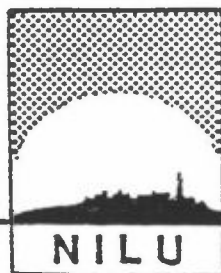


NILU OR : 29/86
REFERANSE: O-7545
DATO : JANUAR 1986

**ATMOSFÆRISK KORROSJONSPRØVING AV UMALTE OG MALTE
SINK- OG ALUMINIUMBELEGG PÅ STÅL.
SAMT UMALTE OG OVERMALTE SINKRIKE MALINGBELEGG PÅ STÅL**

Sluttrapport for 8 1/2 års felteksponering

S. E. Haagenrud, J. F. Henriksen, O. Anda



NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING

Postboks 130 - 2001 Lillestrøm

NILU OR : 29/86
REFERANSE: O-7545
DATO : JANUAR 1986

**ATMOSFÆRISK KORROSJONSPRØVING AV UMALTE OG MALTE
SINK- OG ALUMINIUMBELEGG PÅ STÅL.
SAMT UMALTE OG OVERMALTE SINKRIKE MALINGBELEGG PÅ STÅL**

Sluttrapport for 8 1/2 års felteksponering

S. E. Haagenrud, J. F. Henriksen, O. Anda

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM
NORGE

ISBN 82-7247-697-5

INNHOOLD

	Side
1 INNLEDNING	5
2 BAKGRUNN OG MÅL	6
3 KLASSIFISERING AV NILU'S FELTSTASJONER	9
4 PRØVEPROGRAM OG EVALULERINGSMETODIKK	11
4.1 Beskrivelse av beskyttelsessystemer for utprøving	11
4.2 Tykkelse av metallbelegg	15
5 RESULTATER	19
5.1 Generell fremstilling	19
5.2 Metalliserte belegg	19
5.2.1 Generelt	19
5.2.2 Borregaard	24
5.2.3 Folehavnen/Tananger	24
5.2.4 Tangen	25
5.2.5 Birkenes	25
5.2.6 Bergen - Marineholmen og CMI	25
5.3 Overmalte belegg	25
5.3.1 Borregaard	26
5.3.2 Folehavnen 10 m/Tananger	27
5.3.3 Folehavnen 250 m	27
5.3.4 Tangen	28
5.3.5 Birkenes	29
5.3.6 Marineholmen/CMI i Bergen	29
6 SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	36
6.1 Metalliserte belegg	36
6.2 Malte belegg	37
6.2.1 Alkydmaling	37
6.2.2 KK-maling	38
6.2.3 Vinylmaling	39
6.2.4 Polyuretanmaling	39
6.2.5 Sinkrike silikater	40
6.3 Malte belegg sett i forhold til omgivende miljø	40
7 REFERANSER	41
BILAG 1 Sammenheng korrosjon og miljø	
BILAG 2 Tabeller	

**ATMOSFÆRISK KORROSJONSPRØVING AV UMALTE OG MALTE
SINK- OG ALUMINIUMBELEGG PÅ STÅL,
SAMT UMALTE OG OVERMALTE SINKRIKE MALINGBELEGG PÅ STÅL**

Sluttrapport for 8 1/2 års felteksponering

1 INNLEDNING

Hovedmålet med prosjektet har vært å skaffe et grunnlag for valg av optimale beskyttelsessystemer - teknisk/økonomisk og miljømessig - under ulike atmosfæriske eksponeringsforhold.

Forberedelsene til prosjektet, som har bestått av en feltprøving og en laboratorieprøving, startet våren 1975. Feltprøvingen som sluttrapporteres her startet i desember 1976 og ble avsluttet sommeren 1985 etter 8 1/2 års eksponering. Laboratorieprøvingen som har omfattet utprøving i salttåke og i klimaskap ble sluttrapportert sommeren 1985 (Haagenrud et al., 1985).

Prosjektkostnadene på kr 2.073.255,- er fordelt med kr 1.016.946,- (48%) på NILU, kr 831.309,- (41%) på prosjektdeltakerne og kr 225.000,- (11%) på NTNF. Utover dette kommer teknisk assistanse fra andre deltakere. Antall betalende deltakere i prosjektet har avtatt noe, fra 16 ved starten til 10 i 1985. Styringsgruppen for prosjektet har bestått av T. Jore, NORZINK; O. Vonen, JOTUN-gruppen og R. Klinge, Vegdirektoratet. Vi takker gruppen for aktivt samarbeid og støtte under prosjektets gang.

Det er i prosjektperioden avholdt 6 prosjektmøter med alle deltakerne, 12 møter i styringskomitéen, og det er skrevet 4 fremdriftsrapporter, 2 sluttrapporter og publisert 4 vitenskapelige artikler (se lit.liste).

Den foreliggende rapport omhandler bakgrunn og mål for prosjektet, og sluttresultatene etter 8 1/2 års felteksponering. Fremdeles vil noen av de beste systemene stå eksponert på stasjonene i ubestemt tid fremover. (Etter ønske fra NORZINK, Vegdirektoratet og Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen (NVE).) I bilag er tatt med statusrapport om dagens situasjon vedrørende

standardisert klassifisering av korrosjonsmiljø og standardisert utprøvningsmetodikk.

Prøveprogram og evalueringsmetodikk er utførlig beskrevet tidligere (Haagenrud et al., 1981). Av hensyn til helheten i sluttrapporten har vi funnet det hensiktsmessig å gjenta de viktigste beskrivelsene og momentene også i denne rapporten.

2 BAKGRUNN OG MÅL

Bakgrunn

Å forutbestemme levetiden for et malingbelegg har betydning for mest hensiktsmessige (kost/nytte) valg, bruk og vedlikehold av beleggssystemer. For malingindustrien er det et problem, at man på grunn av ufullstendige metoder ikke er i stand til å forutsi malingers levetid med noen særlig sikkerhet (McKnight, 1985).

Feltprøving og akselerert prøving har vært de benyttede metoder for å forutsi levetid. Begge metoder er beheftet med klare problemer. Feltprøvingene for det første fordi de tar svært lang tid. For høykvalitets belegg som kan forventes å vare 10-20 år er det ganske enkelt ikke praktisk å vente på de reelle levetidsdata. Et annet problem ved feltprøving er at miljøet på feltstasjonene både har vært svært dårlig definert og klassifisert i forhold til eksisterende miljø ved de vanlige bruksbetingelser for beleggene. Dette bruksmiljøet har heller ikke vært godt definert. Det betyr da at man i mange tilfeller vanskelig kan relatere feltprøvingen til eksisterende bruksbetingelser.

For de akselererte testene er det i hovedsak to hovedproblemer. For det første at man ikke i særlig grad har visst hvordan resultater fra en akselerert test skal tolkes og brukes, og for det andre er det problemer forbundet med bruken av de viktigste elementer ved oppbyggingen av en akselerert test (Haagenrud et al., 1985 og Martin, 1984) For det første problemområdet er det viktig å legge merke til at testene kan klassifiseres i tre grupper (ISO-TC 156/WG7 N178E). Disse er:

- a) Tester som brukes til å forutsi materialenes levetid.
- b) Korttidsprøver hvor nedbrytingsmotstanden for produkter i testen sammenlignes med nedbrytingsmotstanden fra felteksponering.
- c) Raske kvalitetskontrollprøver hvor akselerasjonen er meget stor.

Type c) og til en viss grad type b), er de mest brukte for vanlig konstruksjonsmaterialer (herunder maling), mens type a) er velutviklet for funksjonstesting av komponenter innen høyteknologiske industrier (kjernekraft, fly, elektronikk). Også innen bygningsindustrien er det ønske om å få tester av type a), med levetidsforutsigelse. De testene en har i dag innen denne industrien brukes ofte med hell til å skille gode og dårlige produkter og som en form for kvalitetskontroll, men de fleste forsøk på å kunne forutsi levetider i praksis er mislykket på grunn av utilfredsstillende metodikk (Johansson, 1985). Resultatet av ikke oppfylte forventninger er at akselererte tester har et dårlig rykte innen bygningsindustrien.

Det andre problemet er knyttet til de tre elementene i en akselerert test (AT), nemlig

- utforming av prøveprogram (basert på kunnskap om nedbrytningsmekanismene)
- evaluering av nedbrytingen (parametervalg)
- analyse av resultatene

I de AT som til nå er benyttet for prøving av vanlige konstruksjonsmaterialer har hovedvekten ligget på utforming av prøveprogram, mens evalueringen av nedbrytingen ofte har vært for lite kvantifiserbar og for mye basert på en subjektiv vurdering. Den videre analysen av resultatene har gjerne begrenset seg til sammenligning av skader og anslåtte akselerasjonsfaktorer.

Utforming av en god akselerert test krever kjennskap til materialets fysikalske/kjemiske karakteristikk som funksjon av miljøet (dose-effekt sammenheng), samt den miljøpåkjenning materialet utsettes for i praksis. Kunnskapsnivået på disse områder er fremdeles lite tilfredsstillende. Som en følge av dette er den mest kjente av de akselererte testene blitt salttåke-testen, som etter hvert har blitt en hovedmetode for kvalitetskontroll. Den har også blitt benyttet til å forutsi levetider i praksis. Fordi den ikke

har vært i samsvar med det naturlige eksponeringsmiljø har dette sjelden vært vellykket. Dette har derfor brakt både salttåketesten og akselerert testing i vanry. I den senere tid har utviklingen gått mer i retning av å utforme prøveprogram som simulerer, mer enn akselererer de reelle eksponeringsforhold.

På grunn av manglende miljøkunnskap og følgelig dårlig definerte prøvemethoder, finnes det selv i dag mangelfull kunnskapsbase når det gjelder å velge riktig malingbeskyttelse under ulike eksponeringsforhold. Fordi NILU mente å sitte inne med kompetanse og verktøy som kunne løse en del av disse problemer og skaffe en bedre kunnskapsbase for riktig valg av beskyttelsessystem, tok vi initiativ til prosjektet.

Mål

Det ble utformet to hovedmål for prosjektet. For det første å skaffe et grunnlag for valg av optimale beskyttelsessystemer - teknisk/økonomisk og miljømessig - under ulike atmosfæriske eksponeringsforhold. Til dette skulle det benyttes feltprøving på NILUs feltprøvestasjoner i definerte atmosfæretyper.

For det andre ønsket en å fremskaffe relevante korttidsprøvemethoder og -data. En foretok derfor utprøving i klimaskap med prøveprogrammer basert på NILUs kunnskap om korrosjonsmiljø (Haagenrud et al., 1985). Disse testene vil være av type b) nevnt ovenfor, hvor man sammenligner feltdataene med de akselererte prøvingene og bestemmer akselerasjonsfaktor.

Under initieringsfasen av prosjektet var sur-nedbør-problematikken kommet i fokus, og det var rapportert alarmerende korrosjonshastigheter av sink på korttidsbasis på Sørlandet (Haagenrud, 1975). Et delmål i prosjektet var derfor også å undersøke bestandigheten av sink og aluminiumbelegg i områder med mye sur nedbør.

3 KLASSIFISERING AV NILU'S FELTSTASJONER

Feltstasjonene med tilhørende miljømålinger er tidligere detaljert beskrevet i fremdriftsrapport nr 4 (Haagenrud et al., 1981). Her vil vi derfor kun gi en klassifisering av stasjonene i forhold til forslaget til internasjonal standard for klassifisering av korrosjonsmiljø (ISO/TC 156/WG64), slik det er beskrevet i bilag 1. Dessuten angis målte ett års verdier på korrosjon på stasjonene.

Tabell 1: Klassifisering av NILUs feltstasjoner benyttet i prosjektet etter forslag til internasjonal standard for klassifisering av korrosjonsmiljøer (bilag 1).

Stasjonsnummer	Stasjonsnavn	Miljøbeskrivelse	Korrosjonskategori ¹⁾ ($\tau - P - S$) → kategori (korr.hast. g/m ² /år)	Målt 1 års korrosjonsmiddel (stål) g/m ²
I	Borregaard (Sarpsborg)	Sterkt sur, SO ₂ -forurenset industriatmosfære.	$\tau_4 - P_5 - S_1$ → 5 (650) ¹⁾	650-975
II	Folehavnen 10 m (Sandefjord) Nedlagt 1982	Marin atmosfære med bølgesprøyt.	$\tau_4 - P_5 - S_3$ → 5 (650) ²⁾	700
III	Folehavnen 250 m (Sandefjord) Redusert 1982 Nedlagt 1985	Marin atmosfære.	$\tau_4 - P_3 - S_1$ → 3 (200-400)	400
II ²⁾	Tananger 10 m (Sola etab. 1985)	Marin atmosfære med bølgesprøyt.	$\tau_4 - P_5 - S_3$ → 5 (650) ³⁾	500-910
IV	Tangen (Brevik)	Sterkt alkalisk forurenset industriatmosfære. (Cementindustri)	$\tau_4 - P_3 - S_1$ → 3 (200-400)	120-210
V	Birkenes (30 km nord for Kristiansand)	Landatmosfære med store mengder sur nedbør.	$\tau_4 - P_3 - (S-S_1)$ → 3 (200-400) ¹⁾	180
VI	Marineholmen (Bergen) Flyttet til CMI 1984	By, industri og marin atmosfære.	$\tau_4 - P_3 - (S-S_1)$ → 3 (200-400) ¹⁾	260-635

¹⁾ τ = våttid (antall timer hvor RH > 80 og T > 0)
P = svoveldioksidklasse (belastning eller konsentrasjon)

S = kloridklasse (belastning eller konsentrasjon)

²⁾ Prøvene fra Folehavnen 10 m ble flyttet til Tananger i 1982.

Det er skjedd enkelte forandringer med stasjonsnettets etter forrige fremdriftsrapport i 1981. På grunn av militær aktivitet måtte stasjonene på Folehavnen nesten nedlegges. Folehavnen 10 måtte fullstendig fjernes, mens Folehavnen 250 kunne gå med et sterkt redusert program (dvs ett stativ). Stasjonene ble imidlertid fjernet helt høsten 1984. Splash-stasjonen Folehavnen 10 ble gjenoppbygget på Shell raffineriet i Tananger ved Sola. Den nye stasjonen synes jevnt over å ha en noe lavere korrosivitet.

På grunn av dårlig stasjonshold fra Veritas' side hadde stasjonen Marineholmen i lengre tid vært utilfredsstillende. Blant annet hadde 87 av 348 plater forsvunnet (styringskomitémøte nummer 11). Stasjonen med den resterende del av platene ble i september 1984 derfor flyttet til Bergen Ingeniørhøyskole, som har tilnærmet samme korrosjonsmiljø (Haagenrud et al., 1986).

De målte 1-års korrosjonshastighetene er angitt som variasjonsområde. 1-års korrosjonen vil selvfølgelig variere fra år til år avhengig av miljøvariable, og dessuten noe som følge av at variasjonen i stålsammensetningen. Spesielt kobberinnholdet har betydning i denne sammenheng, og det har variert noe for prøvematerialene eksponert opp gjennom årene (Haagenrud et al., 1983, 1984, 1986)

NILU har tilpasset et dataprogram (FICS) som gir oss mulighet til å ha oversikt over prøvemassen på alle korrosjonsstasjonene. Programmet er bygget opp på de tre nivåene - stasjon, stativ og individuell plate. Nummereringen av stasjonene i tabell 1 refererer til den interne nummereringen i FICS-systemet.

4 PRØVEPROGRAM OG EVALUERINGSMETODIKK

4.1 BESKRIVELSE AV BESKYTTELSESSYSTEMER FOR UTPRØVNING

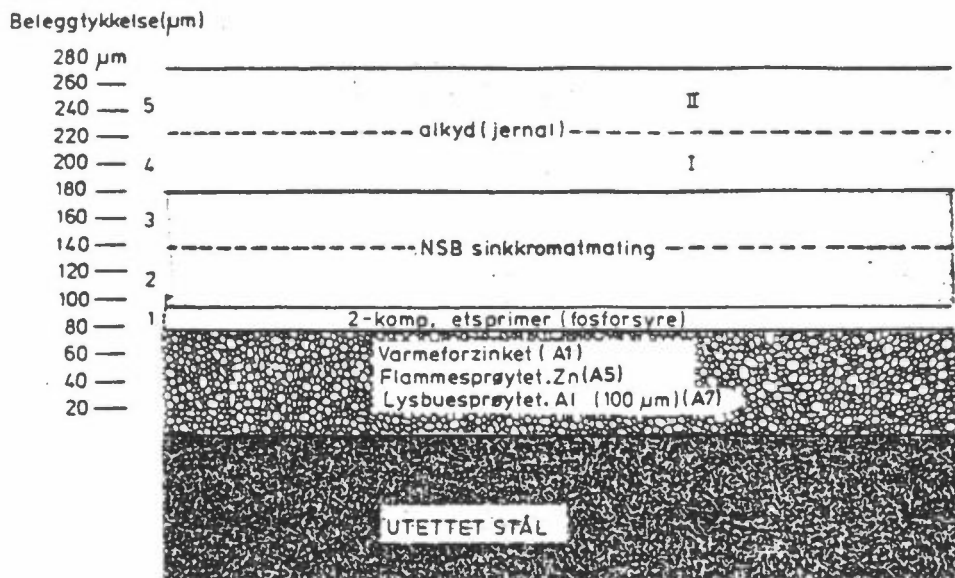
De ulike beskyttelsessystemene som utprøves er inndelt i fem serier, som til sammen omfatter 58 systemer. Dog har en skilt ut det siste system og kalt dette F-58. Dette er gjort fordi den manglende underlagsbehandling for dette system er et unntak, tabell 2. Detaljert oppbygging av de ulike systemer/serier er vist i tabeller og figurer i Fremdriftsrapport nummer 4. Figurene er gjentatt her (fig. 15-22).

Tabell 2: Beskyttelsessystemer for utprøvning på 6 feltstasjoner.

Serie	
A	Varmforsinket og flammesprøytet sink, lysbuesprøytet, flammesprøytet aluminium og varmaluminisert belegg (system A1-A9).
B	Varmforsinket og flammesprøytet sink og lysbuesprøytet aluminium, belagt henholdsvis med alkyd, klorkautsjuk (KK) (1 og 3 strøk), epoxy*, vinyl (1 og 3 strøk), og polyuretan (system B10-B-30).
C	Sinkrike primere av typen uorganisk Zn-etylsilikat og uorganisk vannbasert Zn-alkaliesilikat (Na-Li) (system C31-C32).
D	Overmaling av de sinkrike primere i serie C med de samme overmalingsystemer som i serie B, dvs alkyd KK, epoxy, etc (system D33-D46).
E	Referansesystemer på bart stål, herunder organisk sinkrik epoxy shopprimer med overmalingsystemene i serie B (system E47-E53), samt etsprimer (basisk sinkkromat-vinyl-bytyral) overmalt med henholdsvis alkyd, KK, epoxy* og vinyl (system E54-E57), og linoljebasert blymønje på forrustet prøve (system F58).

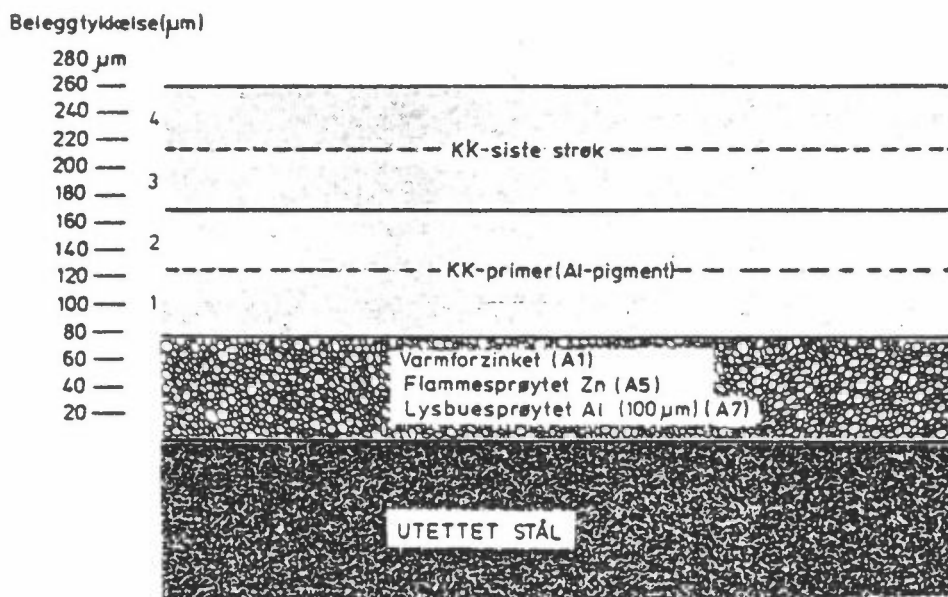
* Epoxy-prøvene måtte senere forkastes da malingen viste seg i være feilformulert.

Prøvingen på de 6 hovedstasjonene startet medio desember 1976, mens ett varmforsinket belegg (A1) og de sinkrike malingene (C31, C32) er eksponerte på høyfjellsstasjonen på Finse siden oktober 1977. Resultatene av dette vil ikke bli rapportert her.



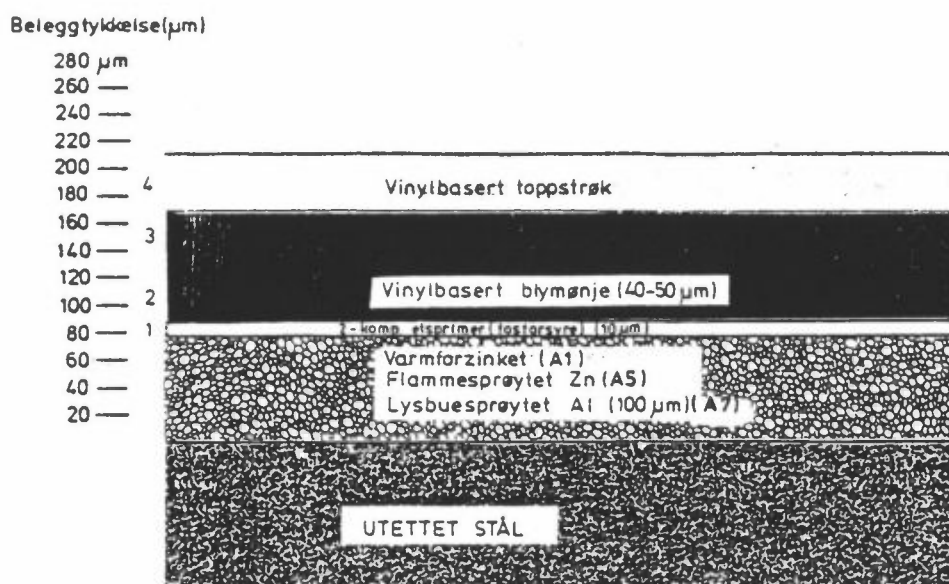
SYSTEM: Bart stål + (metallisert) + alkyd
B 10, B 17, B 24, E 54,

Figur 15: System: Bart stål + (metallisert) + alkyd
B10, B17, B24, E54.



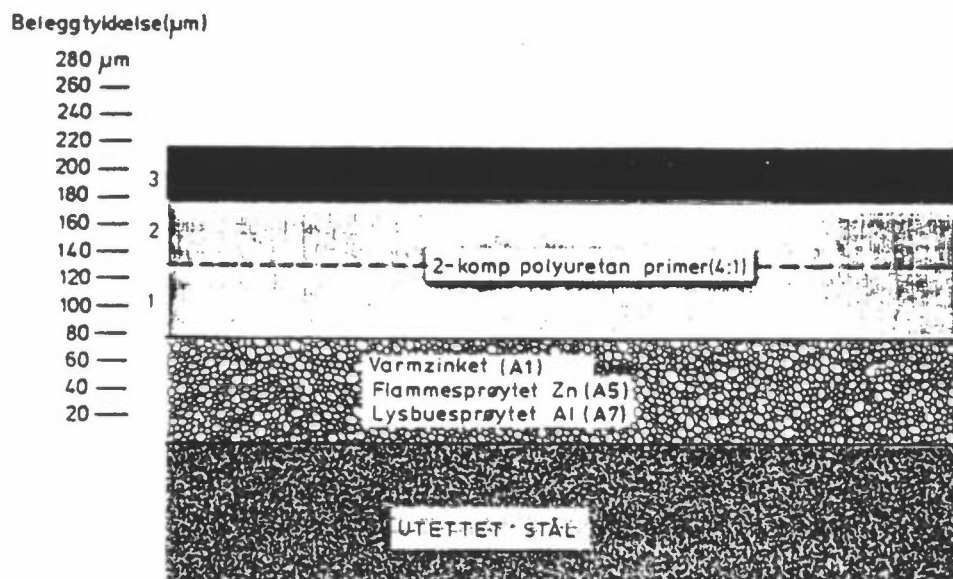
1 strøk KK (B11, B18, B 25,) består av
sistestrøk maling (40-50 μm)

Figur 16: System: Bart stål + (metallisert) + klor kautsjuk
B12, B19, B26.



Alternativ. B14, B21, B28, med ett strøk vinyl
innebærer toppstrøk 40-50 μm

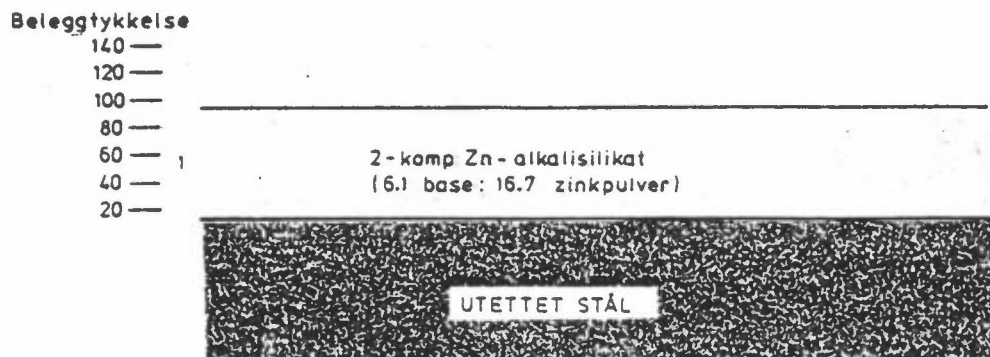
Figur 17: System: Bart stål + (metallisert) + vinyl
B15, B22, B29, E57.



Figur 18: System: Metallisert + Polyuretan
B16, B23, B30.



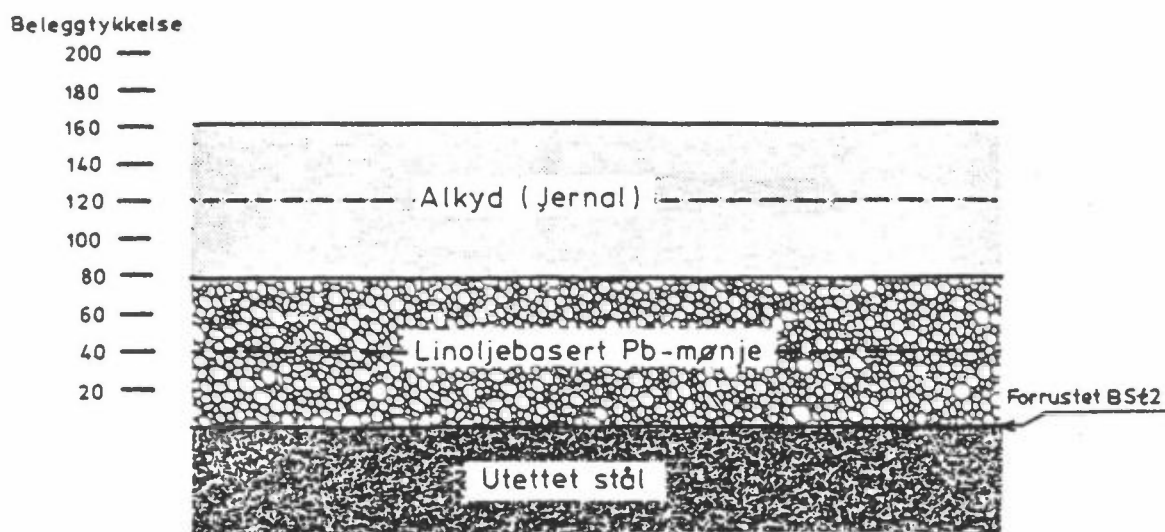
Figur 19: System: Zn - etylsilikat C31 + overmalingsystemer som for metalliserte belegg D33-D39.



Figur 20: System: Zn - alkaliesilikat C32 + overmalingsystemer som for metalliserte belegg D40-D46.



Figur 21: System: Zn - rik epoxy shopprimer + overmalingsystemene fra metalliserte belegg.



Figur 22: System: Linoljebasert Pb-mønje basert på forrustede prøver, F58.

Innenfor de fem valgte serier finnes det et nærmest uendelig antall variable som det kunne være av interesse å undersøke, som f.eks. forbehandling, påføringsbetingelser, beleggtykkelse etc. Den tilgjengelige økonomiske ramme nødvendiggjorde imidlertid en sterk prioritering. Ulike beleggtykkelser har en til en viss grad inkludert i undersøkelsen, jfr. 1 og 3 strøk, KK, vinyl.

Det var videre nødvendig å prioritere utprøving av "rene" malingsystemer, bl.a. for å skaffe en basis for videre undersøkelser. Det benyttes i praksis en rekke kombinerte systemer, men en mente at de enkelte systemers egenskaper også lå til grunn for de kombinerte systemer. Ved preparering av systemene er den enkelte leverandørs spesifikasjoner fulgt (Haagenrud, 1977).

4.2 TYKKELSE AV METALLBELEGG

Ved å studere tabellene 4 og 5 vil en raskt finne ut at en ikke har hatt det utbytte av tykkelsesmålingene som en opprinnelig hadde tenkt seg. Intensjonen var å følge tykkelsesreduksjonen fra evaluering til evaluering ved direkte å måle beleggenes reduksjon som funksjon av eksponeringstiden.

Det dårlige utbyttet skyldtes at selve beleggningsmetodene gav for ujevne belegg og dessuten at en ikke hadde foretatt tykkelsesbestemmelser for hver enkelt plate ved start. Etter 3 1/2 års eksponering ble det foretatt en tykkelsesbestemmelse ved kjemisk oppløsning av 25 cm² av belegget i inhibert saltsyre. Se forøvrig mer om dette under punkt 5.2.

MALINGPRØVER OG ANALYSER

På grunnlag av spesifikasjoner fra produsentene som deltar i prosjektet valgte NILU og NSFI (nåværende MARINTEK) ut det malingprodukt som skulle benyttes for det enkelte system. Malingprøver ble så innsendt for påføring. Produktnavnene er kun kjent av MARINTEK og NILU, og publiseres ikke.

Av de innsendte malingprøvene ble det tatt ut prøver for analyse ved NSBs laboratorium. NSBs rapport over analysene av malingene er gjengitt i Fremdriftsrapport nummer 4 (Haagenrud et al., 1981). Hovedkonklusjonen i denne var at malingene fulgte spesifikasjonene, men med et viktig unntak. Primeren i epoxy-systemet var feil merket. Herderen oppgås å være base, mens basen oppgås å være herder. Som det vil framgå av foregående rapport viser de fleste epoxy-systemene dårlige resultater ved eksponeringen, og årsaken kan meget vel ligge i denne feilblandingen av malingen. På grunn av denne feilen og usikkerheter ved epoxy-systemene, har vi valgt å se bort fra disse ved evalueringen nå.

SKADER I BELEGGET

I praksis oppstår nesten alltid skader i belegget, og de er ofte den begrensende faktor for levetiden. Man valgte derfor å introdusere skader i beleggene. Dette vil redusere den nødvendige prøvetiden, som ellers for de fleste systemene ville ha blitt svært lang.

Ved prøvetillagingen ble det laget et 1 mm bredt spor med en spesiallaget sporfrememaskin ved MARINTEK. Ved inspeksjonen etter 1/2 års eksponering viste det seg at risset ikke hadde nådd ned til bart stål på de metalliserte beleggene (serie A og serie B). I oktober 1977 ble derfor annen hver plate

på hver stasjon påført et riss på forsiden med en elektrisk slipemaskin med stålforsterket slipeskive. Dette risset er bredere enn 1 mm og går helt inn til bart stål.

EVALUERINGSMETODIKK

Ved hver evaluering ble platene først inspisert i felt, hvoretter to plater av hvert system ble tatt inn for evaluering i laboratoriet.

Opprinnelig hadde en tenkt å anvende internasjonale fotostandarder for rustgrad og bløring. Ved de første evalueringene måtte en delvis revidere dette, da de oppståtte skader ikke var særlig sammenlignbare med skadene på fotostandardene. Skadene var for ujevnt fordelt, og stort sett lokalisert i eller umiddelbart nært det mekanisk introduserte risset. Skadene var for det meste ulike former for heftsvikt som svelling, bløredannelse og avflaking. En egen skadegradsskala for malingen ble utformet (Haagenrud og Anda, 1978).

Foruten skadegradsskalaen benyttes evalueringsstandarder for både metall- og malingbelegg. For vurdering av korrosjonspunkter (gjennomtæringer) i metallbelegget har en benyttet NS 1191, og for vurdering av malingblørers størrelse og hyppighet ASTM D 714. Videre har en vurdert tilstanden ved riss og i området upåvirket av riss hver for seg. Evalueringsmetodikken i detalj er beskrevet i Fremdriftsrapport nummer 4.

Resultatet av evalueringen sammenfattes i det såkalte skadegradstallet (tabell 3) som gir en vurdering av metallbelegget eller malingbelegget. At et malingbelegg får et høyt skadegradstall, behøver derfor ikke bety at det totale systemet er defekt. For eksempel vil ved avflaking av overmaling på forsinket stål, malingbelegget få høyt skadegradstall. Den underliggende sinken vil imidlertid beskytte stålet i lang tid fremover.

Tabell 3: Inndeling av skadegrad.

Beskrivelse av skadegrad	Metallbelegg		Malingbelegg Skadegrad (figur 1)
	Skadegrad	(Motsvarende klassifiserings- tall NS 1191)	
Få eller ingen svakheter Synlige, men ubetydelige svakhetstegn	0	(10,9)	0
Tydelige svakhetstegn	1	(8,7)	1
Alvorlige svakhetstegn	2	(6,5)	2
Mer eller mindre defekt	3	(4,3)	3
	4	(2,1,0)	4

Den mest usikre delen av vurderingen ligger mellom skadegrad 1 og 2, da man her skal avgjøre hvorvidt skaden er ubetydelig eller ikke. De mellomliggende tallene vil i noen tilfeller kunne betraktes som reelle nok, men i andre tilfeller representerer de like mye en usikkerhet om hvorvidt tallet egentlig burde være 0.5 grader lavere eller høyere.

Feltevalueringene etter 5 1/2 år, 7 1/2 år og 8 1/2 års eksponering har vist at usikkerheter i skadegradstallet i de fleste tilfeller ligger rundt ± 0.5 .

Rust i riss er vurdert som egen parameter.

Det er foretatt en utstrakt fotografering av platene helt fra prosjektet startet. Fotografiene er samlet i et album. En har etter 8 1/2 års eksponering slides av alle beleggtypen satt opp på samme måte som figur 4 til 14 viser, se side 31 til 35.

5 RESULTATER

5.1 GENERELL FREMSTILLING

Presentasjonen av resultatene etter 8 1/2 år er nokså lik den som er vist etter 3 1/2 år i fremdriftsrapport nummer 4. Den omfatter to tabeller (tabell 4 og 5) for beleggtykkelsen på metalliserte prøver, en tabell 6 som er en sammenfatning av skadegradstall for alle systemer på alle stasjoner. Dessuten viser figurene 2 og 3 henholdsvis oversiktsbilder over samtlige malingbelagte system på Borregaard og på Tananger 10 m fra sjø etter 8 1/2 års eksponering. Figur 4-14 viser nærbilde av henholdsvis systemene A9, B12, B23, B24, B29, C31, C32, D48, E51, E53 og E54 på samtlige stasjoner

I tabell 6 er også evalueringene etter 3 1/2 år tatt med.

Analysene av epoxy-systemet viste at denne maling var feil formulert. En har derfor ikke evaluert de ulike epoxy-systemene etter 8 1/2 års eksponering.

5.2 METALLISERTE BELEGG

5.2.1 Generelt

Resultater av beleggtykkelsesmålinger er vist i tabell 5. De inkluderer også målinger (kjem. oppl.) etter 3 1/2 års eksponering (fra Fremdriftsrapport nummer 4, tabell 4). De magnetiske målingene etter 8 1/2 år er utført på NILU. I tabell 4 ser en de opprinnelige tykkelsesmål av de enkelte metalliserte belegg, dels spesifisert, og dels målt med magnetisk metode hos de enkelte prøveprodusenter (Haagenrud, 1977) Grunnlagsdata er vist i bilag 2.

Fordi de opprinnelige beleggtykkelsene ikke er bestemt på hver plate for seg og fordi selve beleggingen er ujevn, er tolkningen av resultatene vanskelig og usikker. Ved å foreta en rekke målinger over hele plateoverflaten med magnetisk metode, har en funnet at tykkelsen er i stor grad en funksjon av dyppemåten ved metallbelgningen. En fant således tydelig et fortykket felt som gikk fra festepunktet (anvendt under dyppingen) diagonalt over platen til hjørnet. Disse tykkelsesforskjeller på samme overflate oversteg langt

Tabell 4: Tykkelse av metalliserte belegg på ueksponert stål målt ved magnetisk metode og ved kjemisk oppløsning av 25 cm² av belegget (Haagenrud et al., 1981).

SYSTEM: Bart stål + metalliserte belegg

Serie-system	Produsent	System type	Spesifikasjon	Beleggtykkelse	
				Elcometer	Kjemisk oppløsning
Serie A	Elkem	METALLISERTE BELEGG			
A1	"	v/Zn utettet stål 460 ⁰ C	80-120 µm		56
A2	"	v/Zn utettet stål 560 ⁰ C	80-120 "		93
A3	"	v/Zn tettstet stål 460 ⁰ C	180-220 "		192
A4	"	v/Zn tettstet stål 560 ⁰ C	80-120 "		102
A5	SINTEF	Flammesprøytet Zn utettet stål		120 µm ± 20%	137
A6	"	Flammesprøytet Zn utettet stål		230 µm ± 20%	264
A7	"	Lysbuesprøytet Al		170 µm ± 20%	128
A8	"	Flammesprøytet Al		160 µm ± 20%	164
A9	"	Varmaluminisert Al	25 µm		36
Serie B	Metalliseringsverket	Flammesprøytet Zn		140 µm ± 30%	
		Flammesprøytet Al		120 µm ± 30%	

Kommentarer: Av SINTEFs prøver oppgis 99% å ligge innenfor de omgitte grenser, mens 85% av Metalliseringsverkets grenser ligger innenfor de angitte grenser.

Tabell 5: Tykkelse av metalliserte belegg målt etter 3 1/2 og 8 1/2 år med henholdsvis kjemisk (Christiania Spigerverk) og magnetisk metode (NILU).

System nr.	BO		FO-10/TAN		FO-250		TA		BI		MA	
	3 1/2 år kjem.	8 1/2 år magn.	3 1/2 år kjem.	8 1/2 år magn.	3 1/2 år kjem.	8 1/2 år magn.	3 1/2 år kjem.	8 1/2 år magn.	3 1/2 år kjem.	8 1/2 år magn.	3 1/2 år kjem.	8 1/2 år magn.
A1	51	51	59	>	54	>	63	>	65	60	58	57
A2	77	>	95	95	89	>	98	98	88	>	86	>
A3	176	176	186	186	186	186	192	186	178	>	185	185
A4	90	81	90	87	91	91	91	91	80	80	85	85
A5	116	116	132	>	145	>	121	>	143	143	109	-
A6	223	>	218	>>	220	>	219	>>	232	>>	244	>
Σ A1-A6	733		780		785		784		788		767	
A7	132	>>	86	>>	110	>>	118	>>	161	>>	133	-
A8	177	>	193	>>	219	219	189	>>	233	200	194	-
A9	34	29	32	32	35	26	35	28	35	26	35	-
Σ A8-A9	343		311		335		372		429		362	

- betyr manglende plater, > betyr større enn foregående måling (3 1/2 år), >> betyr mye større enn foregående måling.

det en kunne forvente i tykkelsesreduksjon på grunn av korrosjon. Også de sprøytete belegg hadde altfor ujevne belegg for denne undersøkelse. Her var også det magnetiske måleutstyret mindre velegnet på grunn av beleggets grovstrukturerte overflate.

Etter 3 1/2 års eksponering var konklusjonen at alle de metalliserte belegg med unntak av varmaluminisert aluminiumbelegg (A9) var i god tilstand, men at det var stor forskjell i det estetiske utseende. Dessuten syntes sinkbeleggene å korrodere mer i surt enn i marint miljø, mens det for aluminiumbeleggene var omvendt. For rust i riss var det en klar tendens til at sinkbeleggene har mindre rust i riss enn aluminiumbeleggene, mens det på de nedbørrike stasjonene Birkenes og Marineholmen var rust i riss på alle de metalliserte belegg med unntak av det tykke varmforsinkede belegg (A3).

Målingene denne gang har foregått i seks tilfeldige punkter langs en diagonal på plateoverflatene, med middeltall som anvendt verdi. Men av grunner som er nevnt ovenfor vil verdien være lite representativ for hele platen. Dette fører til, som en også ser av tabellene (tabell 5 og tabellen i bilag 2) at verdiene kan bli både over og under utgangsverdiene som igjen er minst like lite representative. I tillegg vil oksidasjonsprodukter og smuss gi en viss uønsket tykkelsesøkning.

For øvrig har en gjort omfattende målinger av beleggtykkelsen i nedre kant. Dette er også vist i bilag 2. Som en ser av denne tabellen er det nesten over det hele vesentlig tykkelsesreduksjon i forhold til midt på platen. Dette kan skyldes ujevn påføring på kantene, men i enkelte tilfeller skyldes det klart økt korrosjon i nedre kant på grunn av opphopning av forurensninger og lenger våttid.

Skadevurderingen har vært vanskelig for A9-systemet på grunn av oksid og skitt på overflaten. Tabell 6 visere høyere skadegrad etter 3 1/2 år enn etter 8 1/2 for noen stasjoner. Dette skyldes en overvurdering av skadesignalene i startfasen. Svært lite synes å ha skjedd med A9 de siste årene.

Tabell 6: Skadegradstall for alle systemene etter henholdsvis 3 1/2 og 8 1/2 års eksponering på 6 feltstasjoner.

System	Miljø	Sur industri Borregaard		Marin skvett FO-10 m + Tananger		Marin FO-250 m		Alkalisk industri Tangen		Sur nedbør Birkenes		By/marin Marineholmen + CMI	
		3 1/2	8 1/2	3 1/2	8 1/2	3 1/2	8 1/2	3 1/2	8 1/2	3 1/2	8 1/2	3 1/2	8 1/2
SERIE A METALLISERTE BELEGG													
A1	vZn utettet stål 460°C (80-120 µm)	0	2-2.5	0	1.5	0	1.5	0	0.5	0	0.5	0	1
A2	vZn utettet stål 560°C (80-120 µm)	0	2-2.5	0	1.5	0	1	0	0.5	0	0.5	0	1
A3	vZn tett stål 460°C (180-220 µm)	0	1	0	1.5	0	1	0	0.5	0	0.5	0	0.5-1
A4	vZn tett stål 560°C (80-120 µm)	0	2	0	1.5	0	1	0	0	0	0-0.5	0	0.5
A5	Flammesprøytet Zn utettet stål (120 µm ± 20%)	0	0.5	0	1	0	0.5	0	0	0	0-0.5	0	-
A6	Flammesprøytet Zn utettet stål (230 µm ± 20%)	0	0.5	0	1	0	0.5	0	0	0	0-0.5	0	0-0.5
A7	Lysbuesprøytet Al (170 µm ± 20%)	0	0.5	0	0.5	0	0-0.5	0	0-0.5	0	0-0.5	0	-
A8	Flammesprøytet Al (160 µm ± 20%)	0	0.5	0	0.5	0	0-0.5	0	0-0.5	0	0-0.5	0	-
A9	Varmaluminisert Al (25 µm)	(2-2.5)	1.5	(1)	1	(1)	1-1.5	(0.5)	0.5	(1)	0.5	(1.5)	
SERIE B METALLISERTE OG OVERMALTE BELEGG ¹⁾													
B10	vZn utettet stål 460°C + alkyd (NSB)	0	1-1.5	2	2-2.5	1.5	1.5	0	0	0	0.5-1	0	0.5-1
B11	vZn utettet stål + 1 strøk KK	3	2.5-3	3-4	4	3-4	3.5-4	1.5	2.5	3	2.5	2-3.5	2.5-3
B12	vZn utettet stål + KK	2	1.5-2	2	2	2	1.5-2	0	0-0.5	1	1.5	1.5	1.5
B14	vZn utettet stål + 1 strøk vinyl (ikke Al-pigment)	2-2.5	1.5-2	4	4	2.5	4	0	1.5	1.5-2	0.5-1	2	2
B15	vZn utettet stål + vinyl (ikke Al-pigment)	1.5-2	1.5-2	3	3	2	2.5	0	0	1.5-2	1	1-1.5	1-1.5
B16	vZn utettet stål + polyuretan	2.5	1.5	1.5	1-1.5	1.5	2-2.5	0.5(1.5)	0-0.5	1.5	1.5-2	1.5	2-2.5
B17	Flammesprøytet Zn (140 ± 30%) + alkyd	0	1	0	1.5	0	1.5	0	0	0.5	1	0	0.5-1
B18	Flammesprøytet Zn + 1 strøk KK	0.5	2.5-3	2	2.5-3	2	2.5	0	0.5	1.5	1.5	0	2-2.5
B19	Flammesprøytet Zn + KK	0	0.5	0.5	0.5-1	0.5	1	0	0-0.5	0	0.5	0	0.5
B21	Flammesprøytet Zn + 1 strøk vinyl (ikke Al-pigment)	1	1.5-2	4	4	2.5-3	2.5	0	0-0.5	0	0	0.5	0-0.5
B22	Flammesprøytet Zn + vinyl (ikke Al-pigment)	1	1.5	2.5	2.5-3	1.5-2	2	0	0-0.5	0	0-0.5	0	0-0.5
B23	Flammesprøytet Zn + polyuretan	3	2.5-3	0.5	1.5	0.5-2	1-3	0	3-3.5	3	3.5	3.5	3.5
B24	Lysbuesprøytet Al (120 ± 30%) + alkyd	0	0	0	1.5	0	0.5	0	0	0	0.5	0	0.5
B25	Lysbuesprøytet Al + 1 strøk KK	0	1	0.5	1.5	0.5	1	0	0.5	0	0.5	0	0.5
B26	Lysbuesprøytet Al + KK	1-2	1-1.5	2	1.5	1-2	1.5	0	1	1	1	0.5	1
B28	Lysbuesprøytet Al + 1 strøk vinyl (ikke Al-pigment)	0	0.5	0	1.5	0	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
B29	Lysbuesprøytet Al + vinyl (ikke Al-pigment)	1.5	2-2.5	4	4	4	3.5-4	0	0.5	0	1.5	0	2
B29 (7 1/2 år)	Lysbuesprøytet Al + vinyl (ikke Al-pigment)	2	2-2.5	4	4	3	3.5	0	0.5	0.5	1	1	1-1.5
B30	Lysbuesprøytet Al + polyuretan	0	1-1.5	0-0.5	1.5-2	0-0.5	1.5	0	0.5	0	1	1	1.5

Tabell 6: forts.

SERIE C C31	Zn-RIKE MALINGBELEGG Zn-etylsilikat	2.5-3	4	1	2	1	1.5-2	0	0	0-0.5	0	0.5	2-2.5
C32	Vannbasert Zn-alkalisilikat	0.5	4	0.5	1	0.5	0.5-1	0	0.5	0	0.5	0	1
SERIE D D33	Zn-RIKE MALINGER OG OVERMALING Zn-ethylsilikat + alkyd	1-2	0.5-1	2	1.5	1.5	1	0.5-1	1	0.5	1.5(2)	0.5	1
D34	Zn-ethylsilikat + 1 strøk KK	1.5	1.5	3	2.5-3	2.5-3	2-2.5	0	1	1.5	1	1.5	1.5
D35	Zn-etylsilikat + KK	1.5	1-1.5	2	2-2.5	1.5	1	0	1	0.5	1	1.5	1
D37	Zn-etylsilikat + 1 strøk vinyl (ikke Al-pigment)	2	2	2.5	3.5-4	2	2.5	0	0.5	1.5	1.5-2	1	1.5-2
D38	Zn-etylsilikat + vinyl (ikke Al-pigment)	1.5	1.5	1.5-2	1.5-2	1.5-2	1.5	0.5-1	1	1.5	1	1.5	1
D38 (7 1/2 år)	Zn-etylsilikat + vinyl (ikke Al-pigment)	1.5	1.5-2	2.5	2.5	1.5-2	2.5	2.5-3	1.5	1.5	1-2	1	1
D39	Zn-etylsilikat + polyuretan	2	1.5	1.5	1.5-2	1-1.5	1.5	0.5	1.5-3	1.5	1	1.5	1
D40	Vannbasert Zn-alkalisilikat + alkyd	1.5-3	3.5	2	2.5	2	1.5-2	3	4	3.5	4	3-3.5	3
D41	Vannbasert Zn-alkalisilikat + 1 strøk KK	1	1-1.5	1.5	2.5	0-0.5	1.5-2	0	1.5	3-3.5	2.5-3	1.5	0.5-1
D42	Vannbasert Zn-alkalisilikat + KK	0.5	1-1.5	0.5-1	1.5	0.5	1.5	0	1	0	1-2.5	0.5	1
D44	Vannbasert Zn-alkalisilikat + 1 strøk vinyl (ikke Al-pigment)	1	1.5	1.5	1	1	1.5	2	2.5	3	3	0.5	1.5
D45	Vannbasert Zn-alkalisilikat + vinyl (ikke Al-pigment)	1.5	1.5	1.5-2	1.5-2	1.5	1-1.5	1.5	2-3	1.5	1.5-3	1	1
D46	Vannbasert Zn-alkalisilikat + polyuretan	3.5	3.5	1.5-2	1.5	0.5-1	1-3	4	4	4	4	3-3.5	3-3.5
SERIE E E47	REFERANSESYSTEMER Zn-rik epoxy shopprimer + alkyd	1.5	0.5-1	2	1	1.5	1.5	0	1.5	1.5	1.5	1	1.5
E48	Zn-rik epoxy shopprimer + 1 strøk KK	2	2.5	2-3	3-3.5	2.5-3	3	0-0.5	1.5-2	1.5	1.5	1	1.5
E49	Zn-rik epoxy shopprimer + KK	1.5	1-1.5	2	2	2	1.5	0(1)	1	1	1	0.5(1.5)	1
E51	Zn-rik epoxy shopprimer + 1 strøk vinyl (ikke Al-pigment)	2.5	2.5-3	4	4	4	4	0.5(1.5)	1-1.5	1.5-2	2-2.5	1	2.5
E52	Zn-rik epoxy shopprimer + vinyl (ikke Al-pigment)	1.5-2	1.5	2.5	2-2.5	2	1.5-2	0	0.5-1	1.5-2	1.5	1-1.5	1-1.5
E53	Zn-rik epoxy shopprimer + polyuretan	2	1.5	1.5-2	2	1.5	2	0(1)	1	1.5	1.5-2	1.5	1.5
E54	Etsprimer + alkyd	2	0.5-1	2.5	2-3.5	2	1.5	0(1)	1	2	1.5	0.5-1	1
E55	Etsprimer + KK	2	1.5	2-2.5	3.5-4	1.5	1.5-2	0-0.5	1	1.5	1.5	1	1
E57	Etsprimer + vinyl (ikke Al-pigment)	2	1.5	2.5-3	3	2	1.5-2	0	0.5-1	1.5	1	1-1.5	1
F58	Forrustede prøver + linoljebasert blymønje + alkyd	3	2.5	3	3.5-4	3	2.5-3	2.5	3	1.5	2.5-3	2-3.5	2.5

¹⁾ B-seriens metallbelegg har bare i få tilfeller skadegradstall som avviker fra 0. Det gjelder for noen av de plater hvor malingsbelegget er sterkt skadet.

5.2.2 Borregaard

Eventuelle forandringer i beleggtykkelsen er små. En viss tykkelsesreduksjon har trolig skjedd på det tynne varmforsinkede belegget på tettet stål (A4) og det varmaluminiserte tynne belegget (A9). De flammesprøytete sinkbeleggene (A5 og A6) synes like bra som de aluminiserte beleggene (A7 og A8), som fremdeles er i god forfatning.

Tykkelsesreduksjonen i Ca 1 cm fra nedre kant av Zn-platene kunne være betydelige, i størrelsesorden 40-50 μm . Platene A1, A2 og A4 har rustgjennomslag, og disse forekommer særlig i den nederste kanten hvor beleggtykkelsen var mindre. Disse platene er lite pene.

A9 har klart seg forbausende godt med tanke på det tynne belegget. Den er imidlertid skitten og svært uestetisk, men kan ennå tåle eksponering (figur 4).

5.2.3 Folehavnen/Tananger

Prøvene fra Folehavnen 10 m ble flyttet til Tananger i august 1982 og er således eksponert 5 1/2 år på Folehavnen og 3 år på Tananger. Selv om nedbørmengden er større og antall soltimer færre på Tananger vil hovedfaktoren sjøsprøyt være tilnærmet den samme for de to stasjonene. Avstanden fra stativene til sjøkanten er fra 5 til 10 m på den nye stasjonen.

De aluminiserte beleggene (A7 og A8) har stått best. De har blitt gråflekete og viser større tendens til rust i riss enn de sinkbelagte. De andre systemene står også relativt bra ennå.

For varmforsinket system A4 og lysbuesprøytet system A7 er det til dels betydelig tykkelsesreduksjon i nedre kant av platene.

For Folehavnen 250 m er påvirkningen som ventet stort sett noe mindre, men ellers svært lik Tananger. A9 har fått noe dårligere karakter på Fo-250 på grunn av litt større rustangrep langs kantene. Ellers er rustutbredelsen (i riss) større på Tanangerprøvene.

5.2.4 Tangen

De metalliserte beleggene på Tangen har holdt seg meget bra (ingen skadegrad >0.5), og bedre enn på noen annen stasjon. Det gjelder alle systemene selv om det synes å ha forekommet en viss tykkelsesreduksjon på A9. Best karakter har de forsinkede beleggene A4, A5 og A6 fått. Alle platene er sterkt tilsmusset av sementstøv. Dette har gitt platene en viss korrosjonsbeskyttelse. Det er i mindre grad beleggreduksjoner i nedre kant av platene enn på de andre stasjonene.

5.2.5 Birkenes

På Birkenes står alle platene i A-serien meget bra, nest best etter Tangen. Ingen plater har skadegrad >0.5 . En redusert tykkelse på ca 50 μm i nedre kant på A2 og A4 samt en generell reduksjon av tykkelsen på A9 på i underkant av 10 μm er registrert. Rust i riss har bare de aluminiserte prøvene.

5.2.6 Bergen - Marineholmen og CMI

Prøvene har stått 7 1/2 på Marineholmen og 1 år på CMI. Som nevnt i bilag 1 har en rekke plater forsvunnet, herav samtlige i system A5. Systemene A7, A8 og A9 var det så få igjen av, at disse ikke ble tatt inn.

Målingene gir ingen indikasjon på tykkelsesreduksjon. Imidlertid viser både A2, A4 og A6 tykkelsesreduksjoner i størrelsesorden 40-50 μ i nedre kant av platene. Det er ingen rust av betydning i risset på de fem platene som er evaluert.

5.3 OVERMALTE BELEGG

Resultatene er vist i tabell 6 som er en sammenfatning av skadegradstall for alle systemer på alle stasjoner. Disse bygger på tabeller av den typen som er vist i tabell 2a og 2b, bilag 2. For å lette sammenligningen har en også tatt med skadegradstallene etter 3 1/2 års eksponering. Dessuten er det vist bilder (figur 2 og 3) av samtlige prøver utenom de metalliserte på Borregaard og på Folehavnen/Tananger (skvettstasjon) etter 8 1/2 års eksponering.

Som tidligere nevnt under punkt 5.2.1 ble i flere tilfeller skadene ved 3 1/2 års evaluering vurdert noe for strengt. Det har nå etter 8 1/2 års eksponering vist seg at mange av skadene ikke har utviklet seg vesentlig de siste årene. Generelt ligger det nok derfor en noe "mildere" vurdering bak skadegradstallene denne gangen.

For B-serien gjelder stort sett at skadegradstallet for metallet er 0, unntatt for noen av de plater som har fått malingsbelegget helt ødelagt. Men selv for disse er ikke skadene på metallbelegget store.

5.3.1 Borregaard

Etter 3 1/2 år var ti systemer nesten upåvirket med skadegrad ≤ 0.5 . Etter 8 1/2 år var antall nesten upåvirkede systemer redusert til de tre, B19-KK, B24-alkyd og B28-vinyl. Systemer som er spesielt forringet siden sist er: B18, B29 og C32. Utover dette er det vanskelig å se noen vesentlig endring fra 3 1/2 til 8 1/2 år.

Systemer som er mer eller mindre ødelagt etter 8 1/2 år på Borregaard (skadegrad > 2.5 pr definisjon): B11, B23, C31, C32, D40, D46, E51 og F58.

På mange av systemene synes nedbrytningen å ha vært sterkt avtagende med tiden.

De beste systemene angitt etter toppstrøk innen hver gruppe var: alkyd på lysbuesprøytet aluminium (B24:0), klorkautsjuk på flammesprøytet sink (B19:0,5), polyuretan på lysbuesprøytet aluminium (B30:1-1,5) og vinyl på lysbuesprøytet aluminium (B28:0,5). En ser også at lysbuesprøytet aluminium er et svært godt malingunderlag.

De sinkrike malingbeleggene uten overmaling er begge ødelagt.

Referansesystemene på stål klarer seg fortsatt relativt bra, og det er bare E51 og F58 som er i dårlig forfatning.

5.3.2 Folehavnen 10 m/Tananger

Etter 8 1/2 års eksponering er samtlige systemer mer eller mindre beskadiget (skadegrad >0.5). Antall ødelagte system (skadegrad >2.5) var 10, 11 og 16 etter henholdsvis 3 1/2, 5 1/2 og 8 1/2 års eksponering. Størst økning i skadene har det vært på B24, B28, B30, C31, D37 og E55.

Totalt vurdert har polyuretanmalingene klart seg best, men avstanden til KK er liten. Vinyl kom dårligst ut.

Bruk av etsprimer har gitt ugunstig resultat.

De overmalte metalliserte beleggene har stort sett ikke rust i riss.

Etter toppstrøkstype er de beste systemene innen hver gruppe følgende: alkyd på sinkrik epoxy shopprimer (E47:1), klorkautsjuk på flammesprøytet sink (B19:0,5-1), på lysbuesprøytet aluminium (B25 og B26, begge 1,5) og på vannbasert sinkkalkalisilikat (D42:1,5), polyuretan på varmforsinket stål (B16:1-1,5), vinyl på vannbasert sinkkalkalisilikat (D44:1) og vannbasert sinkkalkalisilikat (C32:1).

De sinkrike malingbeleggene står bedre her enn på Borregaard og den vannbaserte sinkkalkalisilikaten er klart bedre enn sinketylsilikaten.

5.3.3 Folehavnen 250 m

Antall skadefrie systemer (≤ 0.5) har nå avtatt fra ni etter 3 1/2 år til ett (B24) etter 8 1/2 år, mens antall ødelagte systemer (>2.5) er det samme (åtte systemer). I perioden har den største forandringen i nedbrytning vært for B14, B16 og B17. Det er nesten ikke rust i riss på de overmalte metalliserte underlagene.

De beste systemene etter toppstrøktype er innen hver gruppe:

alkyd på lysbuesprøytet aluminium (B24:0,5), polyuretan på lysbuesprøytet aluminium (B30:1,5) og på sinketylsilikat (D39:1,5), klorkautsjuk på flammesprøytet sink (B19:1) og på sinketylsilikat (D35:1), vinyl på lysbuesprøytet aluminium (B28:1).

Jevnt over har alkyd klart seg best og vinyl dårligst, tilsvarende som på splash-stasjonene. Hele tretten systemer er gitt litt bedre skadegradstall nå enn ved en noe forenklet feltevaluering etter 5 1/2 års eksponering. Ingen synlig endring har fremkommet i løpet av de mellomliggende tre årene.

5.3.4 Tangen

På Tangen dekkes prøvene av et sementstøvlag fra Norcem-fabrikken og dette beskytter systemene i betydelig grad. Antall ødelagte systemer er i perioden fordoblet fra tre til seks systemer. Fremdeles er imidlertid overveiende antall systemer i svært god forfatning. Sterkt økende forringelse har det vært for B11, B23, D39, B45 og E48.

Tangen er den stasjon hvor det er minst rust i riss. Selv på malt underlag finnes det lite rust å se på nummer D37, D38 og D44.

De beste systemene innen hver gruppe etter toppstrøktype var:

alkyd på varmforsinket stål (B10:0) og på flammesprøytet sink (B17:0) og på lysbuesprøytet aluminium (B24:0), klorkautsjuk på varmforsinket stål (B12:0-0,5), på flammesprøytet Zn (B19:0-0,5), polyuretan på varmforsinket stål (B16:0-0,5) og vinyl på varmforsinket stål (B15:0).

Når en ser bort fra prøver med Zn-silikatunderlag for alkyd, ga systemene med dette toppstrøk best resultat. Zn-silikatunderlag for alkyd er kjent for å være en dårlig kombinasjon, og brukes ikke i praksis.

D38 som har vært eksponert bare i 7 1/2 år synes å ha blitt vurdert ut fra en lite representativ plate etter 2 1/2 år hvor den har vært oppført med 2.5-3 i skadegrad.

5.3.5 Birkenes

Systemene står bra på Birkenes. F58 er det eneste systemet som har gjennomgått en vesentlig forringelse de siste 5 år. Antall ødelagte systemer har økt fra seks til sju.

Det er betydelige rust i riss på systemene på Birkenes. Det gjelder samtlige systemene med malt underlag og dessuten B16, B17, B23, B25, B26, B28 og B29.

Vurdert etter toppstrøktype er de beste systemer innen hver gruppe:

alkyd på lysbuesprøytet aluminium (B24:0,5), klorkautsjuk på flammesprøytet sink (B19:0,5) og på lysbuesprøytet Al (B25:0,5), polyuretan på lysbuesprøytet aluminium (B30:1) og på sinketylsilikat (D39:1), og vinyl på flammesprøytet sink (B21:0).

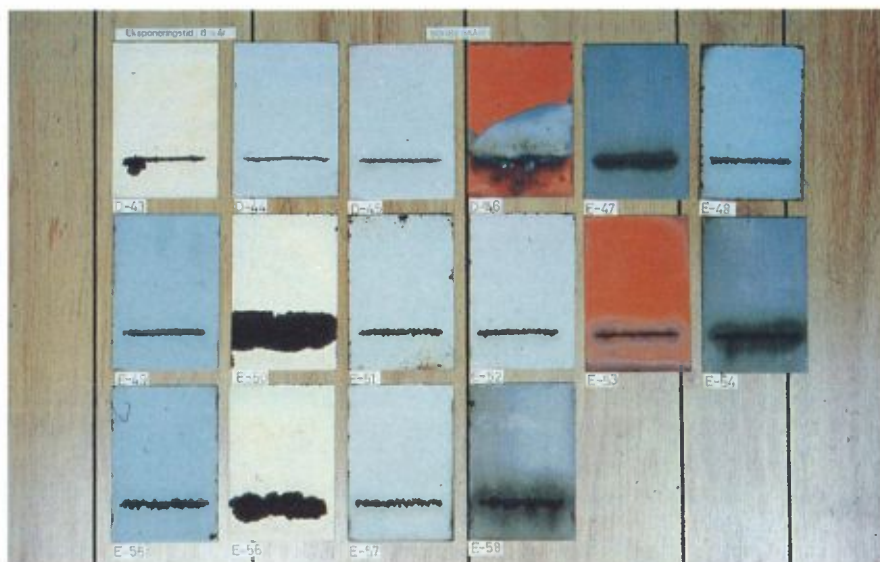
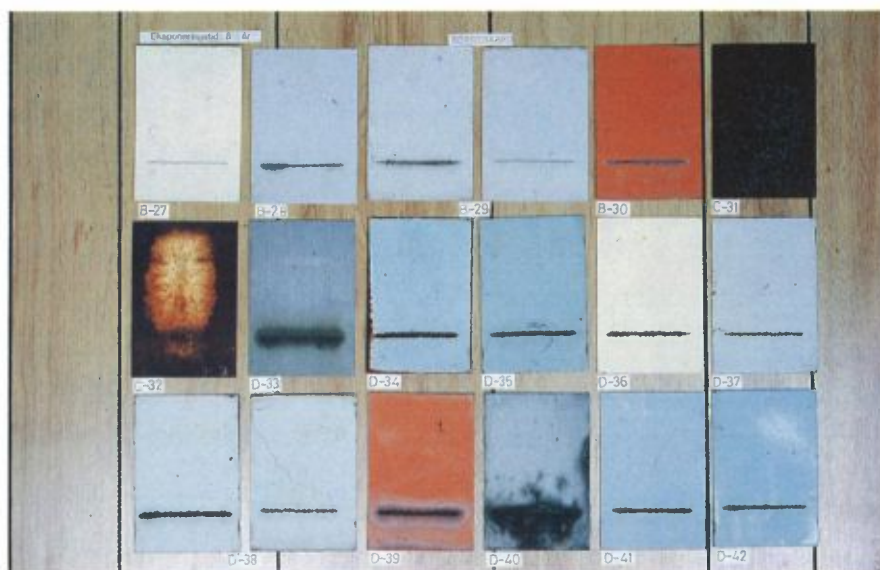
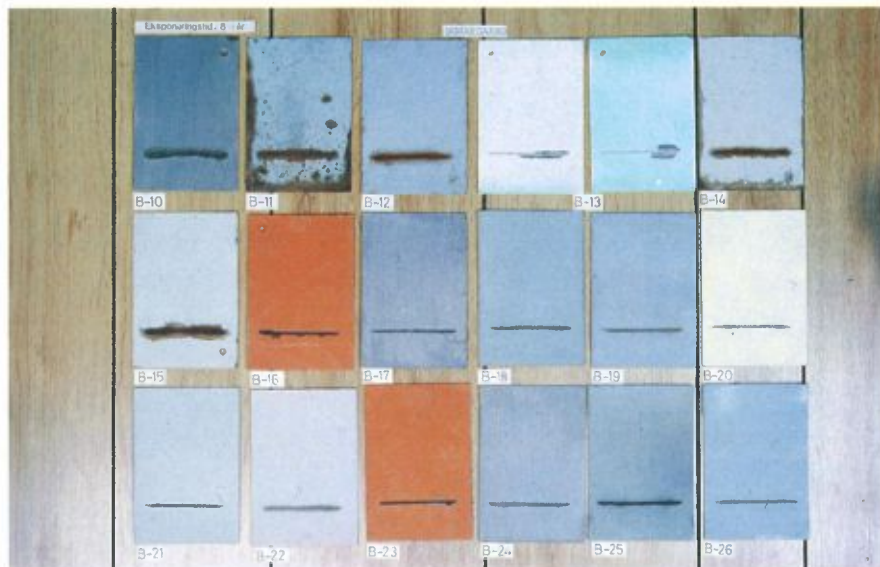
Dessuten er sinksilikat-malingene uten overmaling i god forfatning.

Generelt står toppstrøktypene klorkautsjuk og vinyl best, mens polyuretan er dårligst.

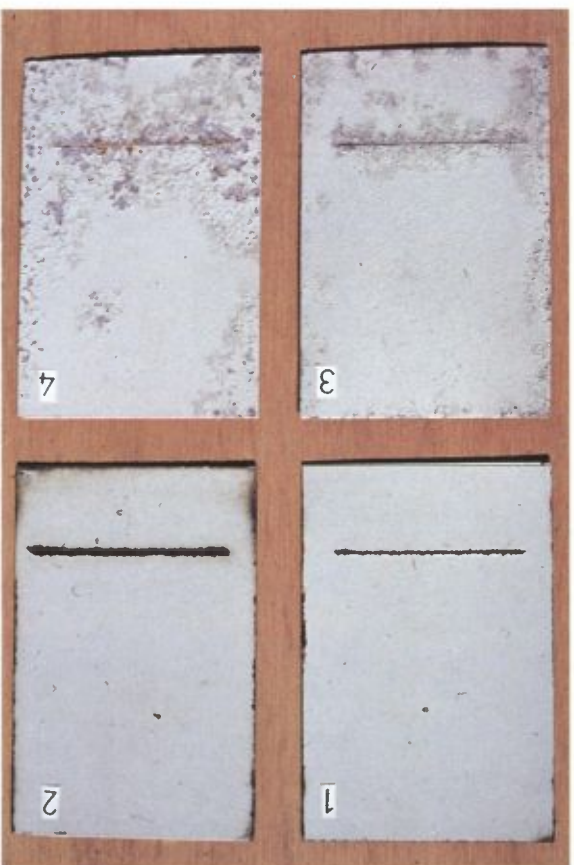
Forgrenede mikroskopiske plantelignende vekster (sopp?) var vanlig å se på beleggenes overflate, særlig i nærheten av riss. I mindre grad forekom det også på Tangen.

5.3.6 Marineholmen/CMI i Bergen

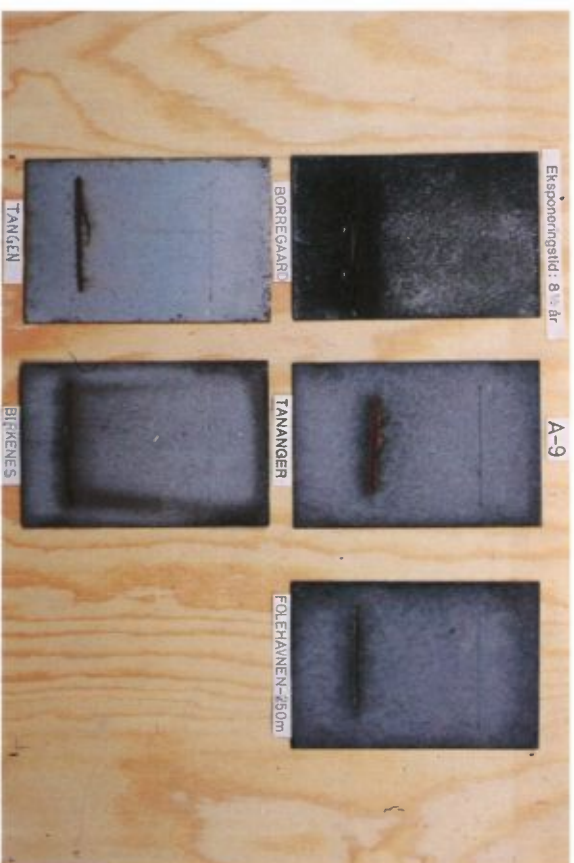
I Bergen synes det ikke å være flere ødelagte systemer nå enn for fem år siden. Derimot er antall nesten feilfrie systemer sunket fra ni til seks. De to feilfrie er B21 og B22 (vinyl på flammesprøytet sink). C31 og E51 har gjennomgått sterk forringelse.



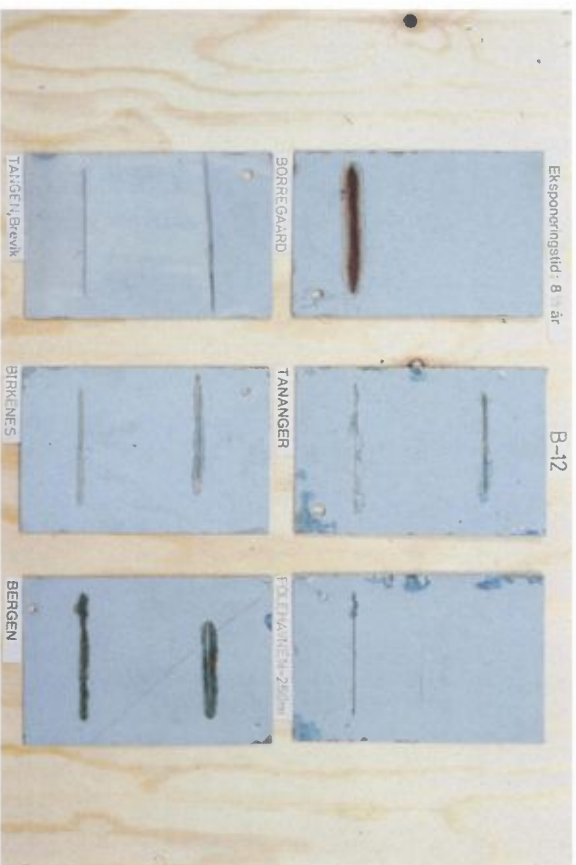
Figur 2: Alle systemer etter 8,5 års eksponering i sur industriatmosfære på Borregaard (Sarpsborg).



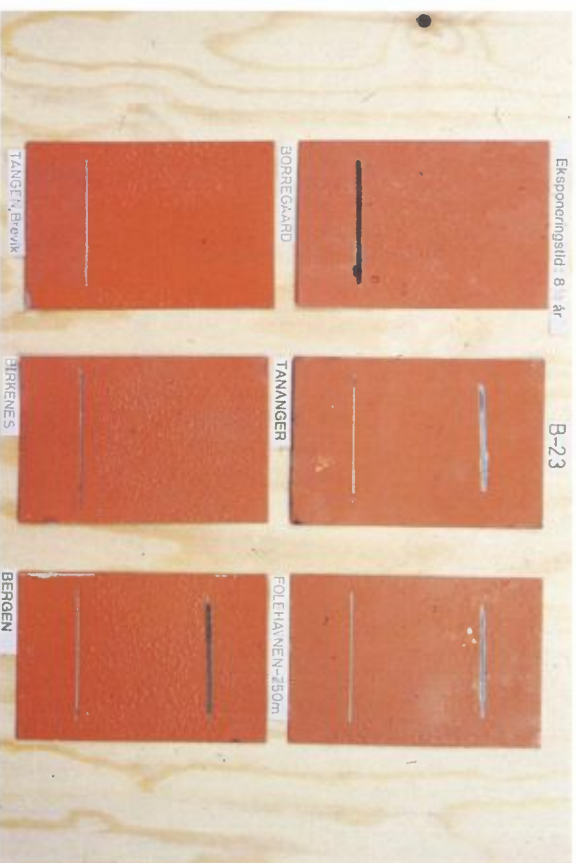
Figur 1: Skadegrad 1-4.



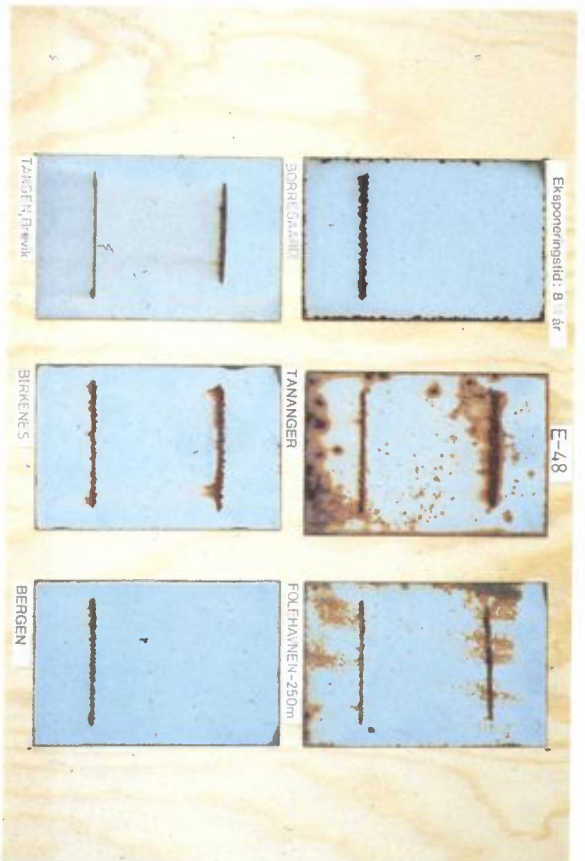
Figur 4: Varmaluminisert Al.



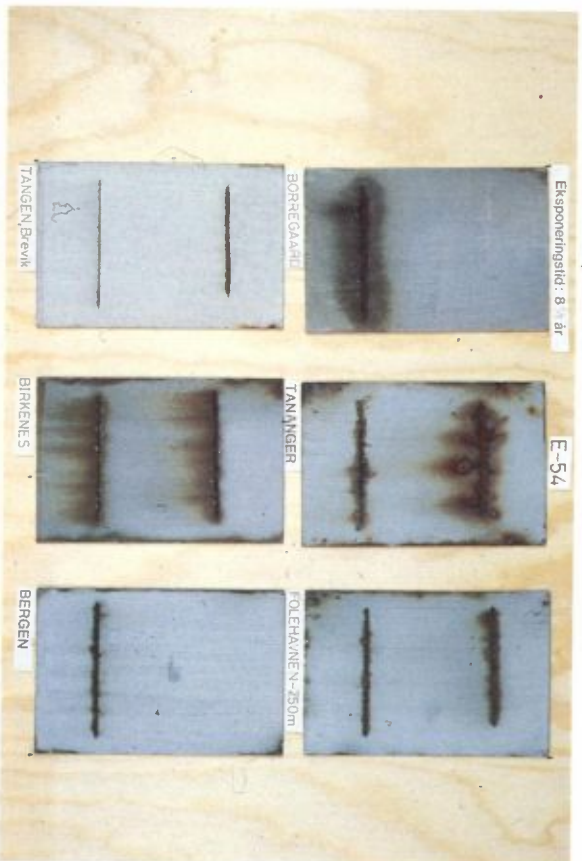
Figur 5: Varmforsinket uttettet stål + KK.



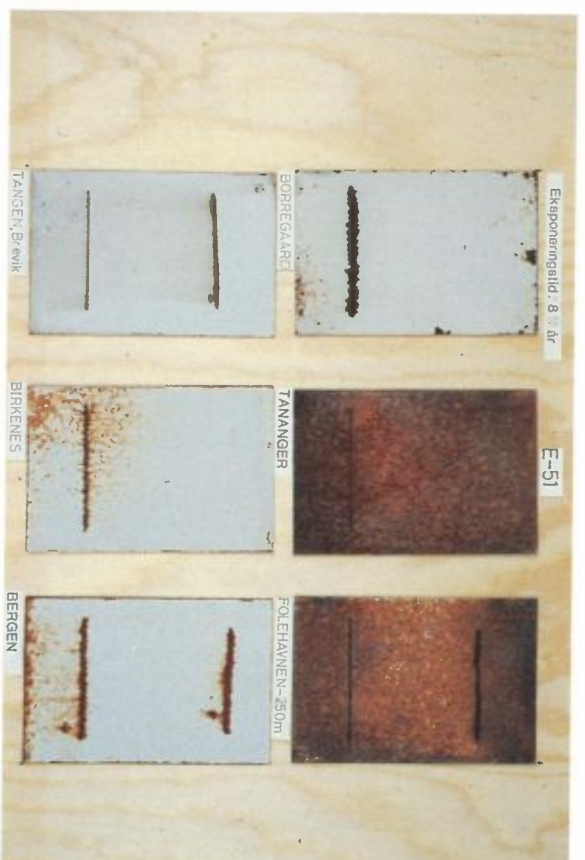
Figur 6: Flammesprøytet Zn + polyuretan.



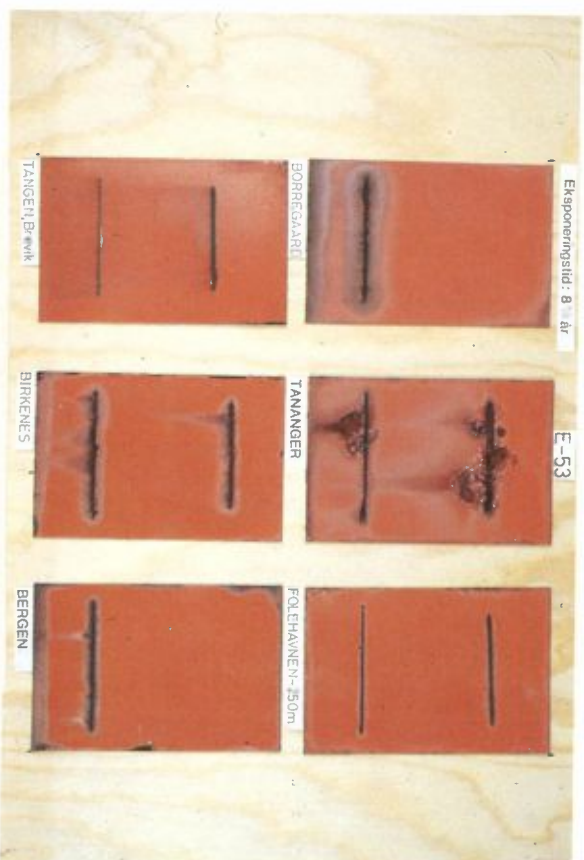
Figur 11: Zn-rik epoxy shopprimer + 1 strøk KK.



Figur 13: Etsprimer + alkylid



Figur 12: Zn-rik epoxy shopprimer + 1 strøk vinyl.



Figur 14: Zn-rik epoxy shopprimer + polyuretan

Tilsvarende som på det nedbørrike Birkenes har nesten alle systemene i Bergen vesentlig rust i riss.

Vurdert etter toppstrøkstype er de beste systemene innen hver gruppe:

alkyd på lysbuesprøytet aluminium (B24:0,5), klorkautsjuk på flammesprøytet sink (B19:0,5), og på lysbuesprøytet Al (B25:0,5), polyuretan på sinketylsilikat (D39:1) og vinyl på flammesprøytet sink (B21 og B22, begge 0-0,5).

Dessuten er den vannbaserte sinkkalkalisilikat i god forfatning.

Som gruppe er vinyl og klorkautsjuk toppstrøk best i Bergen mens polyuretan er dårligst.

6 SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

Feltprøvingen generelt:

- Det har generelt skjedd en forverring av tilstanden hos malingbeleggene fra 3 1/2 til 8 1/2 års eksponering. Men forandringene har ikke vært store. Vi har også justert noen skadegradstall, da vurderingen har vært noe for streng ved 3 1/2 års evaluering.
- Feltprøvingen viser at de ulike beskyttelsessystemer påvirkes forskjellig ved de ulike atmosfæretyper. En må derfor kunne kvantifisere de viktigste miljøparametre på et sted for å kunne si noe med rimelig sikkerhet om nedbrytningsforløpet for en spesifikk maling.
- Resultatene gjelder strengt tatt kun de systemer som er utprøvd. Innenfor hver type av maling, som f.eks. polyuretanmalinger, finnes det en rekke varianter som kan gi andre resultater enn i den foreliggende undersøkelse.
- De benyttede prøvestasjoner inngår i et nett av stasjoner som er karakterisert i forhold til forslag til internasjonal standard for klassifisering av korrosjonsmiljø gjennom omfattende målinger av korrosjon og miljø på stasjonene.

6.1 METALLISERTE BELEGG

Som omtalt under punkt 5.2 er det meget stor usikkerhet beheftet med den kvantitative vurdering av korrosjonen av de metalliserte belegg.

- I forhold til forrige evaluering etter 3 1/2 års eksponering, skal to forhold nevnes. For det første har de forsinkede platene med tynneste belegg (A1, A2 og A4) nå fått rustgjennomtæringer, særlig i nedre kantdel. På Borregaard har en også fått rust i risset på A1. For det andre har ikke det tynne aluminiumiserte belegget (A9) fått den raske nedbrytingen som ble indikert første gangen. På grunn av rask tilsmussing har evalueringen av denne alltid vært vanskelig. Stort sett

er imidlertid tilstanden fortsatt bra, selv om systemet synes å ha fått redusert beleggtykkelsen med 5 til 10 μm . På Tananger registrerte vi ingen reduksjon.

- Som forrige gang ser en at de metalliserte beleggene står best i det alkaliske miljøet på Tangen, og nesten like bra på Birkenes.
- Ved en rangering mellom systemene ser en at de aluminiumsprøytete (A7 og A8) står best på alle stasjonene. Aluminiumbeleggene har forøvrig en klar tendens til å vise mer rust i risset enn de forsinkede. Dette kan tilskrives en galvanisk effekt som en også kjenner til fra praksis.
- Generelt må en forøvrig si at de metalliserte beleggene fremdeles står meget bra. Problemet er av estetisk karakter, idet de ofte er tilsmusset og/eller oksidert ujevnt.

6.2 MALTE BELEGG

6.2.1 Alkydmaling

- De karakteristiske skadene ved alkyd er dårlig heft, avflaking og blæredannelse.
- Alkyd-toppstrøksystemene holder best på Borregaard og Tangen. Dernest kommer Bergen, Folehavnen 250 m, Birkenes og til slutt Tananger. Basis for rangering er skadegradstallene i tabell 6.
- Alkyd på lysbuesprøytet aluminium (B24) synes totalt sett å være det beste system i hele undersøkelsen. Men det er ikke lenger upåvirket på samtlige stasjoner, og linoljebasert blymønje på forrustet prøve med alkyd på toppen (F58) er nå defekt på alle stasjoner.
- Selv om alkydsystemene, med unntak av D40 og F58, stort sett står svært bra på alle stasjonene skjer det en erosjon av malingen og etter hvert har det kommet til syne sorte pigmenter på samtlige stasjoner unntatt Tangen. Disse pigmenter er jernoxider som er tilsatt malingen.

- Ellers er det som tidligere tydelig at systemene på metalliserte underlag (B10, 17 og 24) klarer seg utmerket på nesten alle stasjonene og bedre enn de malte underlagene. Sinketylsilikat (D33) er bedre som underlag enn vannbasert sinkkalkalisilikat (D40) som er mer eller mindre mislykket på alle stasjoner. Denne skulle forøvrig ikke vært overmalt ifølge Jotungruppen. Det er rust i riss på de malte beleggene, men ikke på de metalliserte. Unntaket her er B17 som nå har fått rust i risset. Dette er også en forskjell fra tidligere.

6.2.2 KK-maling

- De karakteristiske skadene på KK-malingen er avflaking, krakkelering, blæring og krittning. Alle prøvene krittet mer eller mindre. På grunn av god heft samtidig med kraftig korrosjon i riss får flere av KK-malingene på malte underlag gjerne sterkt riflet kant rundt risset. Det er rusten som presser på malingfilmen og styrken og sprøheten gir det karakteristiske utseende.
- Det er ingen vesentlige forskjeller å observere etter forrige evalueringen. Det er en tendens til størst påvirkning på KK-systemene på de mest aggressive stasjonene, det vil si, Borregaard, Tananger og Folehavnen 250 m fra sjø. Generelt er det sterkest påvirkning i det marine miljøet på Tananger.
- Som tidligere er det de to systemene på metallisert underlag, på flamme-sprøytet sink B19 og på lysbuesprøytet aluminium B25, som peker seg ut som de beste. På lysbuesprøytet aluminium er 1 strøk KK bedre enn 3 strøk, mens på forsinket underlag er 3 strøk bedre enn 1 strøk.
- Også for KK-systemene er det mest rust i rissene for systemene med malte underlag.

Rankingen mellom stasjonene, dvs. der hvor KK-toppstrøkene har klart seg best er: Tangen, Bergen og Birkenes (liten forskjell mellom disse). Dernest kommer Borregaard, FO 250 og klart dårligst for Tananger.

6.2.3 Vinylmaling

- De vanligste skadene er sterk krittning, krakkelering og blæredannelse. Dessuten har erosjonen gjort at sort pigment etter hvert er tydelig, særlig i forbindelse med riss og sprekker.
- Det er svært små forskjeller sett i forhold til evalueringen etter 3 1/2 år. Det er tydelig store problemer med vinyl i tøff marin atmosfære. På skvettstasjonen på Tananger er det således bare B28 (og D44) som fremdeles er i god tilstand. For alle vinylsystemene totalt er det vesentlig mere angrep på Tananger, Folehavnen 250 og Borregaard enn på de tre andre. Et strøk vinyl for lysbuesprøytet aluminium (B28) er det vinyl-system som står best på alle stasjoner, og på Borregaard er det det eneste system som får karakteren utmerket.
- Prøvene med henholdsvis lysbuesprøytet aluminium og sinketylsilikat som underlag ble antatt å ha hatt for dårlig herding ved første gangs utsetting. Disse ble derfor malt på nytt og satt ut året etter. De har derfor vært eksponert i 7 1/2 år. Dette har ikke gitt noe nytt. 3 strøk vinyl på lysbuesprøytet aluminium er altså vesentlig dårligere enn 1 strøk. Tykkere lag gir lettere oppsprekking og blæredannelser. I dette tilfelle var blæredannelsen hovedsaklig tilknyttet risset eller i nærheten av dette.
- Samtlige system har rust i riss på Borregaard og Marineholmen i Bergen. Ellers er det en tendens til at det er mest rust i riss på de malte underlagene.

6.2.4 Polyuretanmaling

- Karakteristiske skader på disse beleggene er blærer og avflaking, spesielt fra riss, samt glanstap (særlig forside).
- Generelt er det ingen stor forandring i polyuretanmalingene fra 3 1/2 års eksponering. Størst forandring ser en på B23 som har blitt betydelig forverret på flere stasjoner. Ellers er det generelt betydelige skader på polyuretanbeleggene, og det er ingen stor forskjell i beleggene på metalliserte og malte underlag. Det er heller ingen store forskjeller

mellom stasjonene. Rust i riss er også vanlig på alle systemer, med et visst unntak på B23 som forøvrig er sterkt skadet unntatt på Tananger. Systemet på lysbuesprøytet aluminium (B30) har jevnt over klart seg best.

6.2.5 Sinkrike silikater

- Det har skjedd betydelig forandring på de sinkrike silikatene. Den største forskjellen er at belegget er fullstendig rustet vekk på Borregaard på begge systemer. Dessuten er det betydelig mer rust på C31 på stasjonene utenom Tangen og Birkenes.
- Begge systemene står utmerket i miljøer som på Tangen og Birkenes hvor de er nesten upåvirket. Generelt synes den vannbaserte sinkkalkalie-silikaten å være noe mer bestandig. C32 har også svært lite rust i riss bortsett fra på Borregaard.

6.3 MALTE BELEGG SETT I FORHOLD TIL OMGIVENDE MILJØ

- I surt miljø (Borregaard) har lysbuesprøytet Al på stål + alkyd (B24) gitt meget godt resultat. Tett opp til dette system kommer flammesprøytet Zn på stål + KK (B19) og lysbuesprøytet Al på stål + 1 strøk vinyl (B28). Med flere vinylstrøk ble resultatet mye dårligere. Ødelagt var C31 og C32 (tynne skikt av Zn-silikater). Meget dårlig resultat gav også vannbasert Zn-alkalisilikat (tilsvarer C32 overmalt med henholdsvis alkyd (D40) og polyuretan (D46)).
- På skvettstasjonen Tananger var alle prøvene en del påvirket, men bra var igjen B19, og dessuten C32 samt D44 (vannbasert Zn-alkalisilikat + 1 strøk vinyl) og E47 (Zn-rik epoxy shopprimer + alkyd). Alle metalliserte underlag med vinyl kom dårlig ut med et unntak av B28 som kun hadde 1 strøk over lysbuesprøytet Al på stål. Varmeforsinket stål + 1 strøk KK (B11) var også sterkt skadet sammen med en del prøver fra systemer med malt underlag. De fleste av disse var tydelig påvirket.

- I alkalisk industriatmosfære (cementindustri) klarte de fleste systemer seg utmerket, særlig de med metalliserte underlag. Et unntak var flammesprøytet sink på stål + polyuretan (B23) som var neste ødelagt.

For prøver med bare malingsbelegg kan begge prøver i C-serien og D37 (Zn-etylsilikat + 1 strøk vinyl) fremheves som de beste. Vannbasert Zn-alkalisert + henholdsvis alkylid (D40) og polyuretan (D46) er ødelagt. Vinyl som toppstrøk (D44 og D45) synes heller ikke å "trives" på dette underlag.

- Noe overraskende er det kanskje at "skademønsteret" fra det alkaliske miljøet på Tangen stort sett er det samme som fra det nedbørrike Birkenes hvor nedbøren ofte kan være nokså sur. Dvs. at det stort sett er de samme beleggssystemene som er gode respektivt dårlige på de to stedene. Birkenesprøvene er dog jevnt over noe mer påvirket. Betydelig mer skadet på Birkenes var imidlertid B16 (varmeforsinket stål + polyuretan) og D41 (vannbasert Zn-alkalisilikat + 1 strøk KK).

7 REFERANSER

- Atteraas, L., Haagenrud, S.E., Kucera, V. og Hakkarainen, T. (1978) Atmospheric corrosion rate of unalloyed steel and zinc, environmental parameters at test sites in Scandinavia. I: 8th Scand. Corr. Congr. Proceedings. Ed. by J. Larinkari. Helsinki, s. 139-149.
- Haagenrud, S.E. og Ottar, B. (1975) Long-range transport of air pollution and corrosion effects. I: 7th Scand. Corr. Congr. Trondheim, s. 102-115.
- Haagenrud, S.E. (1977) Atmosfærisk korrosjonsprøving av umalte og malte sink- og aluminiumbelegg på stål, samt umalte og overmalte sinkrike malingbelegg på stål. Framdriftsrapport nr. 1. Lillestrøm (NILU OR 6/77).
- Haagenrud, S.E. (1977) Atmospheric corrosion testing of metallized, metallized and painted and painted steel. J.Oil Colour. Chem. Assoc., 66, 469-473.
- Haagenrud, S.E. og Anda, O. (1978) Atmosfærisk korrosjonsprøving av umalte og malte sink- og aluminiumsbelegg på stål, samt umalte og overmalte sinkrike malingbelegg på stål. Framdriftsrapport nr. 2. Lillestrøm (NILU OR 44/78).

- Haagenrud, S.E. og Klinge, R. (1979) Atmospheric corrosion testing of metallized, metallized and painted, and painted steel. Framdriftsrapport nr. 3. Lillestrøm (NILU OR 36/79).
- Haagenrud, S.E. og Klinge, R. (1980) Atmospheric corrosion testing of metallized, metallized and painted, and painted steel. I: 9th International Thermal Spraying Conference. Preprints. The Hague, Netherlands, Inst. voor Lastechniek, s. 385-391.
- Haagenrud, S.E. og Atteraas, L. (1982) Atmospheric corrosion in Norway. I: International symposium on atmospheric corrosion. The Electrochemical Society, 156th meeting, Hollywood, Florida, Oct. 5-10, 1980. N.Y., Wiley, s. 873-891.
- Haagenrud, S.E., Henriksen, J.F. og Anda, O. (1981) Atmosfærisk korrosjonsprøving av umalte og malte sink- og aluminiumsbelegg på stål, samt umalte og overmalte sinkrike malingbelegg på stål. Framdriftsrapport nr. 4. Lillestrøm (NILU OR 16/81).
- Haagenrud, S.E., Anda, O. og Henriksen, J.F. (1983) Atmospheric corrosion testing of metallized and/or painted carbon steel. I: 9th Scand. Corr. Congr. Proceedings. Copenhagen, s. 229-242.
- Haagenrud, S.E., Henriksen, J.F. og Gram, F. (1984) Basisundersøkelse av luftkvaliteten i Sarpsborg og Fredrikstad 1981-1983. Delrapport B: Korrosjon og miljø. Lillestrøm (NILU OR 28/84).
- Haagenrud, S.E., Henriksen, J.F. og Svennerstedt, B. (1985) Våttidsmålinger på treplater. Prøvestudie med NILU WET CORR-metoden. Lillestrøm (NILU OR 17/85).
- Haagenrud, S.E., Henriksen, J.F., Anda, O. og Rode, A. (1985) Akselerert prøving av malte og umalte sink- og aluminiumsbelegg på stål i salt-tåke og SO₂-holdig industriatmosfære. Lillestrøm (NILU OR 25/85).
- Haagenrud, S.E., Henriksen, J.F. og Gram, F. (1986) Basisundersøkelse av luftkvaliteten i Bergen 1983-1984. Delrapport B: Korrosjon og miljø. Lillestrøm. Under arbeid.
- Jansson, J. og Sjøstrøm, C.H. (1979) Fabrikslackerad plåt - åldrande og provingsmetoder. Gävle, Statens Institut för Byggnadsforskning (SIB meddelande M 79: 10).
- Johansson, E. (1985) Korttidsmetoder for atmosfærisk korrosjonsprøving. Litteraturstudie. Stockholm, Korrosionsinstitutet.

- Johansson, L-G. (1985) A laboratory study of the influence of NO₂ and SO₂ on the atmospheric corrosion of steel, copper, zinc and aluminium. I: Electroch. Soc. Symp. Las Vegas Oct.
- Martin, J.W. (1985) Service life prediction from accelerated aging test results using reliability theory and life testing analysis. I: Problems in service life prediction of building and construction materials. By Larry W. Masters. Boston, Dordrecht, s. 191-211.
- McKnight, M.E., Martin, J.W. og Masters, L.W. (1985) Predicting service life of protection coatings using reliability theory. J.Prot.Coat.Lin., 2, no. 7.
- Spence, J.W. og Haynie, F.H. (1972) Paint technology and air pollution. A survey and economic assessment. Research Triangle Park, Environmental Protection Agency (AP-103).

BILAG 1

Sammenheng korrosjon og miljø

SAMMENHENG KORROSJON OG MILJØ

Atmosfærisk korrosjon utgjør mer enn 50% av de totale korrosjonskostnadene for samfunnet. Siden svovelforurensningene har stor betydning for atmosfærens korrosivitet har økningen av disse i mange deler av verden i de siste årtider økt den atmosfæriske korrosjonen.

Kjennskap til atmosfærens korrosivitet kan gjøre det lettere å velge hensiktsmessig materiale, overflatebeskyttelse og vedlikeholdstiltak. Å redusere utslippene ville være en annen måte å redusere korrosiviteten på.

Utviklingen av dose/respons funksjoner (D/R) er et nøkkelpunkt i arbeidet med å bekjempe korrosjonen. For å utvikle slike funksjoner er det nødvendig med feltstudier. En rekke slike nasjonale og internasjonale forskningsprogrammer er derfor etablert, og det er for tiden betraktelig erfaring innen feltet atmosfærisk korrosjon av metaller. I noen land har man på dette grunnlag etablert standarder eller "code of practice" som inkluderer klassifiseringssystem for atmosfærens korrosivitet.

VIKTIGE PARAMETRE I KORROSJONSSAMMENHENG

Den atmosfæriske korrosjonen avhenger av tre faktorer, materiale, beskyttelsen og de atmosfæriske klima- og forurensningsvariable. Ved siden av forurensningsnivå er det mange variable som kan influere på den endelige korrosjonshastigheten. Dette inkluderer relativ fuktighet, nedbør, temperatur, vindforhold og lokal topografi, i tillegg til de fysiske karakteristika av det eksponerte materialet, slik som form og varmekapasitet.

Klimafaktorer

Den atmosfæriske korrosjonen er en elektrokjemisk prosess som derfor krever en fuktighetsfilm. I praksis resulterer dette i en diskontinuerlig prosess, hvor korrosjonen kun skjer den tiden det er en fuktfilm på overflaten. Denne tiden blir ofte kalt våttiden (TOW - time of wetness). Beregning eller måling av TOW er nødvendig for å kunne anslå korrosiviteten. TOW er her definert som den tiden den relative fuktighet er over 80% og temperaturen samtidig over 0°C. Den virkelige våttiden på en overflate avhenger også av korrosjonsproduktene og forurensningene som er tilstede på overflaten. Det er derfor et stort behov for en målemetode som kan måle våttiden direkte. NILU har utviklet en slik metode, NILU-WETCORR (Haagenrud et al., 1985).

Nedbør kan innvirke på korrosjonsforløpet på flere måter, alt etter intensitet, varighet og forurensningsgrad. Regnets fuktighetsegenskaper øker korrosjonen. Det samme gjør nedbørens surhetsgrad som også kan bidra til å fjerne beskyttende oksidhinne og dermed øke korrosjonen ytterligere. Uforurenset regn, særlig i store mengder, kan vaske av forurensninger på overflaten og således dempe korrosjonen.

Vind kan også ha en blandet effekt på korrosjonshastigheten. Tørkeeffekten på overflaten gir en synkende korrosjonshastighet. Vinden kan også øke tilførselen av luftforurensning og sjøsalt og dermed bidra til høyere korrosjonshastighet.

Temperaturen er i mange undersøkelser funnet å være signifikant korrelert med korrosjonshastigheten. På den annen side kan høy temperatur også tørke overflaten, og på den måten senke den totale korrosjonshastighet.

For organiske overflatebelegg er det også kjent at UV-stråling bryter ned bindingene i den organiske filmen og derved ødelegger den. UV-strålingen virker noe forskjellig på ulike typer av belegg. Målemetodene for UV er imidlertid kostbare (Sjöström, 1979). Det er derfor stor mangel på gode data for UV-nedbrytningsfenomenet for de ulike organiske belegg.

Svovelforurensninger

Svoveldioksid (SO_2) er i korrosjonssammenheng den viktigste svovelkomponent som slippes ut i atmosfæren. Effekten av denne på materialnedbrytning er demonstrert i en rekke felt- og laboratorieundersøkelser. Svovelholdige gasser og aerosoler akkumulerer på den eksponerte overflaten både ved tørr- og våtdeponering.

Mange undersøkelser har vist at H_2S , i de konsentrasjoner den forekommer i atmosfæren ($<1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), bare fører til små korrosjonsproblemer. Innendørs er imidlertid H_2S en viktig korrosjonsstimulator ovenfor elektrisk utstyr og kontaktmaterialer.

Innvirkning av andre forurensninger

Ikke-svovelholdige forurensninger i atmosfæren inkluderer nitrogenoksider, partikler, klorider, ozon og ulike forurensninger i regn. Det er imidlertid lite kvantitativt arbeid som er gjort for å bestemme effekten av disse forurensningene.

Undersøkelser har vist at NO_x er av begrenset betydning for utendørs korrosjon av vanlige materialer. Derimot er den av spesiell interesse for korrosjonen av elektriske kontaktmaterialer, spesielt i kombinasjon med andre forurensninger (Johansson 1985).

Det er tre hovedtyper av atmosfæriske kloridforurensninger, nemlig sjøsalt, veisalt og HCl -gass. Hovedkildene for HCl omfatter kjemiske fabrikker, avfallsforbrenningsanlegg og forbrenning av kloridholdig kull. Små sjøsaltpartikler kan transporteres innover land i meget store avstander, men generelt er hovedkorrosjonseffekten fra sjøsalt begrenset til noen hundre meter inn fra stranden. Klorid øker korrosjonen ved dannelsen av en elektrolytt på overflaten ved lave relative fuktigheter (50-60% RH), hvilket effektivt øker den reelle våttiden. Også HCl vil øke TOW på lignende måte. Det lave pH-nivå i fuktfilmen vil også øke korrosjonshastigheten.

Effekten av ozon, hydrokarboner og CO er studert i noen få undersøkelser. Direkte korrosiv effekt av ozon på malinger, elastomerer og plaster er vel kjent (Spence, Haynie, 1972).

KLASSIFISERING AV KORROSJONSMILJØ I FØLGE ISO/TC 156/WG4

Som det fremgår ovenfor har det lenge vært kjent at den atmosfæriske korrosjonen hos metaller påvirkes sterkt av omgivende miljø. For de vanligste bruksmetallene, stål, sink, kopper og aluminium, har vi også relativt bra kjennskap til dose/effekt-sammenhenger. (Haagenrud et al., 1984). For en rekke kombinasjoner av andre materialer (inklusive beskyttende belegg som maling) og miljø er dose/effekt-sammenhengene relativt dårlig kjent.

Som en hjelp ved valg av prøvemetoder og materialer og korrosjonsbeskyttelse i praksis er det behov for å karakterisere og klassifisere korrosjonsmiljøet. Erfaringene om sammenhengen mellom korrosjon og miljø har gitt oss denne muligheten. I det følgende vil vi beskrive et slikt system utviklet innenfor ISO/TC-156 "Corrosion of metals"/ WG4 "Classification of atmospheres with respect to corrosivity", og også vise et eksempel på hvorledes deler av denne standarden er forsøkt innpasset i en norsk standard for malingbeskyttelse av stålkonstruksjoner.

Klassifisering av korrosjonsmiljøet etter denne metoden kan i prinsippet skje på to måter; enten ved at de korrosjonsbestemmende parametrene, fuktighet og forurensninger, bestemmes for det omgivende miljø, eller gjennom at korrosjonshastigheten bestemmes for det aktuelle materiale i det gjeldende mikromiljø. Begge metodene er benyttet i klassifiseringen av NILUs feltstasjoner.

Klassifisering av de miljøvariable våttid, SO₂ og klorid

Våttid

Den nødvendige fuktigheten på overflaten fremkommer på mange ulike måter, ved dugg, regn, smelting av is og høy luftfuktighet. Våttiden kan enten beregnes fra meteorologiske data som den tiden den relative fuktigheten er

større enn 80% og temperaturen over 0°C, eller den kan direkte måles i mikromiljø (Haagenrud et al., 1985).

Det foreslåtte klassifiseringssystemet for våttid innenfor ISO/TC-156/WG4 er vist i tabell 1.

Tabell 1: Klassifisering av våttid på korroderende metallflater.

Kategori	Våttid		Praktiske eksempler
	Timer pr år	% pr år	
τ_1	<10	<0.1	Innendørs luft med klimakontroll.
τ_2	10-250	0.1-3	Innendørs luft uten klimakontroll, unntatt innendørs ikke-luftkondisjonerte rom i våte regioner.
τ_3	250-2500	3-30	Utendørs atmosfære i tørre eller meget kalde regioner, og sikkert ventilerte overbygninger i tempererte soner.
τ_4	2500-5500	30-60	Utendørs atmosfære i alle klimasoner unntatt den tørre tropiske og ekstremt kalde soner.
τ_5	>5500	>60	Svært fuktige regioner og ikke-ventilerte overbygninger under fuktige forhold.

SO₂
--2

Tabell 2: Klassifisering av SO₂.

Kategori	Deponeringshastighet mg/m ² pr døgn	Konentrasjon µg/m ³
P ₀	≤10	≤12
P ₁	>10-35	>12-40
P ₂	>35-80	>40-90
P ₃	>80-200	>90-250

Ved bruk av denne standarden benyttes den årlige middelveiden for SO₂-nivået. Korttidsmålingene kan skille seg vesentlig fra langtidsmidlene.

Klorid

Hovedkilden for kloridforurensninger kommer fra sjøsalttransport innover land.

Tabell 3: Klassifisering av klorid.

Kategori	Cl-deposisjonshastighet mg/m ² pr døgn
S ₀	≤3
S ₁	>3-60
S ₂	>60-300
S ₃	>300-900

Denne klassifiseringen baserer seg på måling av klorid ved hjelp av den såkalte "wet candle"-metoden. Det finnes flere andre målemetoder, f.eks. NILUs aerosolfelle. Disse vil ikke gi helt sammenlignbare verdier.

Bestemmelse av korrosjonskategorier utfra miljødata

Korrosjonskategoriene bestemmes i henhold til de fastlagte våttids- og forurensningsklassene. De resulterende korrosjonskategoriene er vist i tabell 4. Korrosjonskategoriene er kvalitativt beskrevet i tabell 5.

Når vi har fastlagt de ulike kategoriene av de nevnte variable går vi inn i tabellen og bestemmer resulterende korrosjonskategori. Resulterende korrosjonshastighet for det første årets korrosjon av det aktuelle materialet finnes ut fra korrosjonskategoriene i tabell 4.

Tabell 4: Atmosfæriske korrosjonskategorier som funksjon av klasser av våttid (TOW), SO₂ (T) og klorid (S).

Ulegert stål:

	τ ₁			τ ₂			τ ₃			τ ₄			τ ₅		
	S ₀ -S ₁	S ₂	S ₃	S ₀ -S ₁	S ₂	S ₃	S ₀ -S ₁	S ₂	S ₃	S ₀ -S ₁	S ₂	S ₃	S ₀ -S ₁	S ₂	S ₃
P ₀ -P ₁	1	1	1-2	1	2	3-4	2-3	3-4	4	3	4	5	4	5	5
P ₂	1	1	1-2	1-2	3-4	3-4	3-4	3-4	4-5	4	4	5	5	5	5
P ₃	1-2	1-2	2	2	3	4	4	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Zink - kopper:															
P ₀ -P ₁	1	1	1	1	1-2	3	3	3	3-4	3	4	5	4	5	5
P ₂	1	1	1-2	1-2	2	3	3	3-4	4	3-4	4	5	5	5	5
P ₃	1	1-2	2	2	3	3-4	3	3-4	4	4-5	5	5	5	5	5
Aluminium:															
P ₀ -P ₁	1	2	2	1	2-3	4	3	3-4	4	3-4	3-4	5	4-5	5	5
P ₂	1	2	2-3	1-2	3-4	4	3	4	4-5	3-4	4	5	4-5	5	5
P ₃	1	2-3	3	3-4	4	4	3-4	4-5	5	4-5	5	5	5	5	5

KORROSJONSKATEGORIER

Atmosfærens korrosivitet er også klassifisert i fem kategorier som vist i tabell 5.

For hver av disse korrosivitetskategoriene er det angitt motsvarende veiledende korrosjonshastigheter for de fire vanligste konstruksjonsmaterialene stål, sink, kopper og aluminium for første årets korrosjonshastighet.

Tabell 5: Første års korrosjonshastigheter for ulike korrosjonskategorier.

Korrosjons- kategori		Korrosjonshastighet				
		Stål	Sink	Kopper	Aluminium	Korrosivitet
1.	g/m ² /år µm/år	1-10 0.15-1.25	<0.7 <0.1	<0.9 <0.1	Ubetydelig "	Meget lav
2.	g/m ² /år µm/år	10-200 1.25-25	0.7-5 0.1-0.7	0.9-5 0.1-0.6	<0.6 <0.25	Lav
3.	g/m ² /år µm/år	200-400 25-50	5-15 0.7-2	5-12 0.6-1.3	0.6 -2 0.25-0.8	Middels
4.	g/m ² /år µm/år	400-650 50-80	15-30 2-4.2	12-25 1.3-2.8	2-5 0.8-2	Høy
5.	g/m ² /år µm/år	>650 >80	>30 >4.2	>25 >2.8	>5 >2	Meget høy

Ut fra det ovenfor beskrevne systemet ser vi at korrosjonskategorien kan bestemmes enten fra miljødata som ovenfor, eller rett og slett ved ett års målinger av korrosjonshastigheten av standardmetallene og sammenligning med tabell 5. Begge metodene er benyttet til å bestemme korrosjonskategorien i mikromiljø på NILUs feltstasjoner.

NORSK STANDARD NS 5415 "KORROSJONSHINDRENDE MALINGSYSTEMER FOR STÅL-KONSTRUKSJONER"

Klassifiseringssystem som beskrevet ovenfor kan benyttes som grunnlag for å velge egnede maling- eller beskyttelsessystemer. I NS 5415 "Korrosjonshindrende malingsystemer for stålkonstruksjoner" har man forsøkt å tillempe denne filosofien.

I NS 5415 grupperer man først miljøet i korrosjonsklasser ved hjelp av miljøbeskrivelser og/eller angivelse av første års korrosjonshastigheter for ulegert stål. Dernest lister man en rekke ulike malingsystemer tilpasset de forskjellige korrosjonsklasser og holdbarhetsklasser basert på systemets korrosjonshindrende egenskaper. For hver korrosjonsklasse har man inndelt malingsystemene i to holdbarhetsklasser. Klasse 1 har krav til særlig god holdbarhet, mens klasse 2 har normalt god holdbarhet. Prøvemethoder og

kravene til korrosjonshindrende egenskaper ved testing av det valgte malingsystem er også angitt. To av de standardiserte malingsystemene (alkyd og klorkautsjuk) er med i den foreliggende undersøkelsen.

BILAG 2**TABELLER**

FORKLARING TIL TABELL 1

Tabellen angir tykkelser av de metalliske beleggene i μm målt med elco-meter-instrument på NILU. Opprinnelig verdi (= Utg. verdi) er hentet fra tabell 2. x-verdiene er målinger etter 3 1/2 års eksponering ved hjelp av en kjemisk oppløsningsmetode. Alle andre målinger er middelvei av minst 6 målinger. Tallene forekommer parvis da to prøveplater (paralleller) er målt i de fleste tilfeller.

F = forside (i parentes målinger fra nedre kant).

B = bakside (i parentes målinger fra nedre kant).

ØK = øvre kant.

1 = for mye skitt.

2 = for mye oksid.

3 = mangler plater.

Tabell 1: Tykkelsesmåling. Metalliserte belegg.

	A1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Utg. verdi 56 x = etter 3 1/2 år	Utg. verdi 93 x = etter 3 1/2 år	Utg. verdi 192 x = etter 3 1/2 år	Utg. verdi 102 x = etter 3 1/2 år	Utg. verdi 137 x = etter 3 1/2 år	Utg. verdi 264 x = etter 3 1/2 år	Utg. verdi 128 x = etter 3 1/2 år	Utg. verdi 164 x = etter 3 1/2 år	Utg. verdi 36 x = etter 3 1/2 år
	x = 51 F = 53-48 (47-43) Ø = 55-55 (50-52)	x = 77 F = 105-99 (52-55) Ø = 102-99 (58-54)	x = 176 F = 181-173 (175-171) Ø = 195-183 (192-174)	x = 90 F = 72-90 (33-38) Ø = 77-88 (43-30)	x = 116 F = 119-125 (73-82) Ø = 178-187 (99-117)	x = 223 F = 240-240 (186-215) Ø = 244-262	x = 132 F = 198-191 (ØK: 155-155) Ø = 270-221 (ØK: 188-157)	x = 177 F = 200-204 Ø = 298-267	x = 34 F = 27-31 1
T	x = 59	x = 95	x = 186	x = 90	x = 132	x = 218	x = 86	x = 193	x = 32
A	F = 77-76	F = 96-88	F = 187-189	F = 85-89 (ØK: 35-39)	F = 153-172	F = 296-288	F = 239-210 (170-191)	F = 245-216	F = 37-34 1
M	(73-71)	Ø = 101-102	Ø = 192-199				Ø = 213-190 (188-149)	Ø = 276-225	
(FO-10)	2								
FO	x = 54 F = 65-70 (66-75) Ø = 64-71 (71-72)	x = 89 F = 108-93 Ø = 109-102	x = 186 F = 190-186 Ø = 200-197	x = 91 F = 95-85 (ØK: 144-45)	x = 145 F = 197-204	x = 220 F = 263-261	x = 110 F = 235-187 Ø = 198-218	x = 219 F = 187-245 Ø = 273-258	x = 35 F = 26-25 1
TA	x = 63 F = 73-69 (62-60) Ø = 62-65 (58-62)	x = 98 F = 113-89 Ø = 112-88	x = 192 F = 184-188 Ø = 189-183	x = 91 F = 93-92 Ø = 96-94	x = 121 F = 190-182 Ø = 188-187	x = 219 F = 289-299 Ø = 263-292	x = 118 F = 234-258 (237-232) Ø = 185-211	x = 189 F = 258-259 (237-232) Ø = 321-323	x = 35 F = 27-29 Ø = 26-26
BI	x = 65 F = 61-59 (58-60) Ø = 68-62 (59-60)	x = 88 F = 106-94 (63-37) Ø = 110-99 (59-45)	x = 178 F = 197-179 (189-187) Ø = 193-186	x = 80 F = 79-95 (34-45) Ø = 78-90 (36-47)	x = 143 F = 143-139 (132-137) Ø = 176-150	x = 232 F = 301-293 Ø = 290-292	x = 161 F = 274-266 Ø = 312-263	x = 203 F = 191-210 Ø = 227-193	x = 35 F = 27-25 Ø = 25-26
C	x = 58 F = 57-57	x = 86 F = 103-98 (63-57)	x = 185 F = 185-183 Ø = 182-183	x = 85 F = 81-92 (35-38) Ø = 79-72 (35-42)	x = 109	x = 244 F = 261 (225) Ø = 284 (235)	x = 133	x = 194	x = 35
H	(57-55)	Ø = 113-101 (64-76)							
I	Ø = 62-62 (62-62)				3		3	3	3

FORKLARING TIL TABELL 2a OG 2b, LABORATORIE-EVALUERING

Kolonne 2 angir tilstanden på testplatens overflate i området upåvirket av riss. Det er anvendt blant annet ASTMs standard for malingblærers størrelse og tetthet gradert 2-4-6-8 (ASTM D714). 2 representerer de store blærer og 8 de små. Dessuten har en introdusert graden 9 for blærer som er så små at de best sees med lupe. Ved hjelp av bokstavene F (få), M (middel), MD (middels tett og D (tett) angis tettheten av blærene. Alt er referert til standard fotografier. Foruten dette har en benyttet følgende forkortelser og symboler:

- N : Ingen blærer.
- R : Rustflekker.
- b : Relativt små blærer eller andre blæredannelser som vanskelig lar seg beskrive av ASTM-standard.
- dH : Dårlig heft. Malingen løsner fra underlaget.
Det er her ikke medregnet flaking fra riss, kanter eller skader.
- m : Missfarging.
- () : En parentes vil bety at symbolet er befengt med noe tvil, eller at det behøver en nærmere forklaring.
- k : Krakkelering.
- OBS : Kolonne 2 bør leses i sammenheng med kolonne 4 og 6.

Kolonne 3 benytter de samme symboler som kolonne 2. Det kan være vanskelig å benytte ASTM-standardene nær risset fordi blærene ofte berører selve risskanten og således mister sin form. Det kan også være problematisk å skille mellom egentlige blærer og ujevn underrusting fra risset.

Kolonne 4 angir hvor mange mm fra nærmeste rissekant (maksimumverdi) malingen er skadet (underrustet, avflaket o.l.).

A står her for avflaking og R for underrusting, begge som forklaring på skaden i risset.

- gr : gammelt (opprinnelig) riss.
- nr : nytt (påført in situ) riss.

Kolonne 5 gir informasjon om utbredelsen og graden av rusting i risset, med følgende symboler:



(lite)

Ubetydelig korrosjon. Gir seg gjerne utslag i et lyst og løst brunlig pulveraktig støv som dekker rissebunnen mer eller mindre.



(hele rissearealet)



Fast rust med vanlig brun farge, men relativt tynt lag, ikke "kakeaktig".



Kraftig rustangrep som gir tykke rustlag, gjerne i kaker. Det kan være stor gradforskjell innen denne kategori.

En må ellers bemerke til vurderingen av rustangrepet i risset at kvaliteten på selve rissingen er sterkt variabel. Det er ganske klart at i flere tilfeller har rissingen ikke nådd helt ned til ståloverflaten, og i andre tilfeller bare delvis. Dette umuliggjør et helt ut rettferdig utsagn om rustangrepet i risset. En har likevel valgt å betrakte risset som om det var helt gjennomrisset med de usikkerheter dette medfører.

Kolonne 6 gir skadegrad basert på en totalvurdering gradert fra 0 til 4. Standardene er vist i figur 1 i hovedrapporten. Skadegradstallet skal gi en totalvurdering av metall- eller malingbelegget.

Merknader: Denne kolonnen gir supplerende opplysninger til de øvrige kolonner. Tallene angir hvilke kolonner det refereres til.

Tabell 2a: Evaluering etter 8 1/2-års felteksponeering.
 Stasjon: TAN(ANGER) Toppstrøkttype: VINYL

1	2	3	4	5	6	Merknader (m/ref. til kolonne)
System nr.	Tilstand utenfor riss	Tilstanden ved riss			Skade- grad (TOTALT)	
		Blærer (ASTM st.)	Skadeut- bredelse (mm)	Rust i riss		
14	defekt	-	-	0	4	2: Gjennomslag og fjerning av halve malingsbelegget.
15	N	N	>20A	0	3	2: Avflaking i kanter, særlig nedre kant.
21	b	N	0	0	4	2: m, særlig rundt kantene. Mye blærer, særlig under riss. Full av Zn-oksider. Systemet yter nok fremdeles god beskyttelse.
22	4F/M	b	3b	0	2.5-3	Blærene er spesielt høye på forsiden og konsentrert i nedre kant.
28	(N)	N	5m	0	1.5	2: m på B., men også noe på F. Sprøytetoppene har ofte gjennomslag av oksid.
29	defekt	-	-	0	4	Malingen nesten fjernet av oksidgjennomslag. Noe plater har rusting og avflaking.
29 II [*]	nesten defekt	-	-	0	4	Oksiden fjerner malingen etter hvert som blærene får gjennomslag. Ennå en del defekt maling igjen.
37	R	N	5R		3.5-4	2: R, særlig i øvre og nedre kant.
38	N	b	2-3b		1.5-2	Lett rust i kanter og skader.
38 II [*]	7F/M	b	2b		2.5	Ruster lett i skader og kanter.
44	N	N	0		1	Muligens rustgjennomslag i nedre kant.
45	N	Litt b	1-7R		1.5-2	Ruster i skader og kanter.
51	defekt	-	-		4	2: Malingskiktet performert av rust.
52	N	b	5 ^R _b		2-2.5	Blærer og rust rundt kantene.
57	N	b	7-8 ^R _b		3	Malingen gjennomrustet rundt riss og særlig kanter.

Kommentarer: Noe krittning var vanlig.

*) Disse er eksponert i 7 1/2 år.

Tabell 2b: Evaluering etter 8 1/2-års felteksponering.
 Stasjon: BORREGAARD Topptrøkteype: VINYL

1	2	3	4	5	6	
System nr.	Tilstand utenfor riss	Tilstanden ved riss			Skade-grad (TOTALT)	Merknader (m/ref. til kolonne)
		Blærer (ASTM st.)	Skadeutbredelse (mm)	Rust i riss		
14	N	0	5A		1.5-2	2: Flaker litt av langs kantene sær- nedre kant. Virker noe sprø. Nuppet overflate. Kanskje tvil som på toppene.
15	N	0	4-12A		1.5-2	2: Flaker litt av langs nedre kant. Nuppet overflate. Kanskje tvil som på toppene. Virker noe sprø.
21	N	0	gr 0 nr <1A		1.5-2	2: Tendens til krakkelering under riss.
22	N	0	gr <1A nr 2A	gr nr	1.5	
28	(N)	0	0	gr 0 nr	0.5	
29	(N)	Q k	Q 6	0	2-2.5	2: Krakkelering nedre kant også på bakside, dog mindre. 4: Krakkeleringsutbredelse kan være enda større på baksiden.
29 I [*]	(N)				2-2.5	Som 29.
37	RN nedenfor riss	0	1-2R		2	
38	N	0	1-2R		1.5	2: Sprø og blir lett rustflekker i skader og langs kantene.
38 I [*]	N	0	1b		1.5-2	2: Sprø. Rustflekker i skader og i kantene. Nupper på baksiden hvor faktisk den røde primer og rust kan komme til syne.
44	N	0	1R		1.5	Sprø og ruster lett i skader og kanter.
45	N	0	1-2R		1.5	
51	(R)	0	2R		2.5-3	2: R særlig i øvre og nedre kant.
52	N	0	2R		1.5	
57	N	0	3-4R		1.5	

Kommentarer: Middels krittning på forsiden på alle.
 Riflet kant rundt riss er vanlig.
 *) Eksponeringstid: 7 1/2 år

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING (NILU)
 NORWEGIAN INSTITUTE FOR AIR RESEARCH
 POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM (ELVEGT. 52), NORGE

RAPPORTTYPE Oppdragsrapport	RAPPORTNR. OR 29/86	ISBN-82-7247-697-5	
DATO Mars 1986	ANSV. SIGN. <i>J. Schislerdager</i>	ANT. SIDER 64	PRIS kr 50,00
TITTEL Atmosfærisk korrosjonsprøving av umalte og malte sink- og aluminiumbelegg på stål, samt umalte og overmalte sinkrike malingbelegg på stål. Sluttrapport for 8 1/2 års felteksponering.		PROSJEKTLEDER S.E. Haagenrud	
		NILU PROSJEKT NR. 0-7545	
FORFATTER(E) S.E. Haagenrud J.F. Henriksen O. Anda		TILGJENGELIGHET* A	
		OPPDRAGSGIVERS REF.	
OPPDRAGSGIVER (NAVN OG ADRESSE) 13 produsenter + 5 brukere av korrosjonsbeskyttelse + NTNf			
3 STIKKORD (å maks. 20 anslag) Feltprøving Metallisering Maling			
REFERAT (maks. 300 anslag, 7 linjer) Utprøving av 58 ulike metalliserte-, metalliserte og malte-, og malte belegg på stål har foregått i 8 1/2 år (siden desember 1976) på 6 feltprøvestasjoner. Her foreligger sluttrapport som gir informasjon om beleggenes holdbarhet i de ulike miljøer. Det er også tatt med en del om sammenhengen korrosjon - miljø generelt, samt en del om klassifisering av korrosjonsmiljøer.			

TITLE Atmospheric Corrosion Testing of metallized, metallized and painted, and painted steel.
ABSTRACT (max. 300 characters, 7 lines) This report gives the results from 8 1/2 years of exposure of 58 different systems of metallized, metallized and painted, and painted steel on 6 test sites in different types of atmosphere, the relationship between corrosion and the environment on these sites, and the international standardization work on classification of the atmospheric corrosivity.

*Kategorier: Åpen - kan bestilles fra NILU A
 Må bestilles gjennom oppdragsgiver B
 Kan ikke utleveres C