsakelig skyldes deponering av salt og at malingsbelegget har utilstrekkelige egenskaper som barriere. Tjeldsundbrua ble for eksempel vedlikeholdt allerede i 1985, etter bare 16 år. Det vedlikeholdte belegget har imidlertid hold godt siden, og nytt vedlikehold er planlagt i 2020, hvilket betyr 35 år levetid for det reparerte belegget.

Tabell 7. Bruer i Norge over 100 m åpnet 1967 – 1977 som har dupleksbelegg

	Byggverksnavn	Byggeår	Lengde	Korrosjons- kategori	Tilstand	Vedlikehold	Levetid
1	Madsøybrua	1975	132	C5	1	Før 2000	<25
2	Grov	1968	177	C4	2	Før 2000	<32
3	Kjerringstraum	1969	551	C4	2	Før 2000	<31
4	Sørstraumen	1969	162	C4	2	1998	29
5	Stamnes	1970	211	C4	1	Før 2000	<30
6	Verdal	1972	285	C4	2	Før 2000	<28
7	Kvalpsundet	1974	160	C4	2	Før 2000	<26
8	Kvalsundbrua	1977	741	C4	1	2001	24
9	Revøysund	1971	173	C3	2		>47
10	Sotrabraua	1971	1 236	C3	1	2011	40
11	Sundbrua	1971	155	C3	1	2000	29
12	Kjærfjorden	1972	114	C3	1	2010	38
13	Skjomen	1972	711	C3	1	2000	28
14	Tofterøy	1975	274	C3	1	2011	36
15	Kjellingstraumen	1975	622	C3	1		>43
16	Randøy	1976	275	C3	2		>42
17	Lokkarbrua	1977	436	C3	1	2005	28
18	Rombaksbrua	1964 (dupleks fra 1970)	750	C2	1	2011	41
19	Hornesund	1969	106	C2	1	2004	35
20	Tjeldsundbrua	1967	101	C2	3	1985	16 og 35

6.4.1 Rombaksbrua

Byggeår: 1964 (påført dupleksbelegg 1970)

Fri høyde: 41 m

Miljø: Indre kyst, trolig C2 ved brubanen

Anslått skadegrad: 1

Vedlikehold av overflatebehandling: 2011

Levetid og tilstand til belegget på Rombaksbrua er velkjent godt dokumentert i en tidligere publikasjon av Klinge [11, 12]. Figur 11 viser skader i belegget før det ble vedlikeholdt i 2011. Skadene besto hovedsakelig i avflasket toppstrøk. Vedlikeholdet besto derfor hovedsakelig av nedvasking og fornyelse av toppstrøket. Siden brua ble belagt med dupleksbelegg i 1970 fikk belegget en levetid på 41 år. Bildene viser den skarpe gulfargen til maling som er pigmentert med sinkkromat.

At belegget har fått så lang levetid skyldes trolig en kombinasjon av godt håndverk under påføring, korrosjonskategori C2 og kromatholdig maling.



Figur 11. Tilstanden til belegget på Rombaksbrua før vedlikehold i 2011.

6.4.2 Madsøybrua

Byggeår: 1975

Fri høyde: 6 m

Miljø: Eksponert kyst, trolig C5

Anslått skadegrad: 1

Vedlikehold av overflatebehandling: Ikke registrert i Brutus.

Belegget på brua ser ut til å være i svært god stand. Figur 12 viser at det er maling på betongen omkring bjelken hvilket tyder på at det er utført vedlikehold. Det er ikke registrert vedlikehold i Brutus, så det har trolig skjedd før 2000.



Figur 12. Tilstand til belegget på Madsøybrua

6.4.3 Kvalpsundet

Byggeår: 1974

Fri høyde: 10 m

Miljø: Eksponert kyst, trolig C4

Anslått skadegrad: 2

Vedlikehold av overflatebehandling: Ikke registrert i Brutus

Figur 13 viser et oversiktsbilde av Kvalpsundet bru og et område på bærebjelken med hvitrust. Korrosiviteten på stedet er anslått til C4 og det er ikke dokumentert vedlikehold i Brutus, men siden det er maling på betongen rundt bærebjelken er det rimelig å anta at det er utført vedlikehold. Spesielt innsiden av bjelkene og undersiden av underflensen ser ut til å være angrepet av hvitrust.



Figur 13. Korrosjon på innside av bærebjelke og underside av underflens (2017) på Kvalpsundet bru.

6.4.4 Tjeldsundbrua

Byggeår: 1967

Fri høyde: 45 m

Miljø: Målt C2 i fagverket under brubanen (2016-2017)

Anslått skadegrad: 2

Vedlikehold av overflatebehandling: 1985

Tjeldsundbrua ble inspisert i 2015 (SINTEF rapport A27400). Beleggsystemet er TSZ overmalt med to strøk alkyd, der det første var rød sinkkromat. Belegget ble vedlikeholdt i 1985 ifølge opplysninger fra Region nord, trolig med spesifikasjon 115-118. Det ble ved inspeksjonen i 2015 anslått at omkring 20% av arealet (trolig et konservativt estimat) på fagverkskonstruksjonen trenger full rehabilitering med blåserensning og oppbygging av helt nytt toppstrøk. Resten krever kun nedvasking og nytt toppstrøk.



Figur 14. Nedbrytning av belegg på Tjeldsundbrua.

7 Prosedyrer for vedlikehold av belegg med tungmetaller fra andre land og bransjer

7.1 Statkraft

Statkrafts generelle prosedyre for blåserensing og maling av stål og betongkonstruksjoner tar høyde for at det kan være tungmetaller i gamle belegg og eldre konstruksjoner generelt og inneholder prosedyrer for håndtering av dette.

Prosedyren krever følgende med hensyn på belegg med tungmetaller:

- Det skal gjennomføres en risikovurdering i forkant av arbeidet, inkludert fare for at belegget kan inneholde tungmetaller. På bakgrunn av risikovurdering og analyse skal Statkraft vurdere om det må søkes tillatelse til arbeidet etter Forurensningslovverket, det vil si Fylkesmannen som er forurensningsmyndighet. Statkraft skal kontrollere at både eget og innleid personell kjenner til relevant regelverk før arbeidet starter.
- Dersom det er usikkerhet knyttet til type maling eller betong som skal blåserenses skal det tas prøver som sendes til analyse til et akkreditert laboratorium. Prosedyren inneholder en detaljert beskrivelse av hvordan prøvetaking skal gjøres.
- Arbeidet skal planlegges med tanke på sikkerhet for personell og utstyr og hindre utslipp til ytre miljø. Statkrafts korrosjonsekspert skal kontaktes ved planlegging og benyttes ved gjennomføring av arbeidet etter nærmere avtale.
- Statkraft har et generelt krav om at konstruksjoner skal dekket til før sandblåsing starter for å forhindre spredning til ytre miljø. Det legges vekt på at alt blåsemiddel skal samles opp for deponering. Det skal føres logg over hvor mye sand som fylles i blåseutstyret.
- Det skal sjekkes ut om det har foregått blåserensing rundt konstruksjonen tidligere, og om det kan ligge gammelt blåsemiddel igjen. Ved mistanke om forurensning av grunnen skal det tas prøver av grunnen i forkant av arbeidet i henhold til "Helsebaserte tilstandsklasser for forurenset grunn" [8]. Ved tilstandsklasse 3, 4 eller 5 skal det gjøres en risikovurdering av spredning. Jordmasser med miljøgiftkonsentrasjoner over tilstandsklasse 5 anses å være farlig avfall og skal ikke ligge igjen i grunnen.
- Brukt blåsemiddel med malingrester skal behandles som farlig avfall med mindre det foreligger sikkerhetsdatablad på maling og blåsemiddel som kan vise til noe annet. Statkraft er ansvarlig for at nødvendige analyser foretas av avfallet med mindre annet er spesifisert i avtalen.
- Avfallet skal leveres til godkjent mottak. Behov for analyser av brukt blåsemiddel avklares i samråd med avfallsmottaket. Mengde levert blåsemiddel til avfallsmottaket kontrolleres opp mot mengde brukt blåsemiddel fra logg. Det skal ikke ligge igjen rester av brukt eller ubrukt blåsemiddel på blåsemiddelstasjoner.

Som det fremgår av punktene over har Statkraft et generelt krav om oppsamling av brukt blåsemiddel, slik at rehabilitering av maling med tungmetaller ikke innebærer noen ekstra tiltak på dette punktet. Avfall fra blåserensing skal behandles i henhold til Avfallsforskriften uansett, men hvis det inneholder tungmetaller vil det behandles forskjellig i avfallsmottaket og kostnadene vil øke. Ekstra tiltak i forbindelse med tungmetaller kan kort oppsummeres som følger:

- Ved mistanke om tungmetaller skal belegget analyseres
- Hvis analysen påviser tungmetaller skal det:
 - utføres kolonnetest og ristetest av brukt blåsemiddel
 - undersøkes om grunnen omkring er forurenset av tidligere blåserensing

Statkraft har ingen uttalt strategi for belegg med tungmetaller, annet enn at de ser an tilstanden og velger vedlikehold basert på dette. Der hvor forfallet har kommet langt og det er groptæringer på stålet gjør de en totalrehabilitering der alt gammelt belegg blåses av. Hvis belegget hovedsakelig er i god stand vasker de ned og maler over med moderne belegg, normalt epoksyestikk. De har ingen overordnet plan om å fjerne gamle

belegg med tungmetaller, men har utført over hundre rehabiliteringer av blymønje, alt fra hele turbinrør til små luker og turbintrommer. Deres erfaring med overmaling av blymønje med epoksymastik gir et godt resultat.

7.2 Trafikvraket i Sverige

Trafikvraket har gjennom Swerea KIMAB gjort flere studier siden 1990-tallet vedrørende optimal behandling av stål med blymønje. Dette avsnittet baserer seg hovedsakelig på to rapporter fra Swerea KIMAB, samt noe informasjon om prosedyrer fra Trafikvraket [13, 14].

Swerea KIMAB anslo i 2002 at det var omkring 4 millioner kvadratmeter stål beskyttet med blymønje i Sverige. På bakgrunn av dette store arealet med blymønje ble det startet en undersøkelse med målsetning om å finne kostnadseffektive metoder for å reparere blymønje, som ble rapportert i 2002 [13]. I bakgrunnen for prosjektet ble det vist til undersøkelser fra USA som konkluderte med at overmaling av blymønje kan forlenge levetiden med 15-20 år (referanse ikke angitt). Det ble i utgangspunktet antatt at flekkvedlikehold og overmaling av resterende blymønje vil gi lavere kostnad enn å fjerne all blymønje. Rapporten inneholder resultater fra to typer undersøkelser:

- Inspeksjon av 7 konstruksjoner med overmalt blymønje (to jernbanebruer, ei veibru og fire master/stolper) med mer enn 10 års eksponering, der overmalingen var dokumentert med hensyn på tidspunkt, forbehandling og reparasjonsbelegg. Korrosivitet ble anslått til C2 – C4 for de ulike eksponeringsstedene, men ut fra beskrivelsen av stedene er det rimelig å anta at det var C2 – C3. En konstruksjon var malt med epoksymastik/polyuretan, en med vinyl og resten med alkyd. På de tre bruene i undersøkelsen inneholdt reparasjonsbeleggene sinkkromat.
- Laboratorietesting av ulike belegg med hensyn på evne til å trenge inn i trange spalter. Inspeksjonene over viste at korrosjon først og fremst oppsto i overlappende skjøter, slik at inntrengning i trange spalter ble ansett å være en viktig egenskap. Av beleggene som ble testet var det tre alkyder, en polyester og en blymønje (referanse).

Etter inspeksjonene og testing av inntrengning ble det konkludert med at:

- Reparasjonsbelegget på de tre bruene var i god forfatning (korrosjonskategori C3). Alkydbelegget som var benyttet inneholdt imidlertid sinkkromat, slik at det ble tatt et forbehold om at alkyd uten sinkkromat ikke nødvendigvis gir like godt resultat. På de fire mastene/stolpene var belegget i god forfatning på to av stolpene og i dårlig forfatning på to, uavhengig av anslått korrosjonskategori. Type reparasjonsbelegg og tid siden reparasjon så ut til å være de viktigste parameterne. Epoksybelegget hadde stått best.
- En alkydmaling ga best inntrengning (Isotrol)
- Hvis blymønjen har en heft på over 2 MPa (avtrekksmåling i henhold til ISO 4624) kan den overmales med godt resultat

I rapporten fra 2014 er noen av de samme konstruksjonene som ble rapportert i 2002 inspisert igjen, samt noen nye. Konklusjonene i rapporten er i overensstemmelse med konklusjonene fra 2002, samt at noen flere konkrete anbefalinger gis:

- Blymønje med over 2 MPa heft kan overmales
- En kostnadsanalyse bør gjøres i hvert enkelt tilfelle, der man sammenligner kostnadene ved full fjerning av blymønje med flekkvedlikehold. I de fleste tilfeller vil flekkvedlikehold komme ut med lavest pris. I så fall bør rengjøring til bart stål unngås i størst mulig grad. Kun blymønje degradert av korrosjon skal fjernes.
- Lang levetid oppnås ved å overmale med produkter som er kompatible med blymønje og som har god inntrengning i spalter (på konstruksjoner med overlappende skjøter). De anbefaler å bruke

produktet Isotrol Grund (alkydolje- og linolje basert) i første strøk og fortsette med alkydbaserte produkter over.

- Det anbefales å starte vedlikehold på et tidlig stadium og ikke vente til Ri3 (1% av arealet er angrepet av rust, ISO 4628-3 [15]). I stedet skal følgende kriterier brukes for å bedømme om vedlikehold skal startes:
 - Toppstrøket er slitt gjennom på ytterhjørner
 - Avflassing av toppstrøk så blymønje synes
 - Sprekker i toppstrøket, for eksempel synlig med lupe
 - Heften reduseres eller nærmer seg 2 MPa
 - Korrosjon eller avflassing på utsatte steder

Vi har ikke mottatt noen offisiell prosedyre fra det svenske Trafikverket for behandling av belegg med tungmetaller, men vi har fått en generell oppsummering av hva de normalt gjør. Ved flikking av blymønje bruker de prosedyren som beskrevet av Swerea KIMAB i rapporten fra 2014 [14]:

1. Høytrykksvask med varmt vann, 800 bar
2. Grunning med Isotrol Grund
3. Ved behov, kompletterende sjikt Isotrol Grund
4. Stripecoating av kanter, bolter og nagler: Isoguard Pansar (alkydolje basert)
5. Heldekkende sjikt av Isoguard Pansar
6. Stripecoating med toppstrøk Isotrol Finish
7. Heldekkende toppstrøk Isotrol Finish

Ved total rehabilitering behandles overflaten som følger:

1. Før blåserensning skal salter, olje eller andre forurensninger fjernes ved høytrykksvask (blåserensning fjerner ikke nødvendigvis slike overflateforurensninger). Trykket ved munstykket skal være minst 20 MPa.
2. Blåserensning med skarpkantede gritt til Sa 2 ½ i henhold til ISO 8501-1, grov profil i henhold til ISO 8503-2.
3. Grunning med epoksymastik, minimum 100 µm.
4. Epoksy mellomstrøk, minimum 100 µm.
5. Polyuretan toppstrøk, minimum 80 µm.
6. Kanter, bolter og nagler skal påføres ett ekstra skikt mellomstrøk på 40 µm.

7.3 Prosedyrer fra USA og New Zealand

Fra USA og New Zealand er det offentliggjort prosedyrer på nett. US Army sine prosedyrer kan oppsummeres som følger:

- Blåserensning, helst med resirkulering av blåsemiddel
- Vakuumblåsing kan være kostnadseffektivt hvis telting kan unngås
- Våt blåserensning anbefales der det er hensiktsmessig, særlig hvis brukt sand kan tørkes på stedet
- Anbefaler ikke vannjetting fordi det er vanskelig å samle opp avfallet
- Kjemisk malingsfjerner med etterfølgende blåserensning kan være kostnadseffektivt, men også praktisk vanskelig

Minnesota Department of Transportation [16] sier at belegg med mer enn 0,5% bly medfører tilleggskrav om telting av konstruksjonen og avfallsbehandling i forbindelse med vedlikehold. Det skal være volumkontroll på avfall og det skal deponeres i henhold til forskrifter for avfall med tungmetaller. Kravene til telting er avhengig av om konstruksjonen ligger over vann, og avstand til ulike typer bebyggelse. De anbefaler å blande inn et produkt kalt Blastox ® i blåsemiddelet for å redusere kravene til avfallsbehandling. Blastox hevdes å hindre utlekking av bly fra avfallet og blir nærmere beskrevet i seksjon 8.6.

Kentucky DOT bruker hovedsakelig høytrykkspyling med opptil 70 bar trykk for rengjøring av bruer med blymønje [17]. Vannet fra spylinga blir filtrert med sandfilter før det slippes ut. New York DOT krever at det bygges telt der det blåserenses og at det skal være undertrykk i teltet for å unngå spredning av blåsestøv.

New Zealand Transport Agency har offentliggjort sin prosedyre for rengjøring og maling av bruer som tidligere er behandlet med blymønje [18]. Prosedyren gjelder for belegg som inneholder mer enn 1 % bly. Den inneholder ingen vurdering av hva slags vedlikehold som skal utføres, i hvilken grad blymønje skal fjernes eller beholdes eller kriterier for hvilke tilstander som utløser krav om vedlikehold. Prosedyren beskriver hvordan brua skal dekkes til, hvilke analyser som skal tas omkring brua før, under og etter vedlikeholdet, hvordan avfallet skal behandles og hvilke reparasjonsbelegg som kan benyttes. Det ser ut til at prosedyren beskriver fjerning av alt blyholdig belegg på hele brua.

8 Avfallsreducerende strategier

Som nevnt tidligere er kostnaden for levering av blåsemiddel med blymønje anslått til minimum 2000 NOK/tonn. Hvorvidt ekstra kostnader for å redusere mengden avfall svarer seg økonomisk må vurderes i hvert enkelt tilfelle av entreprenør eller Statens vegvesen. Her gjennomgås kort noen metoder for å redusere mengden blyholdig blåsemiddel.

8.1 Kjemiske malingsfjernere

Siden både blymønje og Vegvesenets kromatholdige belegg er basert på alkyd bindemiddel er kjemisk fjerning mulig. Kjemiske malingsfjernere er enten basert på sterke alkaliske løsninger, sterke løsemidler eller andre kjemikalier som degraderer malingsfilmen tilstrekkelig til at den kan skrapes av. Kommersielle produkter er tilsatt midler som gjør dem viskøse og kan påføres med kost, rulle eller sprøyte. Det kan imidlertid diskuteres om malingsfjernere er praktisk i stor skala, eller om det gir noen gevinst økonomisk eller med hensyn på HMS. Siden kjemikaliene som benyttes er aggressive vil de medføre nye HMS utfordringer og mengden farlig avfall øke. Belegget blir løst i malingsfjernerens, hvilket kan gjøre det vanskeligere å samle det opp på en effektiv måte.

Etter at belegget er fjernet må overflata blåserenses før nytt belegg kan påføres. Konsentrasjonen av tungmetaller i blåsemiddelet må da være så lavt at det kan avhendes som inert eller ordinært avfall, hvis bruk av kjemikalier skal ha noen hensikt.

8.2 Slipe- og børsteverktøy

Denne kategorien metoder omfatter roterende stålbørste, sliperondell og manuell skraping. Fordelen med disse metodene er at de er fleksible, utstyret er lett og gir god tilkomst. Løs maling og det meste av løs rust vil bli fjernet, men overflata vil ikke være helt ren. Hvis reparasjonsbelegget skal ha lang levetid vil det være nødvendig med blåserensing i etterkant for å oppnå ønsket renhet og ruhet. Begrensningene med metodene er langsom avvirkning, slik at de fungerer best på små arealer.

8.3 Vannjetting

Vannjetting vil effektivt fjerne både degradert og intakt belegg, samt rust og annen overflateforurensning. Vannet må samles opp og filtreres ned til akseptabel konsentrasjon av bly før det kan slippes ut. At metoden ser ut til å være benyttet i USA [17] indikerer at det kan være en effektiv metode for å redusere mengden avfall, men siden de har andre regler for utslipp er det ikke sikkert at erfaringene kan overføres direkte til Norge. Oppsamling av vann kan være mer krevende enn oppsamling av blåsemiddel, så de praktiske aspektene ved metoden må også vurderes. Metoden gir ingen ruhet, så for å få ønsket ruhet må det blåserenses i tillegg. Om vannjetting da faktisk medfører reduksjon i kostnader eller forbedret HMS er usikkert.

8.4 Induksjon

Ved å varme opp ståloverflata under belegget med induksjon vil belegget løsne og kan enkelt skrapes av og samles opp. Teknologien er utviklet og patentert av det norske selskapet RPR Technologies. Metoden har fått en viss utbredelse og brukes særlig innen olje og gass, maritim, bygg og infrastruktur. Den brukes foreløpig mer i utlandet enn i Norge. RPR Tehcnologies opplyser at den er brukt til å fjerne blymønje fra bruer i Japan.

En induksjonsspole føres over overflata som skal rengjøres hvilket induserer en strøm i metalloverflata som gir en lokal oppvarming som følge av elektrisk motstand. Varmen fører til at belegg, rust og andre forurensninger løsner fra stålet. Utstyret består av en vekselstrømkilde, kabel og selve induksjonsspolen. Spolen kan skiftes ut etter hva som er hensiktsmessig form og størrelse for objektet som skal rengjøres. Det kan lages spoler med spesiell form som er tilpasset bestemte geometrier, for eksempel en vinkel til bruk i innvendige hjørner eller en sirkel som kan tres over bolter og muttere. Fordelen med metoden er at den ikke genererer støv eller støy, har en god avvirkningsrate, bruker mindre energi enn blåserensing og ikke generer avfall utover det som fjernes fra overflata. Metoden er mest brukt inne i tanker, utvendig på rør, på skipsdekk og store flater generelt. På komplisert geometri, som boltede fagverkskonstruksjoner, er det ikke opplagt at den vil være like effektiv. Det kan være vanskelig å komme til med spolen på alle flater. Der hvor stålet har korrodert vil det være nødvendig å blåserense i tillegg for å få ønsket overflateprofil for reparasjonsbelegget.



Figur 15. Fjerning av malingsbelegg med induksjonsoppvarming. Foto: Abadi Oil and Gas Services

8.5 Vakuumblåsing

Vakuumblåsing er tradisjonell blåserensing, men med oppsuging av blåsemedlet i munnstykket umiddelbart etter at det har truffet objektet. Teknologien er utviklet av Pinovo AS. Munnstykket danner et kammer som føres tett over overflata som skal behandles og der blåsemedlet både blåses ut og suges inn. Fordelen med denne metoden er at ønsket ruhet og renhet oppnås, alt avfall samles opp i utstyret, det genereres ikke støv og blåsemedlet resirkuleres. Begrensningene ligger i at utstyret er relativt stort og tungt og at det er vanskelig å behandle overflater med komplisert geometri. Metoden er benyttet i olje og gass, vannkraft og på skip. Et forsøk er også gjort på Askøybroen der små arealer ble blåst for inspeksjon av tilstand under belegg.

8.6 Blastox

Blastox er en blanding av kjemikalier i form av et pulver som tilsettes blåsemedlet før blåserensing for å binde blyet i blåsemedlet og hindre at det lekker ut etter deponering. Produktet er utviklet og mye brukt i USA. Brukt blåsemedlet kan dermed behandles som inert eller ordinært avfall. Leverandøren spesifiserer en tilsetning på 15 vekt-% av stoffet til det aktuelle blåsemedlet. I USA får man kjøpt det ferdig blandet i blåsemedlet.

Utlekkingspotensialet av bly er påvirket av to faktorer: den kjemiske forbindelsen som blyet foreligger i og pH i omgivelsene. Utlekking av bly kan reduseres ved at det konverteres til tungtløselige blyforbindelser,

innkapsling og stabilisering av pH. Ifølge leverandøren benytter Blastox tre stabiliseringsmekanismer som skal gi et langsiktig stabilt avfall.

- Skaper en alkalisk matrise der blyforbindelser er stabile og tungtløselige
- Endrer den kjemiske tilstanden fra blyoksid, karbonat eller hydroksid til blysilikat som er uløselig.
- Hydratiseringsreaksjoner som innkapsler avfallet i en sementbasert masse som begrenser kontakten med vann fra omgivelsene.

Stabilisering av pH i miljøet er en midlertidig effekt med en viss kapasitet. Når bufferkapasiteten er brukt opp vil blyet igjen kunne lekke ut. Det er derfor først og fremst de to siste punktene som er avgjørende for å få en varig stabilisering av blyet. Avfallet skal være stabilt uavhengig av pH i omgivelsene det eksponeres for. Ifølge opplysninger gitt av leverandøren tilfredsstillende brukte blåsemiddel med Blastox de kravene som EPA (Environmental Protection Agency) gir vedrørende utlekking av bly. Det er godkjent av Federal Highway Administration og flere stater i USA. Leverandøren hevder at det per dags dato er benyttet ved rehabilitering av omkring 15 millioner m² blymønje.

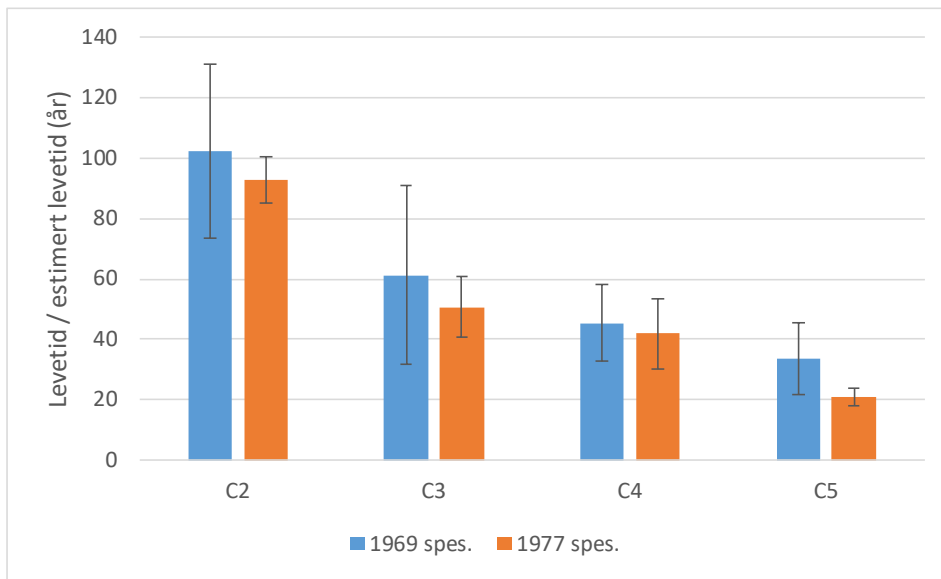
9 Diskusjon

Som vist i seksjon 6.2 er tilstanden til belegget dårlig på mange av bruene med blymønje, selv i innlandsmiljø med lav korrosivitet. På mange av bruene er tilstanden så dårlig at det er lite hensiktsmessig å forsøke å beholde noe av det gamle belegget. På noen av bruene der belegget er i bedre stand kan preventivt vedlikehold vurderes for å begrense omfanget av blåserensing av blymønje. Som vanlig er det kanter som først angripes av korrosjon. Overflens og andre deler som ligger inntil betong er også utsatt, trolig som følge av hydrolyse av alkyd ved høy pH. Disse områdene vil uansett kreve blåserensing.

Siden malinga flasser av bruene der belegget er i dårlig stand slippes det blyoksid ut i miljøet. Det bør derfor vurderes å starte vedlikehold for å stoppe utslippet og unngå eventuelle behov for kostbar opprensing av forurenset grunn. Hvis vi antar at blymønja inneholdt 1,2 kg blyoksid pr liter maling, at tørrstoffinnholdet var 50% og at tørrfilmtykkelsen på blymønja var 100 μm i gjennomsnitt, så vil det være 240 g blyoksid pr m^2 stål. Eksempel: Hvis vi antar at 1% av belegget på Jøssundbrua har flasket av (totalt stålareal estimert til 880 m^2) så er det sluppet ut 2,1 kg blyoksid. For trafikkarealer er Tilstandsklasse 3 eller 4 akseptabelt, som ifølge Tabell 4 betyr 0,1 eller 0,3 g bly per kg masse. Siden Jøssundbrua går over en fjord vil trolig maling som faller av spres med strømninger i vannet og fortynnes på den måten. For bruer over land vil imidlertid slike betraktninger være relevante.

På bruene med TSZ dupleksbelegg er belegget i vesentlig bedre tilstand enn på bruene med blymønje. Selv på bruer i svært korrosivt miljø ser belegget hovedsakelig ut til å være i god stand. Førstestrøk med kromatholdig maling bidrar trolig til å øke levetiden til belegget. Avflassing av toppstrøk og punkter med hvitrust er funnet på noen av bruene. Preventivt vedlikehold med lokal fjerning av hvitrust, fjerning av løs maling, vasking og påføring av nytt toppstrøk bør vurderes for å forlenge levetiden til belegget og redusere fremtidig behov for blåserensing.

Siden det er svært vanskelig å finne opplysninger om overflatevedlikehold fra før 2000 er det ikke mulig å si noe sikkert om beleggernes levetid. Inspeksjonsbilder i Brutus fra bruer med dupleksbelegg som ble åpnet mellom 1967 og 1977 indikerer at de fleste har hatt overflatevedlikehold [19]. Det kan imidlertid se ut til at noen bruer i C2 og C3 miljø ikke har hatt vedlikehold, hvilket betyr en levetid på mellom 40 og 50 år nå. Ut fra tilstanden på belegget ser det ut til at levetiden vil bli vesentlig lengre enn dette også. På de bruene der det er dokumentert overflatevedlikehold har belegget fått en levetid fra 24 til 41 år. Det er imidlertid ikke beskrevet i Brutus hva vedlikeholdet gikk ut på og i hvilket omfang det ble blåserenset. I en gjennomgang av levetid (tid til første større vedlikehold) til dupleksbelegg ble det estimert gjennomsnittlig forventet levetid for dupleksbelegg på bruer i korrosjonskategori C2 til C5, som vist i Figur 16. For bruer der vedlikehold var utført er beleggets levetid bruas alder ved tidspunktet for vedlikehold. For bruer som ikke har hatt vedlikehold ble forventet levetid estimert ut fra bruas alder, beleggets tilstand og korrosivitetskategori. Estimaten er ikke nøyaktige og det er stor spredning i resultatene, men for dupleksbelegg i C2 miljø er det ikke urimelig å forvente at belegget kan stå uten vedlikehold i 100 år. Etter som korrosiviteten øker blir beleggets levetid lavere, og for C5 miljø, ble det funnet at samtlige bruer var vedlikehold i løpet av 20-40 år.



Figur 16. Estimert forventet levetid til duplexbelegg som funksjon av korrosivitetskategori. Spesifikasjonen fra 1969 har sinkkromat, mens spesifikasjonen fra 1977 ikke har det. For bruer der vedlikehold er utført er beleggets levetid bruas alder ved det tidspunktet. For bruer som ikke har hatt vedlikehold ble forventet levetid estimert ut fra bruas alder, beleggets tilstand og korrosivitetskategori.

9.1 Omfang og strategi

Det er gjort en enkel antagelse om at blymønje hovedsakelig ble brukt på alle stålbruer frem til 1967 og på innlandsbruer frem til 1977. Belegget på mange av disse bruene er allerede totalt skiftet ut, men siden informasjon om vedlikehold i liten grad er dokumentert før 2000 er det umulig å si i hvilket omfang dette har skjedd. Spesielt antar vi at det er tilfellet for bruer i kyststrøk, siden nedbrytning av belegg og behovet for vedlikehold er størst her. Ut fra en gjennomgang av bruer i Trøndelag og informasjon fra bruforvaltere i flere fylker ser det ut til at bare omkring 15% av det malte arealet fra de aktuelle periodene fortsatt har blymønje. Dette utgjør i så fall omkring 150 000 m².

Det er videre antatt at alle duplexbelegg som ble påført fra 1968 til 1977 inneholder malingsstrøk med sinkkromat. Dette er ikke nødvendigvis tilfellet, men vi antar at det hovedsakelig er riktig. I så fall er det maksimalt 250 000 m² duplexbelegg med sinkkromat. Arealet av slike belegg på kabler er ikke inkludert så tallet kan være noe større.

Duplexbelegg med sinkkromat gir svært god korrosjonsbeskyttelse. Så lenge belegget er intakt er det derfor ingen grunn til å fjerne det. Blymønjesystemer har dårligere beskyttende egenskaper, men kan med preventivt vedlikehold få lang levetid. Trafikværkets strategi om å starte vedlikeholdet tidlig og i størst mulig grad male over intakt blymønje kan være et godt alternativ også for Statens vegvesen. Kriteriene for start av vedlikehold som Trafikværet benytter (se seksjon 7.2) er fornuftige og kan eventuelt også benyttes i Norge.

9.2 Rengjøring og behandling av avfall etter rengjøring

Ved reparasjon av belegg uten tungmetaller rengjøres overflatene normalt ved blåserensing, med mindre omfanget er svært lite. Blåserensing gir rene overflater og god ruhetsprofil, slik at reparasjonsbelegget kan oppnå lang levetid. Dette er derfor et naturlig utgangspunkt også ved reparasjon av belegg med tungmetaller.

Både Statkraft og Trafikverket spesifiserer blåserensning for overflater med blymønje når det kreves rengjøring ned til bart metall.

Av de alternative metodene som er gjennomgått over er ikke alle egnet for reparasjoner med større omfang. Dette gjelder spesielt kjemiske malingsfjernere og slipe- og børsteverktøy. Vannjetting og induksjonsoppvarming kan være svært effektive metoder for å fjerne belegg, men de gir ingen ruhet i ståloverflata, slik at behandlede overflater bør blåserenses i tillegg. Metodene vil gi svært lite farlig avfall, trolig kun det fjernede belegget, men vannet fra vannjetting må samles opp og filtreres før det kan slippes ut. Kostnadene for deponering av avfallet vil derfor reduseres. Det er imidlertid usikkert om denne besparelsen vil dekke de ekstra utgiftene for å blåserense i tillegg. Vakuumblåsing og Blastox innebærer blåserensning og vil gi ønsket ruhet, slik at det ikke er nødvendig med ytterligere behandling. Vakuumblåsing har også fordeler ved at blåsemidlet samles i utstyret og det genereres lite støv, slik at det i mindre grad vil være nødvendig å bygge telt rundt brua. Siden blåsemidlet resirkuleres vil mengden avfall også reduseres betraktelig. Utstyret er imidlertid stort og tungt og kan være vanskelig å håndtere på ei bru. Blastox har ingen påvirkning på selve rengjøringen, annet enn at produktet må blandes i blåsemidlet (eller kjøpe ferdig innblandet blåsemiddel). Potensiell besparelse ligger i å redusere mengden farlig avfall, men om kostnadene for produktet er lavere enn besparelsen i avfallsbehandlingen har vi ingen opplysninger om. Vi vet heller ikke om produktet er tilgjengelig i Norge, eller om det er eller vil bli godkjent.

Rengjøring av intakte belegg med tungmetaller før overmaling kan gjøres ved vasking i henhold til Vegvesenets gjeldende prosedyrer.

Behandling av avfall etter rengjøring er entydig regulert i Avfallsforskriften.

9.3 Reparasjonsbelegg

Ifølge Håndbok R762 skal overflater som er rengjort ned til bart stål påføres Vedlikeholdssystem 0, 1 eller 2 på bruer som tidligere ikke er behandlet med duplexbelegg. Swerea KIMAB la stor vekt på evne til inntrengning i spalter ved overlappende skjøter, mens Trafikverkets prosedyre ikke legger spesielt vekt på dette og spesifiserer epoksymastik i første strøk. Statkraft overmaler også med epoksymastik. Erfaringene til Statens vegvesen, for eksempel fra Breviksbrua, viser at slike spalter er et problemområde.

Konklusjonen til Swerea KIMAB vedrørende overmaling av blymønje med alkydsystemer er delvis basert på et begrenset antall erfaringer fra USA med epoksy på gamle alkydsystemer fra slutten av 1980-tallet [20]. Det er rimelig å anta at epoksyteknologien har utviklet seg siden da, slik at bedre resultater kan forventes nå. Statkraft har dessuten gode erfaringer med overmaling av blymønje med epoksy.

Prosess 88.37 i Håndbok R762 spesifiserer heldekkende epoksymastik og polyuretan ved fornying av dekkstrøk. Vi ser ingen grunn til å gå bort fra dette.

10 Forslag til prosedyre for rehabilitering av belegg med tungmetaller

10.1 Skade- og sårbarhetsvurdering

Skade- og sårbarhetsvurdering gjøres i henhold til "NA-rundskriv 2018/4 Endringer til håndbok V441 Inspeksjonshåndbok for bruer".

Skade på overflatebehandling (skadetype 16) bedømmes som følger:

- Skadegrad 1: Krittning eller misfarging av overflaten

- Skadegrad 2: Porer/blæring/krakelering/avflaking
- Skadegrad 3: Nedbrytning til sinkbelegg
- Skadegrad 4: Eksponering av metalloverflaten

Ved skadegrad 4 er metalloverflaten eksponert og stålet korroderer (skadetype 42).

For beleggskafer og korrosjonsskader vil skadekonsekvensen være en eller flere av følgende:

- V: Skade som kan øke vedlikeholdskostnad
- M: Skade som kan påvirke miljø/estetikk. Utslipp av blyholdig maling kan påvirke miljø
- B: Hvis korrosjon i beleggskafer får utvikle seg over lang tid kan reduksjon av stålets tverrsnitt redusere konstruksjonens bæreevne.

Konsekvensgrad bedømmes i henhold til Tabell 8.

Tabell 8. Konsekvensgrad som funksjon av skadegrad og type konsekvens

	V	M	B
1	Skaden er stabil	Liten konsekvens	Bæreevnen er i liten grad redusert og skaden er stabil.
2	Skaden kan utvikle seg.	Middels konsekvens	Bæreevnen er noe redusert. Skaden kan utvikle seg.
3	Skaden kan utvikle seg raskt. Dvs. at man kan forvente at vedlikeholdskostnadene vil øke i løpet av 3 år dersom tiltak ikke gjennomføres.	Vesentlig konsekvens	Bæreevnen er vesentlig redusert, men brua er ikke overbelastet.
4	Konsekvensreduserende tiltak vurderes for å begrense utviklingen. Bruforvalter/ oppdragsgiver kontaktes umiddelbart	Stor konsekvens for miljø/estetikk. Bruforvalter/ oppdragsgiver kontaktes umiddelbart	Brua har redusert bæreevne og /eller kan være overbelastet. Bruforvalter/ oppdragsgiver kontaktes umiddelbart.

For beleggskafer vil som oftest konsekvensen være økt vedlikeholdskostnad. Vedlikeholdskostnad med konsekvensgrad V4 vil i praksis sjelden oppstå. Normalt vil konsekvensgrad være V2 eller V3. Skade i belegg med tungmetall kan medføre utslipp av tungmetall til miljø. Mengde belegg som flasser av brua vil trolig være avhengig av korrosiviteten på stedet og hvor langt degraderingen av belegget har kommet. Ved vurdering av konsekvensgrad bør sannsynlighet for krav om opprensning av forurenset grunn vurderes, se seksjon 4.2.

Hvis stålet er eksponert bør skaden klassifiseres som korrosjon og ikke beleggskafe. Hvis korrosjonsangrepet ikke er dypt, typisk for innlandsmiljø med lav korrosjonshastighet, vil konsekvensen som regel fortsatt være økt vedlikeholdskostnad. Skaden vil utvikle seg, men ikke raskt (konsekvensgrad V2). Hvis korrosjonsangrepet er dypt vil det kunne påvirke bruas bæreevne. I et korrosivt miljø, det vil si at stålet er eksponert nær sjøen (typisk lave kystbruer), vil korrosjonsangrepet kunne utvikle seg raskt. Hvis avstanden til vannet er under 10 m kan korrosjonshastighet opp mot 0,2 mm/år forventes. I plaskesonen, det vil si at brua regelmessig fuktes av sjøsprøyt, kan korrosjonshastigheten være opp mot 0,4 mm/år. Konsekvens for bruas bæreevne må vurderes, normalt konsekvensgrad B2 eller B3.

10.2 Blymønje

10.2.1 Identifisering av blymønje

Blymønje kjennes igjen på den typiske oransje fargen, som vist i Figur 17. Fargen vises også i Figur 8.



Figur 17. Blymønje har en oransje farge som er typisk for denne typen belegg

10.2.2 Tiltak og valg av vedlikeholdsbelegg

For bruer der det er kjent at belegget inneholder tungmetaller bør følgende tas i betraktning før valg av rengjøringsmetode og reparasjonsbelegg:

- Bruas forventede restlevetid
- Beleggets tilstand
- Korrosivitet på stedet

I Brutus står bruene normalt oppført med 100 år levetid. Bruene forvaltes imidlertid med målsetning om at teknisk tilstand ikke skal begrense bruas levetid. Ei bru tas ut av drift når det ikke lenger er bruk for den (for eksempel at veien fjernes) eller at den ikke lenger har tilstrekkelig kapasitet med hensyn på trafikk eller last. Beslutning om å ta ei bru ut av drift gjøres typisk med en tidshorisont i størrelsesorden 10 år. Restlevetiden til ei bru er derfor enten kort (< 10 år) eller svært lang.

Figur 18 viser en enkel matrise over kombinasjoner av beleggtilstand og restlevetid med forslag til tiltak. Kort sagt foreslår vi å utnytte beleggets levetid maksimalt for deretter å fjerne all blyholdig belegg på brua og påføre et moderne beleggssystem. Hvis belegget er i god stand er ingen tiltak nødvendig. Hvis belegget er i dårlig tilstand men brua har kort restlevetid vil utgangspunktet være å ikke gjøre noe, eventuelt å gjøre hyppigere inspeksjoner for å ha kontroll på bruas bæreevne. Ved lang restlevetid foreslår vi å fjerne all blymønje og påføre dupleksbelegg.

Restlevetid	Lang	Avvente	Fjerne all blymønje. Påføre dupleksbelegg.
	Kort	Ingen tiltak nødvendig	Vurdere behov for tiltak ut fra risiko for tap av bæreevne eller miljøskade
		God	Dårlig
Beleggtilstand			

Figur 18. Vurdering av tiltak som funksjon av tilstand på blymønje og restlevetid for brua

10.3 Belegg med sinkkromat

10.3.1 Identifisering av sinkkromat

To typer sinkkromatholdige belegg er benyttet. Fra 1967 til 1969 ble det påført rød sinkkromat på et mindre antall bruer, for eksempel Tjeldsundbrua og Hornesundbrua. Fargen er vist i Figur 19. Fra 1969 til 1977 ble det brukt gul sinkkromat, som vist i Figur 11. Etter 1977 ble sinkkromat erstattet med sinkfosfat. For bedre å kunne kontrollere hva som var påført av maling ble de to strøkene med sinkfosfat levert med ulik farge. Første strøk med sinkfosfatholdig maling (Spesifikasjon 107 og 115) var hvite, mens andre strøk med sinkfosfat (Spesifikasjon 108 og 116), var gule. Dette kan derfor fortelle om belegget inneholder sinkkromat eller ikke. Ved usikkerhet kan prøver sendes til analyse for å få et sikkert svar.



Figur 19. Rød sinkkromatholdig maling brukt mellom 1967 og 1969.

10.3.2 Tiltak og valg av vedlikeholdsbelegg

Siden sinkkromatholdig maling i dupleksbelegg har gode korrosjonsbeskyttende egenskaper, og belegget ikke utgjør noen fare så lenge det sitter på brua, foreslår vi i størst mulig grad å unngå blåserensing av intakt

belegg. Der nedbrytningen har kommet så langt at sinkbelegget har startet å korrodere bør det blåserenses til bart stål, flikkes med TSZ og sealer, og påføres heldekkende epoksy barrierestrøk og polyuretan toppstrøk, eventuelt flikke med epoksy også og kun påføre polyuretan heldekkende. Vedlikeholdet bør utsettes til stålet har startet å korrodere i utsatte områder. Avhengig av korrosiviteten på stedet kan det tillates at stålet korroderer i en periode. I lite korrosivt miljø, typisk innlandsmiljø, kan dette være mange år. I kystmiljø, og spesielt for stål som står nær sjøen, må vedlikeholdet starte noen få år etter at stålet har startet å korrodere.

I noen tilfeller har det blitt utført preventivt vedlikehold på et stadium der sinkbelegget ikke har startet å korrodere. Utløsende tilstand for vedlikeholdet har for eksempel vært avflassing av toppstrøk (Rombaksbrua i 2011). Hvis dette anses å være kostnadsbesparende i et levetidsperspektiv må det vurderes.

10.4 Risikovurdering før vedlikehold av belegg

Følgende forslag er hovedsakelig basert på informasjon mottatt fra Statkraft.

Dersom det er usikkerhet knyttet til type maling som skal blåserenses skal det tas prøver som sendes til analyse til et akkreditert laboratorium. Alle stålbruer med byggeår før 1980 kan ha belegg som inneholder tungmetaller (bly eller kromat). Med mindre det er sikker informasjon om at belegget ikke inneholder tungmetaller på bruer fra disse periodene skal det antas at det kan inneholde tungmetaller.

Det skal sjekkes ut om det har foregått blåserensing rundt konstruksjonen tidligere og om det kan ligge gammelt blåsemiddel igjen. Ved mistanke om forurensning av grunnen skal det tas prøver av grunnen i forkant av arbeidet. "Tilstandsklasser for forurenset grunn" gitt i veileder TA-2553/2009 angir grenser for de ulike tilstandsklassene. Ved tilstandsklasse 3, 4 eller 5 skal det gjøres en risikovurdering av spredning. Jordmasser med miljøgiftkonsentrasjoner over tilstandsklasse 5 anses å være farlig avfall og skal ikke ligge igjen i grunnen.

Brukt blåsemiddel med malingrester skal behandles som farlig avfall med mindre det foreligger sikkerhetsdatablad på maling og blåsemiddel som kan vise til noe annet. Entreprenør er ansvarlig for at blåsesand, malingrester og annet avfall samles opp leveres til godkjent mottak, og at nødvendige analyser foretas av avfallet, med mindre annet er spesifisert i avtalen. Avfallet skal leveres til godkjent mottak. Behov for analyser av brukt blåsemiddel bør avklares i samråd med avfallsmottaker for å unngå unødvendige kostnader. Mengde levert blåsemiddel til avfallsmottaker skal kontrolleres opp mot mengde brukt blåsemiddel fra logg. Det skal ikke ligge igjen rester av brukt eller ubrukt blåsemiddel på vedlikeholdsstedet.

Det bør vurderes om ekstra tiltak for å hindre utslipp av blåsestøv til ytre miljø er nødvendig.

Blåserensing av bly- og kromatholdig maling medfører ekstra krav til arbeidsgiver vedrørende beskyttelse og oppfølging av arbeidstakere. Bestemmelser i "Forskrift om utførelse av arbeid, bruk av arbeidsutstyr og tilhørende tekniske krav" om blyforbindelser (ved blåserensing av blymønje) og kreftfremkallende kjemikalier (ved blåserensing av kromatholdig maling) skal følges.

11 Referanser

1. Klinge, R., Korrosjonsbeskyttelse av norske stålbruer. Oversikt over utviklingen i det 20. århundre, Rapport nr. 683, 2019, Statens vegvesen, Oslo.
2. Arbeidstilsynet, Forskrift om tiltaksverdier og grenseverdier for fysiske og kjemiske faktorer i arbeidsmiljøet samt smitterisikogrupper for biologiske faktorer (forskrift om tiltaks- og grenseverdier). Arbeids- og sosialdepartementet, Oslo, 2011
3. Lovdata, Forskrift om utførelse av arbeid, bruk av arbeidsutstyr og tilhørende tekniske krav. Arbeids- og sosialdepartementet, Oslo, 2011
4. Lovdata, Forskrift om begrensning av forurensning. Klima- og miljødepartementet, Oslo, 2004
5. SFT, Krav til avfallsprodusentens testing, Rapport nr. TA-2225, 2007, Miljødirektoratet, Oslo.
6. NS-EN 14405, Karakterisering av avfall - Prøving av utlekkingssegenskaper - Oppstrøms kolonneprøving (under spesielle forhold), Standard Norge, Oslo, 2017
7. NS-EN 12457, Karakterisering av avfall - Utlekking - Samsvarsprøving for utlekking av granulært avfallsmateriale og slam, Standard Norge, Oslo, 2002
8. SFT, Helsebaserte tilstandsklasser for forurenset grunn, Rapport nr. TA2553, 2009, Miljødirektoratet, Oslo.
9. Knudsen, O.Ø., Korrosivitet på bruer, Rapport nr. 2018:01188, 2018, SINTEF, Trondheim.
10. Zhang, Q.C., J.S. Wu, J.J. Wang, W.L. Zheng, J.G. Chen, and A.B. Li, Corrosion behavior of weathering steel in marine atmosphere. *Materials Chemistry and Physics*, 2002. 77(2): s. 603–608.
11. Klinge, R., Protection of Norwegian Steel Bridges against Corrosion. *Stahlbau*, 1999. 68(5): s. 382-391.
12. Klinge, R., Altered specifications for the protection of Norwegian steel bridges and offshore structures against corrosion. *Steel Construction*, 2009. 2(2): s. 109-118.
13. Forssander, M. and B. Sederholm, Övermålning av blymönjemålade stålkonstruksjoner - ett alternativt rostskyddsunderhåll, Rapport nr. 2002:4 2002, Swerea KIMAB, Stockholm.
14. Reuterswärd, P., Sluttrapport Ommålning av blymönjemålade objekt, Rapport nr. 2014-129, 2014, Swerea KIMAB, Kista.
15. ISO 4628-3:2016, Paints and varnishes -- Evaluation of degradation of coatings -- Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance -- Part 3: Assessment of degree of rusting, The International Organization for Standardization, Geneva, 2016
16. DOT, M. MnDOT steel structure paint removal program - contractors. 2013 [cited 2018; Available from: <https://www.dot.state.mn.us/environment/regulatedmaterials/paintremoval.html>.
17. Hopewood, T., S. Palle, and R. Younce, Environmental impacts of bridge cleaning operations, Rapport nr. KTC-03-03/SPR 224-01-1F, 2003, University of Kentucky, Lexington, KY.
18. TNZ C26, Specification for the cleaning and recoating of steelwork coated with lead based paint, New Zealand Transport Agency, Wellington, NZ, 2003
19. Knudsen, O.Ø., H. Matre, C. Dørum, and M. Gagné, Experiences with Thermal Spray Zinc Duplex Coatings on Road Bridges. *Coatings*, 2019. 9(6): s. 371.
20. Ault, P. and C.L. Farchon, 20-Year Performance of Bridge Maintenance Systems. *Journal of Protecting Coatings & Linings*, 2009(1): s. 16-32.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no



Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 6706 Etterstad 0609 OSLO
Tlf: (+47) 22073000
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen