

NILU OR : 63/91
REFERANSE : O-8674
DATO : SEPTEMBER 1991
ISBN : 82-425-0298-6

Atmosfærisk korrosjons- prøving av metall- og malingbeleggsystemer under ulike miljøforhold

Rapport etter 14 1/2 års eksponering

O. Anda

INNHOOLD

	Side
SAMMENDRAG	2
1 INNLEDNING	5
2 STASJONENE	6
3 PRØVEPROGRAM OG EVALUERINGSMETODIKK	7
3.1 Beskrivelse av beskyttelsessystemer for utprøving	7
3.2 Evaluering	10
4 RESULTATER FRA EVALUERINGEN SOMMEREN 1985	11
4.1 Metalliserte belegg	13
4.2 Malte belegg	15
4.2.1 Serie B (overmalte sink- og aluminiumbelegg	16
4.2.2 Serie D (overmaling av Zn-rike malinger på stål)	18
4.2.3 Serie E (referansesystemer)	19
5 OPPSUMMERING FOR DE MALTE BELEGGENE	19
6 VIDEREFØRING	22
7 REFERANSER	22
VEDLEGG A	23

SAMMENDRAG

I desember 1976 startet eksponeringsprogrammet i prosjektet: "Atmosfærisk korrosjonsprøving av umalte og malte sink- og aluminiumbelegg på stål, samt umalte og overmalte sinkrike malingbelegg". Dette prosjektet ble formelt avsluttet sommeren 1985 med en samler rapport etter 8 1/2 års eksponering (Haagenrud et al., 1986). Hovedformålet med prosjektet var å skaffe grunnlag for valg av optimale beskyttelsessystemer - teknisk, økonomisk og miljømessig - under ulike miljøforhold. Prosjektet har mottatt økonomisk bidrag av både produsenter og brukere.

De malingsystemer som ble utprøvd var basert på alkyd, KK (klor-kautsjuk), vinyl, og polyuretan. Ulike underlagsmalinger av Zn-silikater og diverse primere var også med i eksponeringsprogrammet.

Da det etter 8 1/2 år fremdeles var mange av de eksponerte prøvene som var lite nedbrutt, ble det av noen av interessentene ytret ønske om å fortsette eksponeringen.

En fortsatte derfor eksponeringen, men med følgende reduksjoner i programmet:

1. En beholdt 2 serier av de metalliserte belegg på alle feltstasjonene, dvs. Borregaard (sur industriatmosfære), Tananger (sjøsprøyt), Tangen (sementindustri), Birkenes (bakgrunnsstasjon, periodisk påvirket av langtransportert sur nedbør) og Bergen (CMI, kystbyklima). Tangen måtte imidlertid avvikles våren 1989, da lokaliteten skulle utbygges til andre formål.
2. Bare ett sett av de beste malingsystemene ble eksponert videre på kun to stasjoner: Borregaard og Tananger. Med de beste systemene menes her de som syntes mest upåvirket.

Denne rapporten omfatter evaluering av de i punkt 1 og 2 ovenfornevnte prøver etter 14 1/2 års eksponering (for Tangen

12 1/2 års eksponering). En av de to seriene av metalliserte belegg ble tatt inn, og er således evaluert i laboratoriet. De malte beleggene er evaluert i felt sommeren 1991.

Metalliserte belegg

- Bortsett fra A1, A2 og A4 på Borregaard, har de metalliserte beleggene stort sett greid seg meget bra etter 14 1/2 års eksponering på alle stasjoner, og beskytter fortsatt underliggende metall.
A1 og A2 gjelder varmforsinking på uttettet stål, og A4 er varmforsinket på tettstet stål ved 560°C.
Det ser altså ut som varmforsinking holder noe bedre på tettstet enn uttettet stål i sure miljøer.
- Stort sett gir flammesprøytet sink og lysbuesprøytet aluminium bedre resultat på uttettet stål enn varmforsinking.
- Flammesprøyting av Zn på stål har gitt bedre resultater enn varmforsinking, og synes til nå å være på høyde med aluminiumbelegging.
- Ingen kvalitetsforskjell på lysbuesprøytet og flammesprøytet aluminium kunne konstateres.
- Varmaluminisering (A9) gir også fortsatt meget god beskyttelse til tross for en tykkelse på bare rundt 25 µm. På Tangen var det imidlertid kommet noe rustgjennomslag etter 12 1/2 år, og i noe mindre grad også i Bergen etter 14 1/2 år.
A9 ble tidlig i eksponeringsperioden tilsmusset, og fikk raskt et lite tiltalende utseende på de fleste stasjoner.

Malte belegg (gjelder bare stasjonene Borregaard og Tananger)

Serie B (metallbelegg som underlag for maling)

- Alkyd, både på flammesprøytet Zn og lysbuesprøytet Al (B17 og B24), har fungert godt både på Borregaard og Tananger. KK synes imidlertid å gå best på lysbuesprøytet Al.
- Resultatet av vinyl og polyuretan på flammesprøytet Zn synes å være sterkt miljøbetinget. Vinyl (B22) holder godt på Borregaard, men ikke på Tananger. For polyuretan (B23) er det motsatt.

Serie D (sinkrike silikatmalinger som underlag)

- Alkyd på Zn-etylsilikat (D33) holder godt på begge stasjoner. Ellers synes vannbasert Zn-alkalisilikat å være et heller dårlig underlag for alkyd (D40), men bra for vinyl.
- KK fungerer utmerket på vannbasert Zn-alkalisilikat på Borregaard (D41 og D42), men dårlig på Tananger. For polyuretan (D47) er det motsatt.

Serie E (primere som underlag)

- Med 3 strøk holder alle de testede malingene på Zn-rik epoxy shopprimer unntatt polyuretan på Borregaard. Ingen synes imidlertid å holde nær sjøsprøyt. Tilnærmet gjelder det samme med etsprimer som underlag.

Dersom en blant de malte beleggene skulle velge ut de systemer som til nå (etter 14 1/2 år har greid seg best totalt sett (surt og marint miljø sett under ett), får vi:

B17 (flammesprøytet Zn + 3 strøk alkyd), B25 (lysbuesprøytet Al + 1 strøk KK), og B30 (lysbuesprøytet Al + 3 strøk polyuretan), men noen systemer ligger tett opp til disse.

ATMOSFÆRISK KORROSJONSPRØVING AV METALL- OG MALINGBELEGGSYSTEMER UNDER ULIKE MILJØFORHOLD

(Rapport etter 14 1/2 års eksponering)

1 INNLEDNING

Rapporten omfatter resultatene av evaluering av malte og metallbelagte stålplater som har vært eksponert i ulike miljøer i 14 1/2 år. Eksponeringen er en videreføring av et prosjektet: "Atmosfærisk korrosjonsprøving av umalte og malte sink- og aluminiumbelegg på stål, samt umalte og overmalte sinkrike malingbelegg", og som ble startet desember 1976.

Hovedformålet med prosjektet var å skaffe grunnlag for valg av optimale beskyttelsessystemer - teknisk, økonomisk og miljømessig - under ulike miljøforhold.

Det foreligger 4 fremdriftsrapporter, og en samlerapport som kom i 1986 etter 8 1/2 års eksponering (se litteraturliste).

Både produsenter og brukere har støttet prosjektet økonomisk. Noen av disse ønsket at eksponeringen skulle fortsette utover 8 1/2 år. En valgte derfor å fortsette med de systemer som fremdeles var i god stand.

I de siste årene av den forlengede eksponering har 8 deltakere støttet prosjektet økonomisk. Disse har vært:

Hærens forsyningskommando (HFK)

Statskraftverkene (NVE)

Norzink

Metalliseringsverket, Olsen og Borge A/S

Monopol Hempel

Star Maling og Lakk

Waardal Kjemiske Fabrik

Vegdirektoratet

Utprøvningsstasjonene og beleggsystemene er inngående behandlet i de tidligere rapporter. For at rapporten skal kunne leses som en selvstendig rapport, er det nødvendig å repetere en del av prosjektets gang samt beskrive endringer underveis.

2 STASJONENE

Tabell 1: Oversikt over stasjonene med de endringer som har skjedd underveis. Korrosiviteten gir et bilde av miljøets aggresivitet på stål.

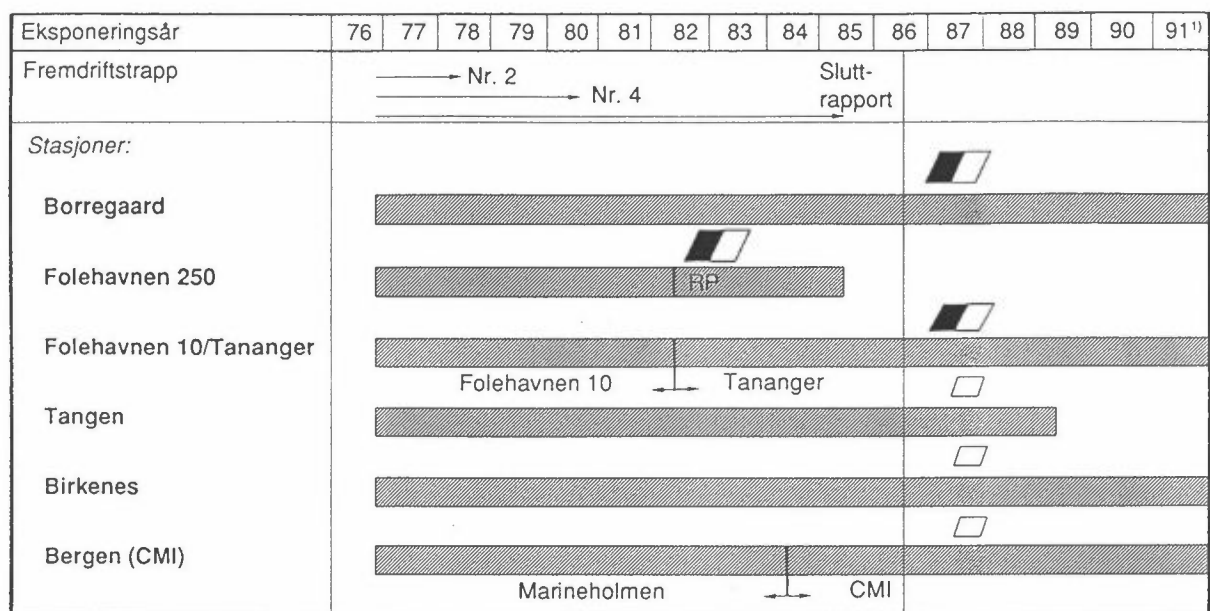
Stasjonsnummer	Stasjonsnavn	Miljøbeskrivelse	Korrosivitet (normale årsverdier i g/m ²)
I ¹⁾	Borregaard (Sarpsborg)	Sterkt sur, SO ₂ -forurenset industriatmosfære.	650-975
II ²⁾	Folehavnen 10 m (Sandefjord) Nedlagt 1982	Marin atmosfære med bølgesprøyt.	700
III	Folehavnen 250 m Nedlagt 1985	Marin atmosfære (250 m fra kysten).	400
II ¹⁾²⁾	Tananger 10 m (Etab. 1982)	Marin atmosfære med bølgesprøyt.	500-910
IV	Tangen (Brevik) Nedlagt våren 1989	Sterkt alkalisk forurenset industriatmosfære. (Sementindustri)	120-210
V ¹⁾	Birkenes (30 km nord for Kristiansand)	Landatmosfære. Mye nedbør. Bl.a. langtransportert sur nedbør.	180
VI ¹⁾	Marineholmen (Bergen) Flyttet til CMI ³⁾ 1984.	By, marinatmosfære. Lite industripåvirket.	260-635

1) Det er bare disse stasjonene som i dag har prøver fra prosjektet.

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

3) CMI står for Cristian Michelsens institutt. I dag er bygget overtatt av Bergen ingeniørhøyskole. Stasjonen er plassert på byggets tak.

Alle stasjoner i tabell 1 var opprinnelig med i prosjektet. I dag har vi bare eksponeringer på Borregaard, Birkenes, Tananger og Bergen (CMI). Figur 1 viser tidsmessige milepeler på stasjonene.



1) F.o.m. sommeren 1991 gjenstår bare en serie metalliske belegg på de gjenværende fire stasjoner. Dessuten finnes et utvalg av de beste malingsystemene på Borregaard og Tananger

→ Start redusert program (=RP)

Figur 1: Eksponeringsperiodene for de ulike stasjoner. Skravert og uskravert plate indikerer henholdsvis malings- og metalliserte belegg eksponert på stasjonene.

I "Sluttrapport 29/86" (side 10) er tidspunktene for nedleggelsen av Folehavnen uriktige. Den ytterste stasjonen (FO-10) ble nedlagt sommeren 1982. Prøveplatene ble samtidig flyttet til Tananger. FO-250 ble avviklet sommeren 1985.

3 PRØVEPROGRAM OG EVALUERINGSMETODIKK

3.1 BESKRIVELSE AV BESKYTTELSESSYSTEMER FOR UTPRØVING

De ulike beskyttelsessystemene som opprinnelig ble utprøvet var inndelt i fem serier, som til sammen omfatter 58 systemer. Dog

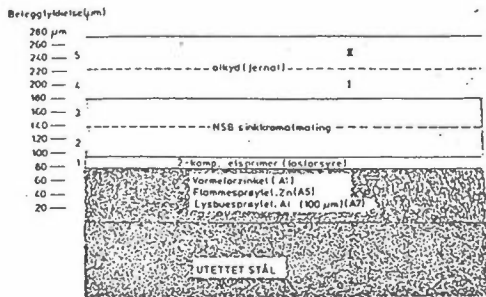
har en skilt ut det siste system og kalt dette F-58. Dette er gjort fordi den manglende underlagsbehandling for dette system er et unntak. Detaljert oppbygging av de ulike systemer/serier er vist i tabell 2. Opprinnelig var også epoxy-maling med blant systemene, men den måtte senere forkastes da malingen viste seg å være feilformulert.

Tabell 2: Beskyttelsessystemer som har vært utprøvd.

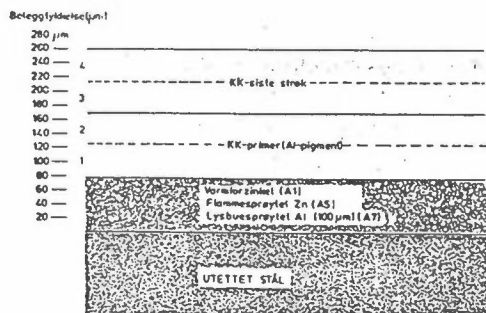
Serie	
A	Varmforsinket og flammesprøytet sink, lysbuesprøytet, flammesprøytet aluminium og varmaluminisert belegg (system A1-A9). 9 systemer.
B	Varmforsinket og flammesprøytet sink og lysbuesprøytet aluminium, belagt henholdsvis med alkyd, klorkautsjuk (KK) (1 og 3 strøk), vinyl (1 og 3 strøk, og polyuretan (system B10-B30). 18 systemer.
C	Sinkrike primere av typen uorganisk Zn-etylsilikat og uorganisk vannbasert Zn-alkaliesilikat (Na-Li) (system C31-C32). 2 systemer.
D	Overmaling av de sinkrike primere i serie C med de samme overmalingsystemer som i serie B, dvs. alkyd KK, etc. (system D33-D46). 12 systemer.
E	Referansesystemer på bart stål, herunder organisk sink-rik epoxy shopprimer med overmalingsystemene i serie B (system E47-E53), samt etsprimer (basisk sinkkromat- vinyl-bytyral) overmalt med henholdsvis alkyd, KK og vinyl (system E54-E57), og linoljebasert blymønje på forrustet prøve (system F58). 10 systemer.

Oppbygging av de ulike systemer er vist i figur 2. Alle systemene er for øvrig vist i vedlegg i tabell A1.

Underlaget for beleggsystemene er 15 cm x 10 cm stålplater. De har riss gjennom beleggene ned til bart stål. Risset er eksponert horisontalt som vist på f.eks. figur 4.

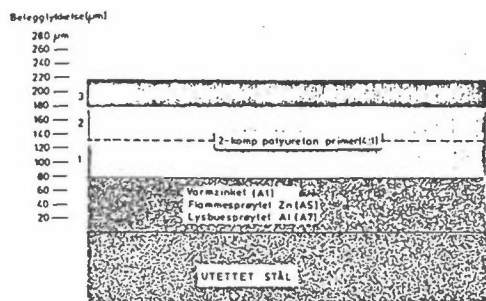


SYSTEM: Bort stål + (metallisert) + alkyd
B 10, B 17, B 24, E 54.



1 strek KK (B 11, B 18, B 25.) består av
sistestrek mating (40-50 µm)

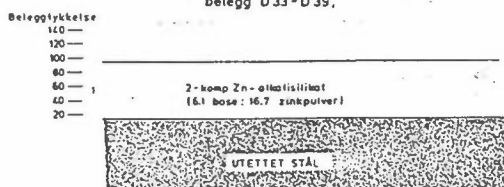
SYSTEM: Bort stål + (metallisert) + klorkautsjuk
B 12, B 19, B 26.



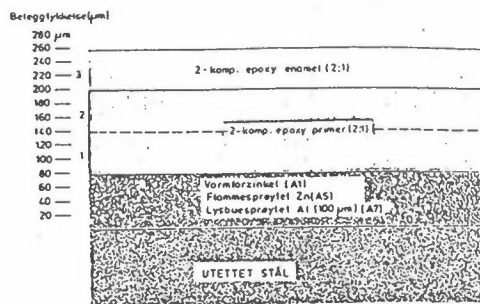
SYSTEM: Metallisert + Polyuretan
B 16, B 23, B 30.



SYSTEM: Zn-etylsilikat C 31
+ overmalingsystemer som for metalliserte
belegg D 33-D 39.

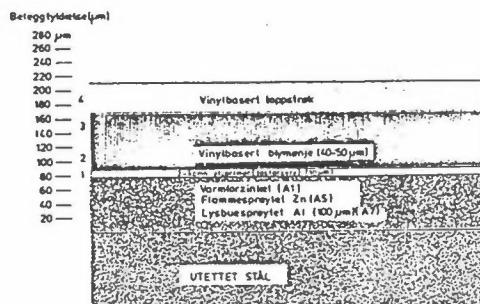


SYSTEM: Zn-alkaliesilikat C 32
+ overmalingsystemer som for metalliserte
belegg D 40-D 46



1977
e - etsprimer (10 µm) på metallisert belegg
f - fastlasering

SYSTEM: Bort stål + (metallisert) + epoxy
B 13, B 20, B 27, E 56.

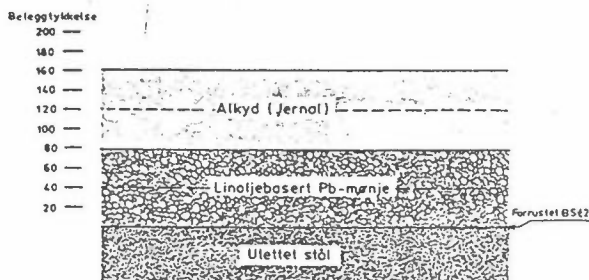


Alternativ B 14, B 21, B 28, med ett strek vinyl
innebærer lappstrøk 40-50 µm

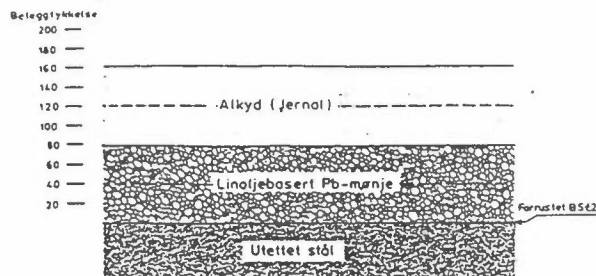
SYSTEM: Bort stål (metallisert) + vinyl
B 15, B 22, B 29, E 57.



SYSTEM: Zn-rik epoxy shopprimer
+ overmalingsystemene fra metalliserte belegg



SYSTEM: Linoljebasert Pb-mønje
på forrustede prøver, E 58.



System: Linoljebasert Pb-mønje basert på forrustede prøver, F 58.

Figur 2: Oppbygging av de ulike beleggssystemene.

3.2 EVALUERING

Opprinnelig hadde en tenkt å anvende internasjonale fotostandarder for rustgrad og blæring. 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, blæredannelse og avflaking. En egen skadegradskala for malingen ble utformet (Haagenrud og Anda, 1978). 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 malingbelegget få høyt skadegradstall ved avflaking på forsinket stål. Den underliggende sinken vil imidlertid beskytte stålet i lang tid fremover.

Tabell 3: Inndeling av skadegrad.

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

I figur 3 er det vist en veiledende norm for skadegrad. Det subjektive innslaget i vurdering av skadegrad kan være betydelig.

Figur 3: Skadegrad fra 1-4 er vist. Skadegrad 0 er en skadefri plate.

4 RESULTATER FRA EVALUERINGEN SOMMEREN 1991

Prosjektet ble formelt avsluttet ved nedtak og evaluering av prøver sommeren 1985. En samlerapport kom ut januar 1986 (sluttrapport OR 29/86).

Flere sett med prøver stod imidlertid igjen på stasjonene, og høsten 1986 var det klart for en videreføring av prosjektet i en noe redusert form (brev av 23.9.86 til samtlige deltakere). Videreføringen hadde sin begrunnelse i at en rekke av systemene hadde klart seg så bra at en ønsket og følge utviklingen videre. Et utvalg av de beste malingbeleggene (2 testplater av hver) ble beholdt på stasjonene Borregaard og Tananger. De metalliserte beleggene ble fortsatt eksponert på alle stasjonene som nå ved siden av de nevnte, også omfattet Birkenes og Bergen (CMI).

I tabell 4 a) og b) er en oversikt over skadegradstall fra sommeren 1991 og den sist rapporterte evaluering i 1985, dels i felt og dels i laboratoriet. Detaljert beskrivende evalueringsskjemaer følger for øvrig i tabellene A2, A3 og A4 i vedlegg.

Tabell 4a: Skadegradstall for eksponeringsperioden 1985-1991 for A-serien.

System kode	STASJONSNAMN M/ANTALL ÅR EKSPONERING SAMT EVALUERINGSÅRSTALL									
	BORREGAARD		BIRKENES		TANANGER		BERGEN (CMI)		TANGEN	
	8 1/2 1985	14 1/2 1991	8 1/2 1985	14 1/2 1991	8 1/2 1985	14 1/2 1991	8 1/2 1985	14 1/2 1991	8 1/2 1985	12 1/2 1989
A-1	2-2,5	4	0,5	1	1,5	1,5	1	1	0,5	0,5
2	2-2,5	4	0,5	1	1,5	1-1,5	1	1	0,5	0,5
3	1	1-1,5	0,5	0,5-1	1,5	1,5	0,5-1	1	0,5	0,5
4	2	3	0-0,5	0,5-1	1,5	1,5	0,5	-	0	0,5
5	0,5	1,5	0-0,5	0,5	1	1	-	-	0	0,5-1
6	0,5	1	0-0,5	0,5	1	1	0-0,5	0,5-1	0	0,5
7	0,5	0,5-1	0-0,5	0,5-1	0,5	0,5	-	0,5-1	0-0,5	0,5-1
8	0,5	0,5	0-0,5	0,5	0,5	0,5-1	-	1	0-0,5	0,5-1
9	1,5	1,5	0,5	1	1	1	-	1,5-2	0,5	2

Tabell 4b: Skadegradstall for systemer med maling som toppstrøk for eksponeringsperioden 1985-1991.

System kode	STASJONSNAMN MED ANTALL ÅR EKSPONERING SAMT EVALUERINGSTALL			
	BORREGAARD		TANANGER	
	8 1/2	14 1/2	8 1/2	14 1/2
	1985	1991	1985	1991
B-10	1-1,5	1,5-2	2-2,5	-
12	1-1,5	2	2	-
16	1,5	1,5-2	1-1,5	1,5-2
17	1	1	1,5	0,5-1
18	2,5-3	2	2,5-3	0,5-(1)
19	0,5	1-1,5	0,5-1	2
21	1,5-2	1,5	4	-
22	1,5	1,5	2,5-3	-
23	-	-	1,5	1,5
24	0	1-1,5	1,5	1,5
25	1	0,5	1,5	0,5
26	1-1,5	1,5	1,5	1,5
30	1-1,5	1,5	1,5-2	0,5-1
D-33	0,5-1	1,5	1,5	1,5
35	1-1,5	1	2-2,5	-
39	-	-	1,5-2	1
41	1-1,5	1	2,5	-
42	1-1,5	1	1,5	-
44	1,5	1,5-2	1	1,5-2
45	1,5	1,5	1,5-2	1,5
46	-	-	1,5	1,5
E-47	0,5-1	1,5	1	1,5
49	1-1,5	1	2	-
52	1,5	1,5	2-2,5	-
54	0,5-1	1,5	2-3,5	-
57	1,5	1-1,5	3	-

4.1 METALLISERTE BELEGG

Prøvene Al, 2 og 4 har rustet mye på Borregaard, og det er liten beskyttelse i gjenværende Zn (se figur 4). For øvrig ser en av tabell 4a at det med få unntak har skjedd lite med prøvene under de forløpne 6 år. Det vil si at det metalliserte belegget fremdeles beskytter stålet. Det ser ut som varmforsinking holder noe bedre på tettet stål enn utettet stål i sure miljøer. Flammesprøytet sink på stål har jevnt over gitt bedre resultater enn varmforsinket stål.

Det er vanskelig å skille lysbue- og flammesprøytet Al på stål. Begge metoder har gitt godt resultat. Selv varmaluminisering med bare 25 μm Al på stålet har klart seg forbausende godt gjennom alle årene på de fleste stasjoner. På Tangen hadde en imidlertid rustgjennomslag etter 12 1/2 års eksponering. Pittingtendenser kan en også se for Bergensprøvene etter 14 1/2 år. Karakteristisk for A-9 platene var at de ble ganske raskt tilsmusset og de ble således tidlig for dårlig vurdert. Nedbrytingen av det tynne Al-sjiktet har vist seg å gå meget sent, og det yter fremdeles god beskyttelse på alle de gjenværende stasjoner.

En rangering av sink- og aluminiumbeleggning kan være vanskelig, men visuelt synes flammesprøytet Zn å være på høyde med de aluminiserte beleggene.

På figurene 4 og 5 kan en sammenlikne de metalliserte beleggene på Borregaard og Tananger.

Figur 4: Prøveplater (A-serien) fra Borregaard etter 14 1/2 års eksponering. Prøvene ble tatt inn sommeren 1991. De to øverste platene til venstre er A1. Nedenfor følger A2 osv.

Figur 5: Samme platetyper og oppsett som på figur 4, men fra skvettstasjonen i Tananger. For prøvene A6, A7, A8 og A9 har en bare en plate av hver.

4.2 MALTE BELEGG

Generelt har det heller ikke her skjedd store forandringer hverken på Borregaard eller Tananger slik det også fremgår av tabell 4b. Noen prøver har stått meget bra siden evalueringen i 1985 og ble derfor den gang undervurdert. Negative signaler har ikke slått ut i videre forringelse. Noen slike prøver har nå følgelig blitt oppvurdert, dvs. har fått lavere skadegradstall. Rangering og vurdering i det etterfølgende er basert på visuell

bedømming i felt, da ingen av de malte prøvene ble innhentet til laboratoriet.

4.2.1 Serie B (overmalte sink- og aluminiumsbelegg

På Borregaard kom overmaling på varmforsinkede stålplater dårligst ut. B-18 (flammesprøytet Zn + 1 strøk KK) kom også noe dårlig ut pga. små sprukne blærer. For øvrig var det vanskelig å skille de øvrige systemene. Etter tabell 4b ble B-25 (lysbuesprøytet Al + 1 strøk Kk) vurdert best. Her var ikke mulig å se noen endring etter de siste 6 år. Platen er noe mørkflekket (se figur 6).

Figur 6: Plate B-25, eksponert på Borregaard i 14 1/2 år.

På Tananger-stasjonen ble plate B-25 igjen vurdert som best (figur 7). Her må den imidlertid dele plassen med B-18 (flamme-sprøytet Zn + 1 strøk KK) som tydeligvis tåler bedre marint miljø enn surt industrimiljø. B-19 er vurdert dårligst, pga. noen sprukne blærer. B-19 skiller seg fra B-18 ved tykkere KK-sjikt (3 strøk). Det må imidlertid sies at forskjellen mellom de ulike 8 systemene var liten når det gjelder skader bedømt visuelt.

Figur 7: Plater eksponert i 14 1/2 år (Tananger). Fra venstre øverst: B-24 og 2 x B-39. Nedre rekke: B-25 og 2 x B-44.

Hos noen få systemer på Borregaard kan en tydelig se slitasje av toppstrøk. På figur 8 kan en se underliggende blymønje fremkomme på system B-22, og på B-24 (samme figur) kan en på samme måte se den gulbrune sinkkromatmalingen.

Figur 8: En ser her i venstre vertikale rekke B-19, B-19, B-21 og i høyre rekke B-22, B-24 og B-24. Disse har nå vært eksponert på Borregaard i 14 1/2 år.

4.2.2 Serie D (overmaling av Zn-rike malinger på stål)

Det er vanskelig visuelt i felt å se noen vesentlig forringelse av disse prøvene på noen av stasjonene de siste 6 år. De står fortsatt meget bra. System D-44 (vannbasert Zn-alkalisilikat + 1 strøk vinyl) har nok fått noe mer rustflekker og litt gjennomslag, og kommer dårligst ut på begge stasjoner. D-45 som har et tykkere vinyltoppstrøk har imidlertid greid seg bedre, men

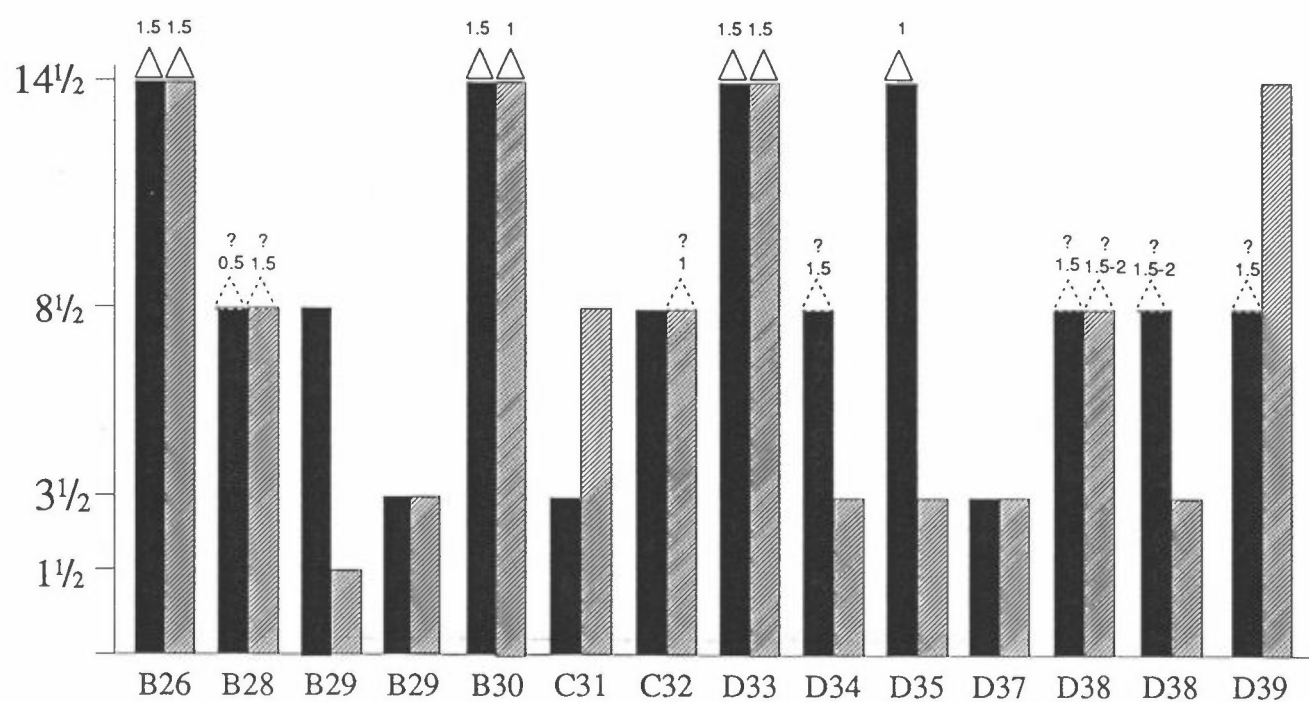
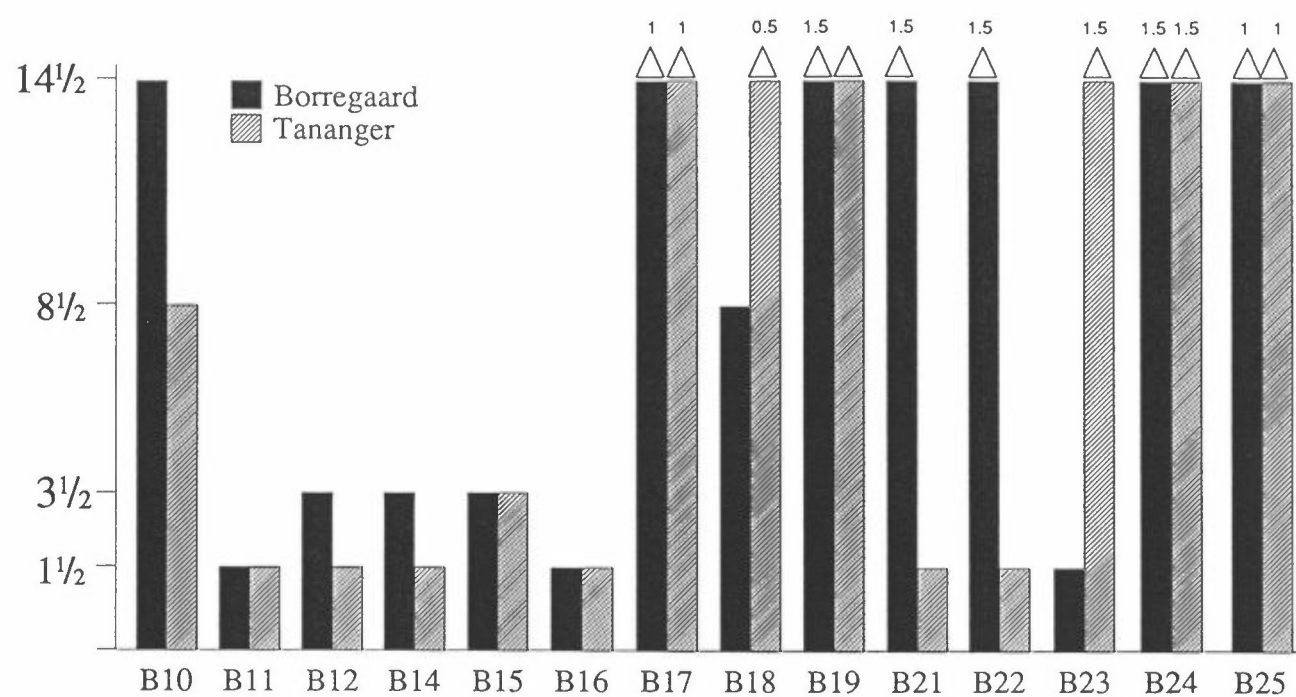
likevel viste systemet noe gjennomslag av underliggende forbehandlingsjikt på begge stasjoner.

4.2.3 Serie E (referansesystemer)

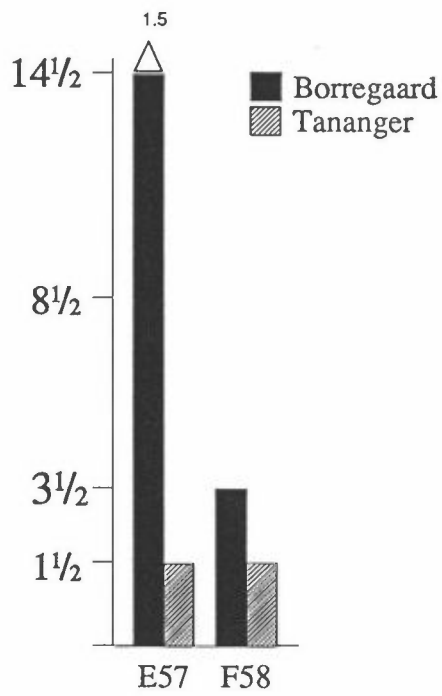
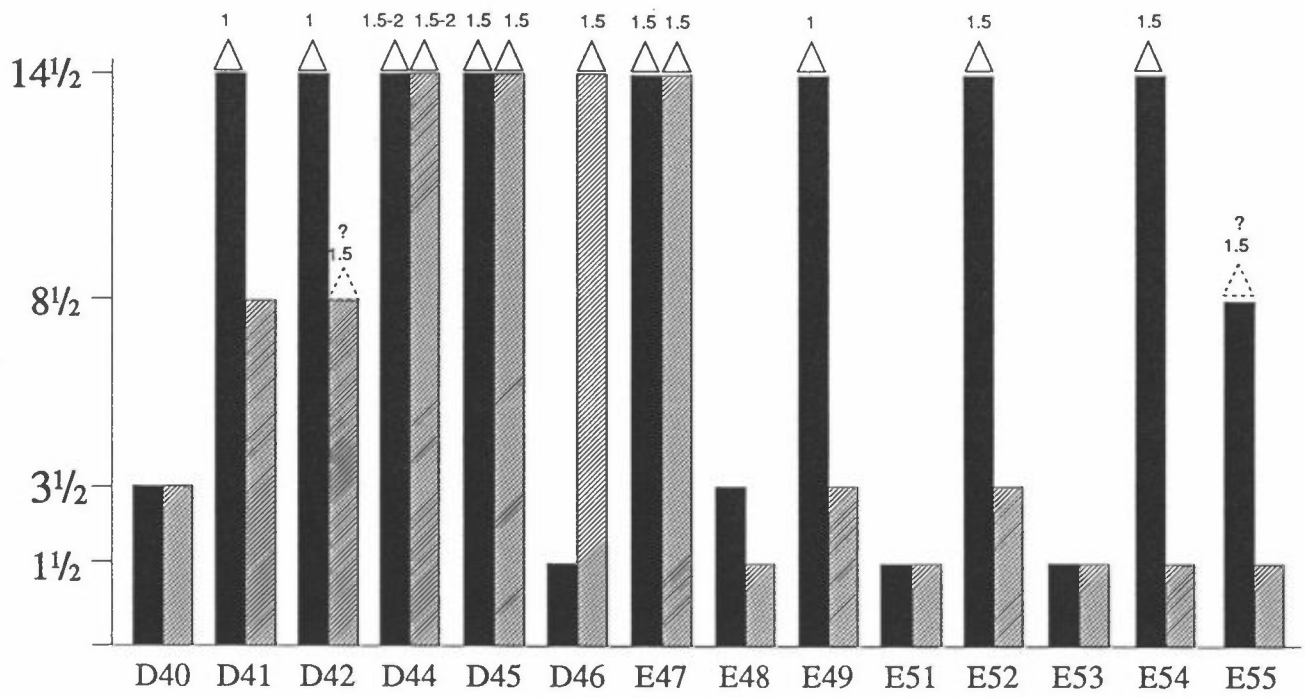
Alle de 5 systemene som nå eksponeres på Borregaard yter ennå god beskyttelse, og det er skjedd lite eller ingen synlig forandring. På Tananger eksponeres bare E-47 som tidligere har vist best beskyttelse her av alle E-systemene, og den er fremdeles meget bra.

5 OPPSUMMERING FOR DE MALTE BELEGGENE

Figur 9 viser når de enkelte systemer er brutt ned til skadegrad 2 (se tabell 3). Stolpene for Borregaard og Tananger er satt ved siden av hverandre. Vannrette stolpetopper betyr at systemet ikke eksponeres lenger. Spisse heltrukne trekanter (topper) angir at eksponeringen fortsetter. Skadegradstallet ved siste evaluering er oppgitt. Stiplede trekanter over stolpetoppen betyr at systemet er tatt inn før det har nådd skadegrad 2. Figuren er i hovedsak veiledende, og bør brukes sammen med teksten for øvrig i rapporten.



Figur 9: Figuren viser omtrentlig hvor mange år de malte beleggssystemene har vært eksponert før de har nådd skadegrad 2. Se for øvrig forklaring i teksten.



Figur 9 forts.

6 VIDEREFØRING

De metalliserte beleggene (A-serien) vil fortsatt bli eksponerte på Borregaard, Birkenes, Tananger og Bergen (CMI). Det står nå 2 plater av hvert beleggssystem på disse stasjonene, dvs. 18 A-plater. Sommeren 1991 ble alle A-plater utover disse 18 tatt ned og evaluert i laboratoriet. De malte platene er alle i denne rapport evaluert i felt. Det er et utvalg av de systemer som har klart seg best. De eksponeres bare på Borregaard og Tananger. Også her har en 2 plater av hvert system. Eksponeringen vil fortsette.

En finner det riktig å opprettholde eksponeringen da en har få undersøkelser av liknende varighet med klimaovervåking. Muligheten for å oppnå verdifull praktisk erfaring, som normalt vil være meget tidkrevende å erverve, vil på denne måten opprettholdes med liten innsats av ressurser.

7 REFERANSER

Det er skrevet 4 framdriftsrapporter og en sluttrapport med tekst: "Atmosfærisk korrosjonsprøving av umalte og malte sink og aluminiumbelegg på stål, samt umalte og overmalte sinkrike malingbelegg på stål".

Haagenrud, S.E. (1977) Framdriftsrapport nr. 1. Lillestrøm (NILU OR 6/77).

Anda, O. og Haagenrud, S.E. (1978) Framdriftsrapport nr. 2, evaluering etter 1 1/2 års eksponering. Lillestrøm (NILU OR 44/78).

Haagenrud, S.E. og Klinge, R. (1979) Framdriftsrapport nr. 3 (engelsk versjon). Lillestrøm (NILU OR 36/79).

Haagenrud, S.E., Henriksen, J.F. og Anda, O. (1981) Framdriftsrapport nr. 4, 3 1/2 års eksponering. Lillestrøm (NILU OR 16/81).

Haagenrud, S.E., Henriksen, J.F. og Anda, O. (1986) Sluttrapport for 8 1/2 års felteksponering. Lillestrøm (NILU OR 29/86).

VEDLEGG A

Tabell A1: Oversikt over alle beleggsystemer som er testet i dette prosjektet.

SERIE A	METALLISERTE BELEGG
A1	vZn utettet stål 460°C (80-120 µm)
A2	vZn utettet stål 560°C (80-120 µm)
A3	vZn tettstet stål 460°C (180-120 µm)
A4	vZn tettstet stål 560°C (80-120 µm)
A5	Flammesprøytet Zn utettet stål (120 µm ± 20%)
A6	Flammesprøytet Zn utettet stål (230 µm ± 20%)
A7	Lysbuesprøytet Al (170 µm ± 20%)
A8	Flammesprøytet Al (160 µm ± 20%)
A9	Varmaluminisert Al (25 µm)
SERIE B	METALLISERTE OG OVERMALTE BELEGG
B10	vZn utettet stål 460°C + 3 strøk alkyd (NSB)
B11	vZn utettet stål + 1 strøk KK
B12	vZn utettet stål + 3 strøk KK
B14	vZn utettet stål + 1 strøk vinyl (ikke Al-pigment)
B15	vZn utettet stål + 3 strøk vinyl (ikke Al-pigment)
B16	vZn utettet stål + 3 strøk polyuretan
B17	Flammesprøytet Zn (140 µm ± 30%) + 3 strøk alkyd
B18	Flammesprøytet Zn + 1 strøk KK
B19	Flammesprøytet Zn + 3 strøk KK
B21	Flammesprøytet Zn + 1 strøk vinyl (ikke Al-pigment)
B22	Flammesprøytet Zn + 3 strøk vinyl (ikke Al-pigment)
B23	Flammesprøytet Zn + 3 strøk polyuretan
B24	Lysbuesprøytet Al (120 ± 30%) + 3 strøk alkyd
B25	Lysbuesprøytet Al + 1 strøk KK
B26	Lysbuesprøytet Al + 3 strøk KK
B28	Lysbuesprøytet Al + 1 strøk vinyl (ikke Al-pigment)
B29	Lysbuesprøytet Al + 3 strøk vinyl (ikke Al-pigment)
B29 7 1/2 år	Lysbuesprøytet Al + 3 strøk vinyl (ikke Al-pigment)
B30	Lysbuesprøytet Al + 3 strøk polyuretan

Tabell A1 forts.

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

Tabell A2: Evalueringsskjema for innhentede prøver av A-serien fra alle stasjonene etter 14 1/2 års eksponering. Dog er prøvene fra Tangen innhentet sommeren 1989 og er således eksponert 12 1/2 år. De evaluerte platene er avbildet på figur 4 og 5 for henholdsvis Borregaard og Tananger. F og B står for forside og bakside. Sg angir skadegrad som er beskrevet nærmere annet steds i rapporten. Platene er evaluert i laboratoriet sommeren 1991. Bortsett fra plate nr. 1, 2 og 4 på Borregaard og plate nr. 9 (unntatt Borregaard) var platene mer eller mindre fri for rust i rissene.

A SYSTEM NR.	BORREGAARD		BIRKENES		TANANGER		BERGEN		TANGEN	
	Evaluering	Sg	Evaluering	Sg	Evaluering	Sg	Evaluering	Sg	Evaluering	Sg
1	Grovstrukturent rust F=B som dog har noe mer Zn-belegg	4	Grå og matt B = meget bra	1	Virker skitten og mørk, Zn-oksider. B er lys og ruglet av Zn-oksider	1,5	Svært mørk, men jevnt farget. B er lite påvirket	1	Gråmattet men ennå med bevart struktur. B = meget bra	0,5
2	Som nr. 1	4	Som nr. 1	1	Mørk, særlig i nedre del. Skitt + oksid. B som nr. 1, men i mindre grad	1-1,5	Brunlig og mørk. B er ufin, mattet og struktur nesten borte	1	Stort sett som nr. 1	0,5
3	Brun og virker rusten men sinken er intakt under. F=B	1-1,5	Brunlig og et rustent skjær. B=matt, men bra	0,5-1	Som nr. 1	1,5	Mørk. B er matt, sjoldet men ellers bra	1	Stort sett som nr. 1	0,5
4	Zn-belegget borte på ca. 1/4 av arealet. Rusten, brun og open. F=B	3	Litt brunskjoldet. B=ubetydelig på- virket	0,5-1	Som nr. 1	1,5	MANGLER		Stort sett som nr. 1	0,5
5	Gjennomrust på noen kanter. Mørke rust- flater skjemmer. F=omtrent som B	1,5	Matt grå. B=noe mørkere	0,5	Zn-oksider gjør over- flaten hvitprikket. Pen, B er mindre pen med ujevn Zn0	1	MANGLER		Jevn mørkere grå. B er enda noe mørkere	0,5
6	Litt rust i noen kanter. Gråmattet. F=B som dog er noe mørkere rundt kantene	1	Både F og B er jevnt farget. B noe mørkere	0,5	Som nr. 5	1	Gråmattet, litt sjoldet. B er litt mørkere.	0,5-1	Jevnt mørk grå. F=B	0,5

Tabell A2 forts.

A SYSTEM NR.	BORREGAARD		BIRKENES		TANANGER		BERGEN		TANGEN	
	Evaluering	Sg	Evaluering	Sg	Evaluering	Sg	Evaluering	Sg	Evaluering	Sg
7	Jevn grå. Mye sort oksid i riss, F=B	0,5-1	Grå, noe sort oksid i riss. B=noe lysere	0,5-1	Gråflekket på begge sider. Lyse og større flekker enn for CMI og Tangen. F=B	0,5	Sort prikket. Sort rundt riss. F=B	0,5-1	Sort prikket, ellers bra. B=prikkene mindre fremtredende	0,5-1
8	Nokså jevnt grå og matt. Sort oksid i riss. F=B, men har sorte innslag	0,5	Jevn grå og matt, B= noe lysere	0,5	Grå prikket. Mørk rundt riss. B har færre flekker	0,5-1	Grå mattet. Sort oksid ved riss. B er mørk gråspikket	1	Litt flekket. B er noe lysere	0,5-1
9	Mørk flekket og meget lite pen. Særlig mørk under riss. B har brunlig skjær	1,5	Rusten rundt kantene nærmest snittet. F=B	1	Mørk og ufin langs kanter. F=B	1	Pitting, men galvanisk beskyttet. Rusten langs kanter. Mørk i og rundt riss. B har ikke pits?	1,5-2	Rustgjennomslag F=B	2

Tabell A3: Evalueringsskjema for de malte systemer på Borregaard. Kolonne 4 angir skadeutbredelse. En har her målt bredden av skadens utbredelse på begge sider av risset slik at selve rissets bredde også er inkludert. Rissets bredde skal opprinnelig være 1 mm, men er i noen tilfeller slipt opp igjen siden. Bredden kan derfor variere ganske mye. 0 vil her bety at risset er tilnærmet upåvirket. I kolonne 5 er angitt rustdekningen i risset. 0 betegner intet eller ubetydlig med rust, r betyr lite, og R vil si at hele risset er dekket med rust. Rust i store mengder i form av tykke lag forekom ikke.

1	2	3	4	5	6	7
SYSTEM	TILSTAND UTENFOR RISS	TILSTANDEN VED OG I RISS			SKADE GRAD 1991	DIV. MED FIG. REF.
		SKADETYPE	UTB. (mm)	RUST		
B10	Underliggende maling kan ses. Sorte pigmenter stikker frem	Sprøhet. Avflaking	15	0	1,5-2	
B12	Sprø og avflaking langs kantene, ellers fin	Avflaking	~20	R	2	
B16	Heftsvikt i nedre kant på en plate. Generelt fin men matt.	Heftsvikt	30-35	R	1,5-2	
B17	Fin. Underliggende maling skinner igjennom		0	0	1	
B18	Sprukkete småblærer avslører ZnO. Rust i kantene	Sprøhet. Avflaking	5	0	2	
B19	Fin	Sprøhet. Avflaking	8	0	1-1,5	En plate vurdert da den andre var skadet. Fig. 8
B21	Sprukkete småblærer avdekker ZnO	Sprøhet. Avflaking	4	0	1,5	Fig. 8
B22	Litt småblærer som har sprukket på toppene. Gjennomslag av mønje	Sprøhet. Avflaking	8	0	1,5	Fig. 8
B24	Underliggende maling kan ses. Sorte pigmenter stikker frem	Litt sprø	0-5	0	1-1,5	Fig. 8
B25	Fin. Litt sort flekket.		0	0	0,5-(1)	Fig. 6
B26	Små krakkeleringstendenser	Oppsprekking	10	0	1,5	
B30	Litt småblærer, sprukket på toppen, særlig under riss. Ellers bra	Noe blæret	10	0	1,5	Mattet utseende

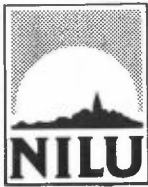
Tabell A3 forts.

1	2	3	4	5	6	7
SYSTEM	TILSTAND UTENFOR RISS	TILSTANDEN VED OG I RISS			SKADE GRAD 1991	DIV. MED FIG. REF.
		SKADETYPE	UTB. (mm)	RUST		
D33	Som B10	Rustfortrengning. Mørk sone rundt riss	5	R	1,5	Fremdeles god beskyttelse
D35	Litt avflaking rundt kantene, ellers fin	Rustfortrengning	5	R	1	
D41	Litt rustgjennomtrenging. Litt avflaking langs kanten	Rustfortrengning	5	R	1	
D42	Fin. Litt avflaking langs kantene	Rustfortrengning	4	R	1	
D44	Noe sjoldet (underliggende maling?)	Rustfortrengning	5	R	1,5-2	
D45	Underliggende maling gjennomtrenger	Rustfortrengning	5	R	1,5	
E47	Som B10	Avflaking. Mørk rand rundt riss	8	R	1,5	
E49	Litt avflaking rundt kantene, ellers fin	Rustfortrengning	7	R	1	
E52	Gjennomslag av underliggende maling	Rustfortrengning	10	R	1,5	
E54	Som B10	Rustfortrengning og mørk sone rundt riss	10	R	1,5	
E57	Fin	Rustfortrengning	10	R	1-1,5	

Tabell A4: Evalueringsskjema for de malte system på Tananger. Forklaring til kolonne 4 og 5 er som beskrevet i tabell A3.

1	2	3	4	5	6	7
SYSTEM	TILSTAND UTENFOR RISS	TILSTANDEN VED OG I RISS			SKADE GRAD 1991	DIV. MED FIG. REF.
		SKADETYPE	UTB. (mm)	RUST		
B16	Noen blærer, særlig nær øverste kant. Neppe alvorlig	Noe avskalling. Har øket noe siden 1985	0	r	1,5-2	
B17	Et mørkstripet slitasjemønster. Ellers fin	Litt blæret	0	0	0,5-1	Totalt neppe endret
B18	Meget jevnt og pent nuppet. Mørk, særlig i øvre hjørner	Zn0	0	0	0,5-(1)	Totalt neppe endret
B19	Noen små sprukne blærer. Blæret og oppsprukket langs kantene	Litt Zn0	0	0	2	Kun <u>en</u> plate. Totalt neppe endret
B23	En del blærer, særlig i ene (venstre) plate	Spor av Zn0	0	0	1,5	Neppe endret
B24	Småblærer ujevnt fordelt	Hovedsaklig Zn0	0	0	1,5	Ikke endret. Fig. 7
B25	Pen, smånuppet. Små mørke felter ved noen hjørner	Små mørke felter	0	0	0,5-(1)	Ikke endret. Fig. 7
B26	Bra	Grunne blærer. Oppsprukne blærer i ene platen (venstre)	10	r	1,5	Ikke endret
B30	Bra	Venstre plate synes å ha tykkere maling. Litt blærer	10	r	1-0,5	Neppe endret
D33	Noen blærer og rust langs kantene, ellers fin	En del blærer	15	R	1,5	Neppe endret
D39	Fin	Kraftig blæredannelse som nok har øket på	10	r	1	Bortsett fra riss neppe endring. Fig. 7
D44	Litt rustflekker. Estetisk ikke pen		0	r	1,5-2	Fig. 7
D45	Undermalingen bryter frem, ellers bra	Noe blærer. Rustrenning	5	r	1,5	Blæredannelsen økt noe ved riss
D46	Blæring og rusting i kantene, ellers fin	Noe blærer, men mest heftsvikt	10	r	1,5	Ikke endret
E47	Et mørkstripet slitasjemønster. Noe blærer og rust langs kantene	Noen blærer	9	r	1,5	Ikke endret

På baksiden var platene blankere, og så jevnt over bedre ut. B24 har små brune flekker (muligens småblærer) hvor underliggende maling kan ses. D45 har rust rundt kantene. D44 og D45 kriterer på baksiden.



NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING (NILU)
NORWEGIAN INSTITUTE FOR AIR RESEARCH
POSTBOKS 64, N-2001 LILLESTRØM

RAPPORTTYPE OPPDRAGSRAPPORT	RAPPORTNR. OR 63/91	ISBN-82-425-0298-6	
DATO SEPTEMBER 1991	ANSV. SIGN. <i>A. Anda</i>	ANT. SIDER 30	PRIS NOK 45,-
TITTEL Atmosfærisk korrosjonsprøving av metall- og maling- beleggsystemer under ulike miljøforhold (Rapport etter 14 1/2 års eksponering)		PROSJEKTLEDER O. Anda	
		NILU PROSJEKT NR. O-8674	
FORFATTER(E) O. Anda		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAGSGIVERS REF.	
OPPDRAGSGIVER (NAVN OG ADRESSE) 7 firmaer, produsenter og brukere av korrosjonsbeskyttelse			
STIKKORD Feltprøving Metallisering Maling			
REFERAT Utprøving av 51 ulike metalliserte og malte, og malte belegg på stål har foregått siden desember 1976. Her foreligger evalueringsrapport etter 14 1/2 års eksponering av metalliserte belegg på stasjonene Borregaard og Tananger, samt av malte belegg på de samme stasjonene pluss stasjonene Birkenes og Bergen (CMI).			

TITLE	Atmospheric Corrosion Testing of metallized and painted steel. Evaluation after 14 1/2 years of exposure.
ABSTRACT	

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