

2019:00022 - Åpen

Rapport

Vedlikehold av bly- og kromatholdige belegg - tilstand

Bedre bruvedlikehold

Forfatter(e)

Ole Øystein Knudsen



SINTEF Industri

Postadresse:
Postboks 4760 Torgarden
7465 Trondheim

Sentralbord: 40005100

info@sintef.no

Foretaksregister:
NO 919 303 808 MVA

Rapport

Vedlikehold av bly- og kromatholdige belegg - tilstand

Bedre bruvedlikehold

EMNEORD:
Materialteknologi;
Korrosjon; Belegg;
Blymønje; Kromat**VERSJON**
1.0**DATO**
2019-01-04**FORFATTER(E)**
Ole Øystein Knudsen**OPPDRAGSGIVER(E)**
Statens vegvesen**OPPDRAGSGIVERS REF.**
Håkon Matre**PROSJEKTNR**
102017950**ANTALL SIDER OG VEDLEGG:**
23**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 beleggssystemer 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 estimere tilstand og levetid for blymønje og kromatholdige dupleksbelegg som funksjon av korrosiviteten til det lokale miljøet der bruene står eksponert.

UTARBEIDET AV
Ole Øystein Knudsen

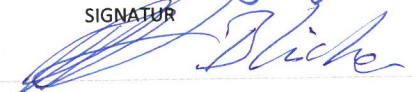
SIGNATUR

**KONTROLLERT AV**
Astrid Bjørgum

SIGNATUR

**GODKJENT AV**
Daniel Blücher

SIGNATUR

**RAPPORTNR**
2019:00022**ISBN**
978-82-14-06814-6**GRADERING**
Åpen**GRADERING DENNE SIDE**
Åpen

Historikk

| VERSJON | DATO | VERSJONSBESKRIVELSE |
|---------|------------|---------------------|
| 1.0 | 2019-01-04 | Første versjon |

Innholdsfortegnelse

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Sammendrag | 4 |
| 2 | Innledning | 5 |
| 2.1 | Bakgrunn | 5 |
| 2.2 | Om undersøkelsen | 5 |
| 2.3 | Tilstand og nedbrytningshastighet for korrosjonsbeskyttende belegg | 6 |
| 2.4 | Målsetning | 7 |
| 3 | Blymønje | 8 |
| 3.1 | Oversikt over bruer med blymønje i Trøndelag | 8 |
| 3.2 | Jøssundbrua | 10 |
| 3.3 | Stjørdal jernbanebru | 12 |
| 3.4 | Kvål | 13 |
| 3.5 | Forve | 14 |
| 3.6 | Tjeldsundbrua | 15 |
| 3.7 | Ena | 16 |
| 4 | Kromatholdig maling | 17 |
| 4.1 | Rombaksbrua | 19 |
| 4.2 | Madsøybrua | 20 |
| 4.3 | Kvalpsundet | 21 |
| 4.4 | Gjermundnes | 22 |
| 5 | Diskusjon | 23 |
| 6 | Referanser | 23 |

1 Sammendrag

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 denne rapporten er å estimere tilstand og levetid for blymønje og kromatholdige dupleksbelegg som funksjon av korrosiviteten til det lokale miljøet der bruene står eksponert. Rapporten er 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, og det er derfor ikke mulig å sikkert anslå beleggernes levetid. Ut fra bildene i Brutus ser det imidlertid ikke ut til at dupleksbelegg er vedlikeholdt i vesentlig grad, utover de bruene der vi har opplysninger om vedlikehold. For dupleksbelegg er det derfor estimert levetid basert på byggeår og opplysninger om vedlikehold. For beleggsystemer med blymønje er det ikke estimert noen levetid siden de fleste bruene ganske sikkert har vært vedlikeholdt en eller flere ganger uten at vi vet når det skjedde.

Rapporten fokuserer på bruer i Trøndelag. Grunnen til dette er kortere reisetid ved inspeksjon, samarbeid med Statens vegvesen lokalt, samt at et begrenset omfang gjorde det mulig å få en relativt fullstendig oversikt. Det er inkludert opplysninger om bruer fra resten av landet med TSZ dupleksbelegg.

Konklusjoner for bruer med blymønje:

- I Trøndelag er det omkring 300 stålbruer med byggeår før 1967, som vi kan anta ble beskyttet med blymønje. Av disse er det nå 49 som vi med sikkerhet kan si fortsatt har blymønje. Dette viser at blymønje allerede har blitt fjernet fra mange bruer. Det totale antallet bruer i Trøndelag med blymønje er imidlertid noe høyere enn dette, siden blymønje ble benyttet på stålbruer i innlandsstrøk frem til 1977.
- Av de 49 bruene med blymønje som er undersøkt er tilstanden vurdert til skadegrad 3 for 26 bruer (behov for tiltak i løpet av 1-3 år). For de resterende ble det vurdert skadegrad 2 for 14 bruer (behov for tiltak i løpet av 4-10 år) og skadegrad 1 for 9 bruer (ikke behov for tiltak). På bruene med skadegrad 3 er det trolig hensiktsmessig å blåserense hele brua. For bruene med skadegrad 1 og 2 kan preventivt vedlikehold vurderes. Skadene oppstår først og fremst på kanter og på deler som ligger inntil betong. Her er det behov for blåserensing, uavhengig av tilstanden på resten av brua.
- På flere av bruene flasser belegget nå av og havner i miljøet rundt brua. Det bør vurderes å sette i gang tiltak raskt på disse bruene for å unngå lokal forurensning og krav om kostbar opprensing av grunnen rundt bruene.
- Bruene med blymønje har trolig også malingsstrøk med sinkkromat.

Konklusjoner vedrørende bruer med kromatholdige dupleksbelegg:

- Det er antatt at bruer ved kysten bygd mellom 1967 og 1977 hovedsakelig er beskyttet med dupleksbelegg med kromatholdig maling i første strøk. Innlandsbruer kunne i denne perioden beskyttes med blymønje i stedet for dupleksbelegg. Dupleksbelegg er identifisert basert på beliggenhet (kyst) og hvite korrosjonsprodukter.
- Dupleksbeleggene er i vesentlig bedre tilstand enn blymønjesystemene. Kun lokal nedbrytning i form av punkter av hvitrust og flassing av toppstrøk er funnet på disse bruene, hvilket vitner om holdbarheten til dupleksbelegg.
- Sinkkromat bidrar til å øke beleggets motstand mot korrosjon. Det er derfor en fordel å bevare disse beleggene på brua med tanke på korrosjonsmotstand og levetid. Det vil også være en fordel med hensyn på HMS, siden sinkkromat ikke utgjør noen fare så lenge belegget sitter på brua.
- Siden tilstanden til beleggene er god bør preventivt vedlikehold vurderes.

2 Innledning

2.1 Bakgrunn

Fram til 1965 ble det spesifisert blymønje for korrosjonsbeskyttelse av stålbruer i Norge. I 1965 ble termisk sprøyta sink (TSZ) eller aluminium (TSA) med maling (dupleksbelegg) inkludert i spesifikasjonen. Blymønje var imidlertid fortsatt med i spesifikasjonen som et alternativ for innlandsbruer. Maling pigmentert med sinkkromat var inkludert i spesifikasjonen frem til 1977. Ifølge opplysninger fra en malingsleverandør i 1982 inneholdt blymønje 1,2 kg blyoksid pr liter maling, mens kromatholdig maling inneholdt 0,25 – 0,3 kg sinkkromat per liter maling.

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 bruk, med behov for overflatevedlikehold.

2.2 Om undersøkelsen

I denne rapporten er tilstanden til beleggssystemer med blymønje og kromat undersøkt. Rapporten er 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, og det er derfor ikke mulig å si noe om beleggenes faktiske levetid.

Blymønje er lett å kjenne igjen på den karakteristiske røde eller oransje fargen, slik at det er mulig visuelt å fastslå om det inneholder blymønje, spesielt 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. Vi har ingen informasjon om sammensetning av CMP eller hvem som leverte produktet.

Selv om dupleksbelegg ble innført i spesifikasjonen av belegg i 1965 er det usikkert hvor lang tid det tok før praksis ble endret og bruene ble beskyttet med dupleksbelegg. Overgangen skjedde gradvis, og blymønje har vært brukt på innlandsbruer i hvert fall til slutten av 1970-tallet. Ifølge informasjon fra ansatte i Vegvesenet var det lager av blymønje som kan ha blitt brukt i vedlikehold fram til tidlig på 1980-tallet. Rene malingsbelegg uten TSZ eller blymønje ble også benyttet i noen tilfeller. Tabell 1 viser beleggssystemene som var spesifisert i "Retningslinjer for vedlikehold av bruer. Vegvesenets håndbokserie nr. 3" fra 1976, hvor vi ser at blymønje fortsatt er spesifisert for innlandsbruer og vedlikehold.

I Vegvesenets Spesifikasjon 7-10 (ren alkyd), Spesifikasjon 11-14 (1:1 alkyd/KK) og Spesifikasjon 15-18 (2:1 alkyd/KK) var de to første strøkene pigmentert med sinkkromat. I 1977 ble sinkkromat erstattet med sinkfosfat og malingene fikk benevnelse Spesifikasjon 107-110 (ren alkyd) og 115-118 (2:1 alkyd/KK). Det er her antatt at utskifting med sinkkromat gikk raskt, siden det ikke ville ha konsekvenser for prosjektering eller kostnader. Siden sinkkromat har en karakteristisk skarp gul farge er det til en viss grad mulig å se om det er sinkkromat i belegget, og det kan se ut til at bruer etter 1980 ikke ble belagt med sinkkromat. Spesifikasjon 107-110 og 115-118 sto i Prosesskode 2 frem til revisjon i 2007, men fra 2004 var de ikke lenger tillatt på grunn av det høye innholdet av løsemidler [1].

Rapporten fokuserer på bruer i Trøndelag. Grunnen til dette er kortere reisetid ved inspeksjon, samarbeid med det lokale kontoret, samt at et begrenset omfang gjorde det mulig å få en relativt fullstendig oversikt. Spesielt nord i Trøndelag er mange bruer som hadde blymønje nå totalrehabilitert.

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 ren alkyd

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

2.3 Tilstand og nedbrytningshastighet for korrosjonsbeskyttende belegg

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

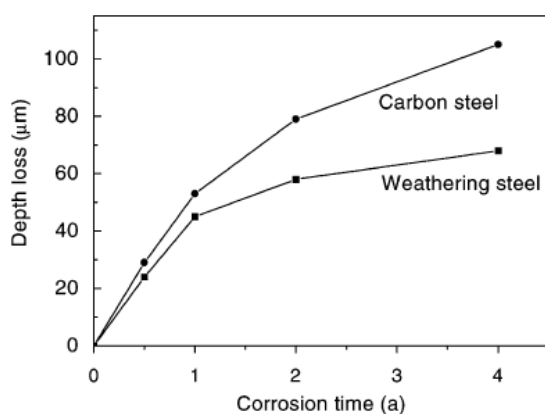
Skadegrad 4 er ikke benyttet på noen av bruene. Siden korrosjon er en langsom prosess må angrepene ha kommet svært langt før tiltak er nødvendig i løpet av et halvt år. Et belegg kan derfor være nedbrutt over store deler av brua, men vedlikehold kan likevel vente 1-3 år uten fare for bruas bæreevne.

Tabell 1 viser inndeling i korrosjonsklasser i henhold til ISO 12944-2, definert av korrosjon på stål i løpet av ett års eksponering. Korrosjonsklasse er estimert for alle bruene i rapporten i henhold til denne tabellen. Korrosjonsklasse har blitt målt for et antall bruer [2], og estimatene ble gjort ved sammenligning med de bruene der korrosivitet er målt med hensyn på 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 1 [3]. 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.

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

| Korrosjonsklasse | 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 1. Utvikling i korrosjonshastighet til C-stål i løpet av flere års eksponering [3]

2.4 Målsetning

Målsetning med denne rapporten er å estimere tilstand og levetid for blymønje og kromatholdige dupleksbelegg som funksjon av korrosiviteten til det lokale miljøet der bruene står eksponert.

3 Blymønje

3.1 Oversikt over 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 49 av disse med stor sikkerhet fortsatt har blymønje, se Tabell 1. I tillegg ble det funnet at flere innlandsbruer med byggeår fra 1968 til omkring 1977 også har blymønje. Disse er ikke inkludert i tabellen. Tallene tyder imidlertid på at blymønja allerede er fjernet på et stort antall eldre bruer i Trøndelag.

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 de fleste bruene er vedlikeholdt minst én gang. Siden siste vedlikehold er utført før 2000 har vedlikeholdsbelegget hatt en levetid på minst 18 år, og trolig over 30 år på flere av bruene.

Av de 49 bruene i tabellen er det kun 7 som er estimert å stå i mer aggressivt miljø enn korrosjonsklasse 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 3.2 til 3.7 viser er belegget degradert på store arealer på flere av bruene. På disse bruene er det hensiktsmessig med en total rehabilitering av belegget. På Fore bru og Tjeldsundbrua er belegget i bedre tilstand slik at delvis blåserensning og flikking av belegget kan være det økonomisk beste alternativet.

At det er få bruer med blymønje i mer aggressivt miljø skyldes trolig at belegget har blitt degradert til et nivå der totalrehabilitering har vært nødvendig.

Tabell 3. Bruer med blymønje i Trøndelag.

| Bru | Byggeår | Lengde | Korr.klasse | Skadegrad | Siste vedlikehold |
|-------------------|---------|--------|-------------|-----------|-------------------|
| 1 Jøssundbrua | 1939 | 55 | C4 | 3 | |
| 2 Leirelva | 1959 | 35,8 | C3 | 3 | |
| 3 Lernes | 1963 | 7,52 | C3 | 3 | |
| 4 Sandnesbrua | 1951 | 10,5 | C3 | 2 | |
| 5 Børsa | 1953 | 17,3 | C3 | 2 | |
| 6 Ingdal | 1956 | 36,5 | C3 | 2 | |
| 7 Søa Nedre | 1952 | 36,58 | C3 | 2 | 2003 |
| 8 Meeppen | 1930 | 13,28 | C2 | 3 | |
| 9 Røa | 1935 | 16,1 | C2 | 3 | |
| 10 Håggå Bru | 1940 | 8,7 | C2 | 3 | |
| 11 Kvål | 1953 | 147 | C2 | 3 | |
| 12 Brå | 1933 | 53,5 | C2 | 3 | |
| 13 Resa | 1935 | 30,46 | C2 | 3 | |
| 14 Valdum | 1935 | 152 | C2 | 3 | |
| 15 Mælen | 1937 | 16,15 | C2 | 3 | |
| 16 Rena Store | 1939 | 10,2 | C2 | 3 | |
| 17 Lenes | 1939 | 26,55 | C2 | 3 | |
| 18 Stobrua | 1939 | 32 | C2 | 3 | |
| 19 Foss G/S-bru | 1939 | 37 | C2 | 3 | |
| 20 Hov | 1943 | 51,48 | C2 | 3 | |
| 21 Sunde | 1952 | 7,3 | C2 | 3 | |
| 22 Fosshaugbrua | 1956 | 44,5 | C2 | 3 | |
| 23 Alsetbrua | 1958 | 17,7 | C2 | 3 | |
| 24 Kroken | 1958 | 18,2 | C2 | 3 | |
| 25 Tverrå Søndre | 1959 | 9,15 | C2 | 3 | |
| 26 Krokstad | 1960 | 21,73 | C2 | 3 | |
| 27 Flyta | 1961 | 14,85 | C2 | 3 | |
| 28 Ena | 1963 | 18,8 | C2 | 3 | |
| 29 Laugen | 1925 | 16 | C2 | 2 | |
| 30 Holta | 1933 | 25,8 | C2 | 2 | |
| 31 Svorkmo | 1934 | 74,92 | C2 | 3 | |
| 32 Engan | 1938 | 18,03 | C2 | 2 | |
| 33 Forve | 1938 | 191 | C2 | 2 | 2005 |
| 34 Hoston | 1952 | 8,9 | C2 | 2 | |
| 35 Åbrua Flomløp | 1953 | 14 | C2 | 2 | |
| 36 Gilde | 1953 | 62 | C2 | 2 | |
| 37 Tverrå Nordre | 1961 | 5,9 | C2 | 2 | |
| 38 Væla | 1962 | 15,6 | C2 | 2 | |
| 39 Rognes | 1963 | 95 | C2 | 2 | |
| 40 Molvingen | 1935 | 18,2 | C2 | 1 | |
| 41 Lomundal | 1960 | 5,79 | C2 | 1 | |
| 42 Einarsdalsbrua | 1960 | 18,4 | C2 | 1 | 1999 |
| 43 Sjøbakken | 1960 | 27,15 | C2 | 1 | |
| 44 Gjøsvik | 1962 | 37,7 | C2 | 1 | |
| 45 Lødlja | 1962 | 42,4 | C2 | 1 | |
| 46 Avtret | 1968 | 16,9 | C2 | 1 | |
| 47 Usma | 1939 | 16 | C2 | 1 | |
| 48 Meldal | 1952 | 61 | C2 | 1 | 2000 |
| 49 Rotla | 1957 | 41 | C2 | 1 | 2004 |

3.2 Jøssundbrua

Byggeår: 1939

Fri høyde: 3 m

Miljø: Eksponert kyst, trolig C4

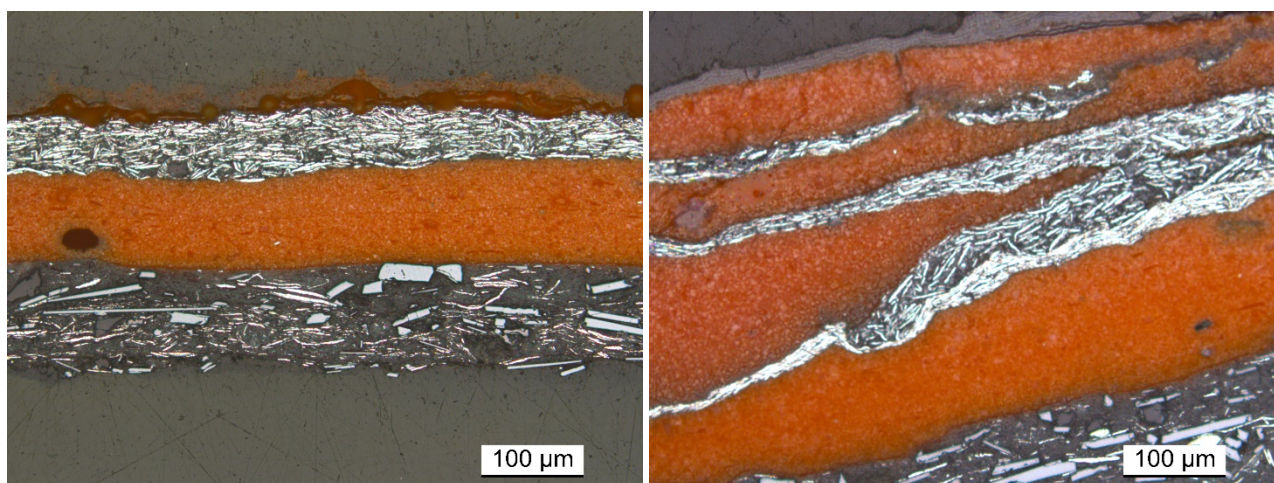
Anslått skadegrad: 3

Siste vedlikehold av overflatebehandling: Brua ble malt i 1974

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 2. 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 3 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 2. Tverrsnitt av løse flak av belegget på Jøssundbrua



Figur 3. Tilstanden til belegget på Jøssundbrua

3.3 Stjørdal jernbanebru

Byggeår: 1902

Fri høyde: 6 m

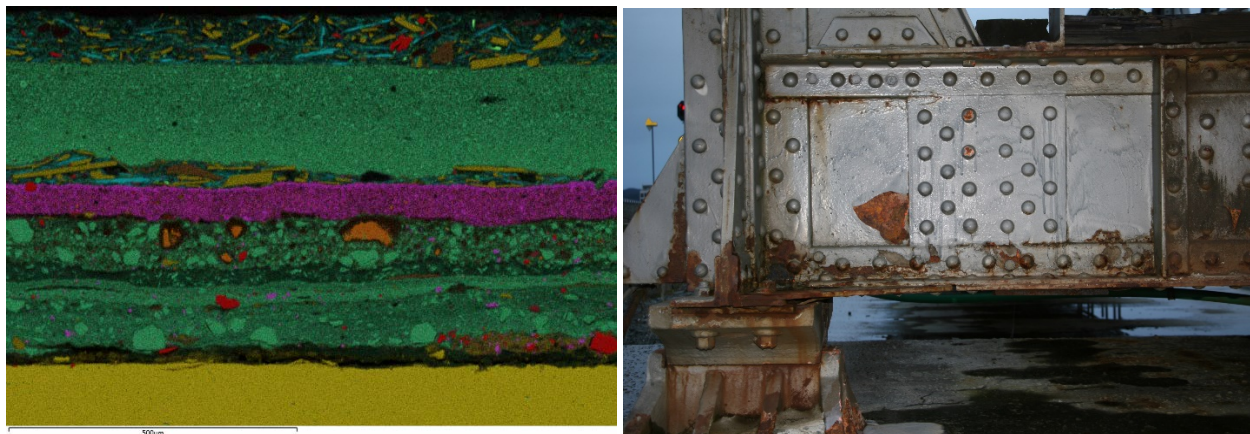
Miljø: Kyst, trolig C3. Brua gikk over ei elv, omkring 100 m fra fjorden.

Anslått skadegrad: 3

Siste 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 4. 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 fem inneholder bly.

Brua fikk en levetid på 114 år. Som bildet til høyre viser var belegget til dels i dårlig forfatning da den 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. Hvis vi antar at fire strøk ble påført da brua var ny, og hvert vedlikehold har bestått av to strøk, betyr det at belegget bare har vært vedlikeholdt to ganger. Levetiden har i så fall i snitt vært 38 år.



Figur 4. Venstre: Tverrsnitt av belegget analysert i SEM. Grønn farge er bly, gul er jern, lilla er titan. Høyre: Tilstanden til belegget

3.4 Kvål

Byggeår: 1953

Fri høyde: 6 m (over elv)

Brutype: Parallellfagverksbru med underliggende brudekke

Miljø: Innland, trolig C2

Anslått skadegrad: 3

Siste 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 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 5. Nedbrytning av belegg på overgurt (over) og undergurt (under) på Kvål bru

3.5 Forve

Byggeår: 1938

Fri høyde: 5 m (over elv)

Miljø: Innland, trolig C2

Anslått skadegrad: 2

Siste vedlikehold av overflatebehandling: 2005

Belegget på Forve ble vedlikeholdt i 2005 så det er i relativt god tilstand. Skader er stort sett begrenset til overflensen mot betongdekket og langs kanter på underflensen på bærebjelken. Dette er trolig et typisk omfang tidlig i nedbrytningsprosessen. Kantene er ekstra utsatt siden belegget normalt vil være tynnere her. De eldre beleggsystemene med alkyd/KK bindemiddel er utsatt for nedbrytning i kontakt med betong som følge av hydrolyse av alkyden i bindemidlet på grunn av lokalt høy pH. På dette stadiet kan belegget fortsatt vedlikeholdes med et begrenset omfang av blåserensning.



Figur 6. Skader i belegget på bærebjelke

3.6 Tjeldsundbrua

Byggeår: 1967

Fri høyde: 45 m

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

Anslått skadegrad: 2

Siste vedlikehold av overflatebehandling: 1985

Tjeldsundbrua ble inspisert i 2015 (SINTEF rapport A27400). Beleggsystemet består av blymønje, overmalt med spesifikasjon 107-110, det vil si at det også er kromatholdig belegg på brua (spesifikasjon 107). Belegget ble vedlikeholdt i 1985, 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.

Bjelkene som betongdekket hviler på viste hvite korrosjonsprodukter, se det øverste bildet i Figur 6, hvilket tyder på at de er belagt med System 1. Det kan også være en sinkrik primer. På resten av fagverket var det brune korrosjonsprodukter.



Figur 7. Nedbrytning av belegg på Tjeldsundbrua. De hvite korrosjonsproduktene på det øverste bildet indikerer at bjelken er beskyttet med System 1.

3.7 Ena

Byggeår: 1963

Fri høyde: 5 m (over elv)

Miljø: C2

Anslått skadegrad: 3

Siste 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 8. Tilstand til belegg på Ena bru i Midtre Gauldal. Øverste bilde er tatt i 2007 og nederste i 2017

4 Kromatholdig maling

De kromatholdige malingene ble også brukt i kombinasjon med blymønje, som vist i Tabell 1, men det vil her kun fokuseres på dupleksbelegg med kromatholdig maling. Som diskutert i seksjon 2.2 er det normalt ikke angitt type beleggsystem på eldre bruer i Brutus, slik at det er en viss usikkerhet om det faktisk er dupleksbelegg på alle bruene som diskuteres her. De er imidlertid bygget etter at dupleksbelegg ble introdusert og det er hvite korrosjonsprodukter på dem.

Tabell 3 viser en oversikt over 21 bruer i Trøndelag bygd mellom 1967 og 1977 som trolig har dupleksbelegg. Bruene er eksponert i korrosjonsklasse 2 – 5, men de fleste er i korrosjonsklasse 2. Sammenlignet med Tabell 2 er belegget på disse bruene i vesentlig bedre tilstand, og bare på to bruer ble det anslått en skadegrad 2. Resten er vurdert til skadegrad 1, det vil si at det ikke er behov for vedlikehold. Det at bruene med blymønje er eldre bidrar også til denne forskjellen, men det vitner likevel om holdbarheten til dupleksbelegg.

Tabell 4 viser en oversikt over stålbruer på over 100 m lengde fra hele landet med byggeår 1967 – 1977. Det er mulig at noen av bruene i korrosjonsklasse C2 har blymønje, siden prosesskoden åpnet for dette, men bruer som åpenbart ikke hadde TSZ er tatt ut av tabellen. Igjen er forskjellen i tilstand mellom disse bruene og bruene med blymønje i Tabell 2 påfallende. Beleggets tilstand er vesentlig bedre.

Tabell 4. Bruer i Trøndelag bygd 1967 - 1977 som trolig har dupleksbelegg

| Bru | Byggeår | Lengde | Korr. klasse | Skadegrad | Siste vedlikehold | Levetid |
|----------------------|---------|--------|--------------|-----------|-------------------|---------|
| 1 Madsøybrua | 1975 | 132 | C5 | 1 | | 43 |
| 2 Verdal | 1972 | 285,7 | C4 | 2 | | 46 |
| 3 Stamnes | 1970 | 211 | C4 | | 2006 | 36 |
| 4 Kvalpsundet | 1974 | 160 | C4 | 2 | | 44 |
| 5 Sundbrua | 1971 | 155,5 | C3 | 1 | | 47 |
| 6 Lokkarbrua | 1977 | 436 | C3 | | 2005 | 28 |
| 7 Eidet | 1971 | 84,21 | C2 | 1 | | 47 |
| 8 Fallet | 1971 | 21 | C2 | 1 | | 47 |
| 9 Hegra | 1972 | 179 | C2 | 1 | | 46 |
| 10 Sandmo | 1973 | 39,5 | C2 | 1 | | 45 |
| 11 Segtnan | 1976 | 16,5 | C2 | 1 | | 42 |
| 12 Gravå | 1967 | 28 | C2 | | 2011 | 34 |
| 13 Stene | 1967 | 69,9 | C2 | 1 | | 51 |
| 14 Elstadelvbrua | 1969 | 20,5 | C2 | | 2010 | 41 |
| 15 Raunos | 1971 | 16,5 | C2 | | 2007 | 36 |
| 16 Reinselelvbrua | 1971 | 24 | C2 | 1 | | 47 |
| 17 Sanddølvbrua | 1973 | 272,9 | C2 | | 2012 | 39 |
| 18 Garberg | 1975 | 36,2 | C2 | 1 | | 43 |
| 19 Verdal N. g/s-bru | 1975 | 17,05 | C2 | 1 | | 43 |
| 20 Bjørndalsbrua | 1976 | 274 | C2 | 1 | | 42 |
| 21 Folstad | 1977 | 155 | C2 | 1 | | 41 |

Tabell 5. Bruer i Norge over 100 m bygd 1967 – 1977 som trolig har dupleksbelegg

| | Byggverksnavn | Byggeår | Lengde | Korr. klasse | Tilstand | Vedlikehold | Levetid |
|----|------------------|---------|--------|--------------|----------|-------------|---------|
| 1 | Madsøybrua | 1975 | 132 | C5 | 1 | | 43 |
| 2 | Stamnes | 1970 | 211 | C4 | 1 | | 48 |
| 3 | Verdal | 1972 | 285,7 | C4 | 2 | | 46 |
| 4 | Kvalpsundet | 1974 | 160 | C4 | 2 | | 44 |
| 5 | Kvalsundbrua | 1977 | 741,3 | C4 | | 2001 | 24 |
| 6 | Naustdal Bru | 1970 | 140,52 | C3 | 1 | | 48 |
| 7 | Revøysund | 1971 | 173 | C3 | 1 | | 47 |
| 8 | Sotrabrua | 1971 | 1 236 | C3 | | 2011 | 40 |
| 9 | Sundbrua | 1971 | 155,5 | C3 | 1 | | 47 |
| 10 | Kjærfjorden | 1972 | 114 | C3 | | 2010 | 38 |
| 11 | Skjomen | 1972 | 711 | C3 | | 2000 | 28 |
| 12 | Tofterøy | 1975 | 274 | C3 | | 2011 | 36 |
| 13 | Kjellingstraumen | 1975 | 622 | C3 | 1 | | 43 |
| 14 | Randøy | 1976 | 275 | C3 | 2 | | 42 |
| 15 | Lokkarbrua | 1977 | 436 | C3 | | 2005 | 28 |
| 16 | Rødsund | 1971 | 208,3 | C2 | 1 | | 47 |
| 17 | Gulsvik | 1971 | 130,8 | C2 | 1 | | 47 |
| 18 | Gievdneguoikka | 1971 | 125,23 | C2 | 1 | | 47 |
| 19 | Rolvøysund | 1972 | 217 | C2 | 1 | | 46 |
| 20 | Gjermundnes | 1972 | 104,7 | C2 | 2 | | 46 |
| 21 | Hegra | 1972 | 179 | C2 | 1 | | 46 |
| 22 | Braskereidfoss | 1973 | 140,13 | C2 | 1 | | 45 |
| 23 | Kirkevold | 1973 | 110,9 | C2 | 1 | | 45 |
| 24 | Sanddølbrua | 1973 | 272,9 | C2 | | 2012 | 39 |
| 25 | Målselv | 1974 | 220,9 | C2 | 1 | | 44 |
| 26 | Svanfossen | 1975 | 102,3 | C2 | 1 | | 43 |
| 27 | Atna bru | 1975 | 254 | C2 | 1 | | 43 |
| 28 | Auglandsdalen | 1975 | 113 | C2 | 1 | | 43 |
| 29 | Skarnes 1 | 1976 | 180 | C2 | 1 | | 42 |
| 30 | Bjørndalsbrua | 1976 | 274 | C2 | 1 | | 42 |
| 31 | Flissundet bru | 1977 | 161 | C2 | 1 | | 41 |
| 32 | Folstad | 1977 | 155 | C2 | 1 | | 41 |

4.1 Rombaksbrua

Byggeår: 1965 (malt 1969)

Fri høyde: 41 m

Miljø: Indre kyst, trolig C2 ved brubanen

Anslått skadegrad: 1

Siste vedlikehold av overflatebehandling: 2011

Levetid og tilstand til belegget på Rombaksbrua er velkjent godt dokumentert i en tidligere publikasjon av Klinge [4]. Figur 9 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 1969 fikk belegget en levetid på 42 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, korrosjonsklasse C2 og kromatholdig maling.



Figur 9. Tilstanden til belegget på Rombaksbrua før vedlikehold i 2011.

4.2 Madsøybrua

Byggeår: 1975

Fri høyde: 6 m

Miljø: Eksponert kyst, trolig C5

Anslått skadegrad: 1

Siste vedlikehold av overflatebehandling: Ikke dokumentert vedlikehold

Figur 10 viser et oversiktsbilde og en detalj på Madsøybrua. Brua anslås å eksponeres i korrosjonsklasse C5. Det er ikke registrert overflatevedlikehold i Brutus. Som bildet viser er belegget omtrent fritt for skader.



Figur 10. Tilstand til belegget på Madsøybrua

4.3 Kvalpsundet

Byggeår: 1974

Fri høyde: 10 m

Miljø: Eksponert kyst, trolig C4

Anslått skadegrad: 2

Siste vedlikehold av overflatebehandling: Ikke dokumentert vedlikehold

Figur 11 viser et oversiktsbilde av kvalpsundet bru og et område på bærebjelken med tegn til hvitrust, samt korrosjon på noen bolter. Korrosiviteten på stedet er anslått til C4 og det er ikke dokumentert vedlikehold i Brutus. På bildet kan det imidlertid se ut til at det er utført flikking på og rundt boltene. Belegget på brua er imidlertid hovedsakelig i god stand.



Figur 11. Korrosjon på bolter, samt små angrep av hvitrust på flatene (2017) på Kvalpsundet bru.

4.4 Gjermundnes

Byggeår: 1972

Fri høyde: 5 m

Miljø: Innland, C2

Anslått skadegrad: 2

Siste vedlikehold av overflatebehandling: Ikke dokumentert vedlikehold

Gjermundnes bru krysser ei elv i Agder og ligger trolig i et C2 miljø. Det er ikke registrert vedlikehold av belegget på brua i Brutus. Inspeksjonsbildene viser ikke korrosjon på brua, men toppstrøket har flasket av på underflensen flere steder. Det gule underliggende strøket vises derfor godt, som vist i bildet under. Den skarpe gulfargen og byggeåret tilsier at strøket er pigmentert med sinkkromat. Det er ikke tegn til hvitrust eller annen korrosjon der toppstrøket er flasket av. Preventivt vedlikehold med vasking, fjerning av løst toppstrøk og påføring av nytt toppstrøk bør vurderes, før sinkbelegget starter å korrodere.



Figur 12. Oversiktsbilde og flassing av toppstrøk på underflens

5 Diskusjon

Som vist i kapittel 3 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 det være hensiktsmessig å gjøre preventivt vedlikehold for å begrense omfanget av blåserensning 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 blåserensning.

Siden malinga flasser av bruene slippes det blyoksid og sinkkromat ut i miljøet fra disse bruene. Det bør derfor vurderes å gjøre tiltak raskt for å stoppe utslippet og unngå eventuelle behov for kostbar opprensning 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 der.

På bruene med TSZ dupleksbelegg er belegget i vesentlig bedre tilstand, sammenlignet med 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 ganske sikkert til å øke levetiden til belegget. Flassing 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 blåserensning.

Siden det er svært vanskelig å finne opplysninger om overflatevedlikehold fra før 2000 er det ikke mulig å si noe sikkert om beleggernes levetid. Ut fra bildene fra bruer med TSZ dupleksbelegg ser det imidlertid ikke ut til at det er utført vesentlig vedlikehold på disse. Hvis vi kan anta at dette er riktig, så har flere av bruene dupleksbelegg med 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.

6 Referanser

1. EU, DIRECTIVE 2004/42/CE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 21 April 2004 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain paints and varnishes and vehicle refinishing products and amending Directive 1999/13/EC. 2004.
2. Knudsen, O.Ø., Korrosivitet på bruer, Rapport nr. 2018:01188, 2018, SINTEF, Trondheim.
3. Zhang, Q.C., et al., Corrosion behavior of weathering steel in marine atmosphere. *Materials Chemistry and Physics*, 2002. 77(2): p. 603–608.
4. Klinge, R., Protection of Norwegian Steel Bridges against Corrosion. *Stahlbau*, 1999. 68(5): p. 382-391.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no