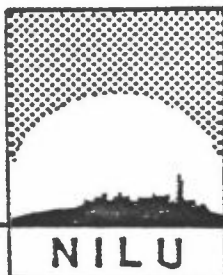


NILU OR : 25/85  
REFERANSE: O-7545  
DATO : JUNI 1985

**AKSELERERT PRØVING AV MALTE OG UMALTE SINK  
OG ALUMINIUMBELEGG PÅ STÅL I SALTTÅKE OG SO<sub>2</sub>-HOLDIG  
INDUSTRIATMOSFÆRE**

S.E.Haagenrud, J.F.Henriksen,  
O. Anda og A. Rode



NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING

Postboks 130 - 2001 Lillestrøm

NILU OR : 25/85  
REFERANSE: 0-7545  
DATO : JUNI 1985

**AKSELERERT PRØVING AV MALTE OG UMALTE SINK  
OG ALUMINIUMBELEGG PÅ STÅL I SALTTÅKE OG SO<sub>2</sub>-HOLDIG  
INDUSTRIATMOSFÆRE**

S.E.Haagenrud, J.F.Henriksen,  
O. Anda og A. Rode

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING  
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM  
NORGE

ISBN-82-7247-585-5

**INNHold**

	Side
1 BAKGRUNN .....	5
2 AKSELERERT PRØVNING .....	5
2.1 Typer av tester .....	5
2.2 Hovedelementer i akselerert testing (AT) .....	6
3 SALTTÅKETEST .....	7
4 AKSELERERT TEST I SO <sub>2</sub> -INDUSTRIATMOSFÆRE .....	8
4.1 Prøveprogram .....	8
4.2 Prøvematerialer .....	8
4.3 Evaluering .....	9
4.4 Resultater .....	9
4.4.1 Skadegradstall .....	9
4.4.2 Glansmålinger .....	11
4.4.3 Akselerasjonsfaktor .....	12
4.4.4 Evaluering ved SIB .....	12
4.5 Diskusjon .....	12
4.5.1 Type malingnedbryting og prøveprogram .....	12
4.5.2 Akselerasjonsfaktor og vurdering av levetid .....	13
4.5.3 Skadegrad som evalueringskriterium .....	15
4.5.4 Forslag til videre undersøkelse .....	15
5 KONKLUSJONER .....	16
6 LITTERATUR .....	17
BILAG 1 Prøveprogrammer + beskrivelse av systemer og skadegrad .....	35
BILAG 2 Evaluering etter SO <sub>2</sub> -test .....	41
BILAG 3 Evaluering ved Statens institutt for bygnads- forskning (SIB) .....	53



## AKSELERERT PRØVING AV MALTE OG UMALTE SINK- OG ALUMINIUMBELEGG PÅ STÅL I SALTÅKE OG SO<sub>2</sub>-HOLDIG INDUSTRIATMOSFÆRE

### 1 BAKGRUNN

I Framdriftsrapport nr 1 (Haagenrud, 1977) for prosjektet heter det om prosjektets mål:

"Hovedmålet med prosjektet er å skaffe grunnlag for valg av optimale beskyttelsessystemer - teknisk/økonomisk og miljømessig - under ulike atmosfæriske eksponeringsforhold." "Prosjektet har også som mål å fremskaffe relevante korttidsprøvedata".

I følge prosjektplanen skulle korttidsprøvingen foretas med NILUs program for akselerert prøving i sur SO<sub>2</sub>-industriatmosfære, og ved saltåketest etter ASTM standard B117. På tradisjonelt vis skulle akselerasjonen bestemmes ved sammenlikning av korrosjonen i felt og i klimaskap.

Manglende NTNf-midler og problemer med både gammelt (Feutron) og nytt klimaskap (Weiss) (Styringskomitémøter nr 6 til 11) har medført store forsinkelser i korttidsprøveprosjektet, som sluttrapporteres her.

### 2 AKSELERERT PRØVNING

#### 2.1 TYPER AV TESTER

De akselererte testene kan klassifiseres i tre grupper (ISO/TC 156/WG7 N 178E). Disse er:

- a) Tester som brukes til å forutsi materialenes levetid. Nedbrytningsmekanismen må være den samme som i praksis, men nedbrytingen skjer raskere enn i praksis ved at en eller flere av miljøfaktorene overdoseres i forhold til de naturlige forhold.
- b) Korttidsprøver hvor nedbrytningsmotstanden for produkter i testen sammenlignes med nedbrytningsmotstanden fra felteksponering. Miljøpåvirkninger er akselerert for å frambringe raskere resultater.

c) Raske kvalitetskontroll-prøver hvor akselerasjonen er meget stor.

Type c, og til en viss grad type b, er de mest brukte for vanlige 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. På grunn av for lite utviklet metodikk er dette forventningsnivået hittil ikke oppfylt (NATO Advanced Research Workshop. Paris 1984). Innen denne industrien brukes testene ofte med hell til å skille gode og dårlige produkter, som en form for kvalitetskontroll, mens de fleste forsøk på å kunne forutsi levetider i praksis er mislykket (Johansson, 1985). Resultatet av ikke oppfylte forventninger er at akselererte tester har et dårlig rykte innen bygningsindustrien.

## 2.2 HOVEDELEMENTER I AKSELERERT TESTING (AT)

Det er tre elementer i oppbyggingen av en akselerert test (AT). Disse er henholdsvis - utforming av prøveprogram, - evaluering av nedbrytingen, - 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 kvalitativ og subjektiv. Den videre analysen av resultatene har gjerne begrenset seg til sammenligning av skader og anslåtte akselerasjonsfaktorer.

Mest kjent av de akselererte testene er salttåketesten, som etter hvert er blitt en hovedmetode for kvalitetskontrollen. Den har også blitt benyttet til å forutsi levetider i praksis. Fordi det ikke har vært samsvar med det naturlige eksponeringsmiljøet har dette sjelden vært vellykket. Dette har derfor bragt testen i vanry. I den senere tid har utviklingen gått mer i retning av å utforme prøveprogram som simulerer, mer enn akselererer de reelle eksponeringsforhold.

Utforming av en god AT krever kjennskap til materialets bruksegenskaper, dets fysikalske/kjemiske karakteristikker som funksjon av miljøet (dose-effektsammenheng), samt den miljøpåkjenning materialet utsettes for i praksis. I utformingen av prøveprogrammet for akselerert SO<sub>2</sub>-test har hoved-

vekten fra NILUs side ligget på en bedre utforming av prøveprogrammet med bakgrunn i instituttets kompetanse på miljøfeltet. Når det gjelder skadeevalueringen og resultatanalysen har vi fulgt tidligere metoder. For evalueringen har vi benyttet skadegradstallet, slik som for feltevalueringen (Haagenrud, 1981), mens resultatanalysen har begrenset seg til sammenligning av skadegradstall og akselerasjonsfaktorer for korrosjon.

### 3 SALTTÅKETEST

Det er kjørt 2 forsøk med nøytral salttåkeprøving (ASTM B117, ISO 3768) ved NSBs laboratorium. Begge forsøkene ga svært like resultater. Tabell 1 viser en sammenstilling av evalueringsresultatene med hensyn på parametrene "skadegrad" og "rust i riss" for salttåkeprøvingen og feltprøvingen på Folehavnen 10 m og 250 m etter 1 1/2 år. Platene er fotografert.

Ved salttåkeprøvingen skjedde svært lite de første 300 timer. Etter 300-400 timer oppstår skadene, som så senere bare utvikler seg.

Sammenligningen mellom salttåke- og feltprøvingen er noe vanskelig på grunn av det hvite belegget som dannes. For sinkbeleggets vedkommende dekkes i noen tilfelle store deler av platene. Dette er korrosjonsprodukter av sink, trolig sinkklorid. For Al-belegg er det mye mindre av hvite korrosjonsprodukter.

På disse platene har rissene vært grunne, og for de metalliserte belegg (system A og B) er det tydelig at rissene ikke har gått ned til bart stål. Dette gjelder også for noen av de malte beleggene. For parallellene av systemene D36 og D39 er dette tydelig.

Prøver hvor det er relativt stor uoverensstemmelse mellom salttåketesten og felteksponeringen er markert med (u) i merknadskolonnen. Ca. 1/3 av prøvene har markerte uoverensstemmelser. Akselerasjonsfaktorer ble ikke bestemt. Det er heller ikke vanlig å gjøre dette ved salttåketest.



## 4 AKSELERERT TEST I SO<sub>2</sub>-INDUSTRIATMOSFÆRE

### 4.1 PRØVEPROGRAM

Etter de opprinnelige planene skulle samtlige prøver testes i Feutron-skapet med programmet vist i figur B1.1. To forsøk ville være nødvendig for å få testet alle prøvene. Allerede i det første forsøket fikk vi havari på skapet og mistet kontrollen på SO<sub>2</sub> doseringen. Senere var det ikke mulig å få skapet til å fungere tilfredsstillende. De ufullstendige og meget usikre resultatene rapporteres derfor ikke. Kvalitativt syntes malingprøvene i Feutron-testen å være lite angrepet, og sammenlignbarheten med feltprøveresultatene på Borregaard var liten.

Den videre utprøvingen ble utført i NILU's nye Weiss-klimaskap etter et nytt prøveprogram. Vanligvis anses ekstremtemperaturer, temperatur syklinger, fuktigheten og forurensningsnivået å være de viktigste variable. For programmet i Weiss-skapet forandret vi primært temperaturpåkjenningene. Dette ble gjort ved å legge inn sykling mellom ekstremnivåer (+50 -20<sup>0</sup>C) og et visst antall passeringer av 0<sup>0</sup>C. Programmet er vist i figur 1.

UV-bestråling har erfaringsmessig stor betydning for nedbrytingen av mange malinger. UV manglet i Feutron-skapet, og vi lyktes heller ikke med å bygge inn dette i Weiss-skapet. Vi forsøkte imidlertid å undersøke en eventuell effekt av UV ved å kjøre prøvingen som en to-steps test. Et sett av prøveplater ble forekspontert 1000 timer i Jotuns QUV weatherometer, og et annet sett 1000 timer i Atlas værometer med xenonlampe ved Statens Provningsanstalt (SP) i Borås. Dette ble gjennomført som ledd i et nordisk samarbeidsprosjekt vedrørende studier av fasadeplaters holdbarhet. (Elgåsen, Sjöström 1983.)

### 4.2 PRØVEMATERIALER

På grunn av kostnaden ved prøvingen hos SP måtte det velges ut et fåtall systemer for utprøving. Ved utvelgelsen la vi vekt på at det skulle være:

- minimum 4 plater av systemet
- størst mulig påvirkning på systemet ved feltekspontering på Borregaard (unntak det meget gode systemet B10).

Metalliserte belegg uten overmaling, og overmalte belegg på aluminiserte underlag, falt derfor bort. Når en da også holdt epoxy-systemet (systemfeil) utenfor, ble følgende 12 systemer valgt ut for prøving: B10, B12, B15, B16, B23, D33, D35, D39, D46, E47, E49 og E53. Betegnelsene er de samme som er brukt i feltprøveprosjektet. De er beskrevet i tabell B1.1, som viser resultatene av 3 1/2-års eksponering på samtlige feltstasjoner (Haagenrud 1981).

#### 4.3 EVALUERING

Platene er evaluert etter prøving på samme måte som ved felteksponeringen (1). Her bestemmes i prinsippet et skadegradstall ved å vurdere tilstanden utenfor riss og tilstanden ved riss hver for seg. Faktorer som vurderes er bløredannelse, heft, misfarging, skadeutbredelse og rust i riss. Skadegradstallet angir metallbelegget eller malingbeleggets tilstand. 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 forzinket stål malingbelegget få høyt skadegradstall. Den underliggende sinken vil likevel beskytte stålet i lang tid framover. Inndelingen i skadegrader er vist i tabell B1.2. Den mest usikre delen av vurderingen ligger mellom skadegrad 1 og 2, da man her skal avgjøre hvor vidt skaden er ubetydelig eller ikke.

Videre er det foretatt en utstrakt fotografering av platene. Fotografiene er samlet i et album hvor alle de avbildede plater kan identifiseres.

Ved Statens institutt for bygnadsforskning (SIB) er det utarbeidet et skjema for evaluering av belegg på fasadeplater (Elgåsen, Sjöström 1983). Dette er vist i tabell B.3.1.

#### 4.4 RESULTATER

##### 4.4.1 Skadegradstall

De detaljerte evalueringene er vist i tabellene B.2.1 - B.2.6 i bilag, mens tabell 2 gir en samlet oversikt over skadegradstallet for alle eksponer-

inger. De samme skadegradstallene er framstilt grafisk for hvert enkelt system i figurene 2-5, mens figurene 6-10 viser bilder av henholdsvis D33, D46, E53, D35 og E49.

Resultatene viser at alkyd på varmforzinket stål (med etsprimer) (B10) står meget godt, både i felt og i alle de akselererte testene. For alkyd på henholdsvis Zn-etylsilikat og Zn-shopprimer (D33 og E47) er det derimot stor forskjell på feltprøvingen og klimaskaptesten. I felt står disse systemene dårligere enn det tilsvarende på varmforzinket (B10), men i klimaskap brytes systemene totalt ned ved avflaking (figur 6). Alkyd på Zn-etylsilikat (D33) brytes raskere ned i klimaskap enn alkyd på Zn-shopprimer.

Dette gjorde at vi foretok en kortvarig test for å undersøke effekten av fuktigheten på alkydsystemet D33. Systemet ble kjørt en uke i skapet ved 50<sup>0</sup>C og 95% relativ fuktighet. Hver dag ble den tatt ut av skapet og dypet i kaldt vann i én time. Allerede etter tre dager flaket belegget av. Tilsvarende forsøk ved 50<sup>0</sup>C, men 50% relativ fuktighet, viste ingen avflaking etter 10 dager. For å simulere fri eksponering utendørs må fuktbelastningen i programmet justeres ned. For senere AT av andre systemer har vi revidert prøveprogrammet til kortere våttid.

Polyuretansystemene (B16, B23, D39, D46 og E53) har alle betydelige skader etter 3 1/2 års felteksponering. De akselererte testene gir vesentlig mindre påvirkning. For D39 viser platen som ikke er forekspontert, og platen som er forekspontert i Atlas-værometer, en avflaking av belegget etter 3000 timers test. Det samme gjelder ikke platen som er forekspontert i QUV-kammer. Etter 1500 timer var det kun noe avflaking på baksiden av den platen som ikke er forekspontert, ellers kun små angrep. D46 og E53, henholdsvis figur 7 og 8, viser klare tegn på pigmentsegresjon ved den akselererte SO<sub>2</sub>-testen.

KK-systemene (B12, D35 og E49) har alle skadegradstall mellom 1.5 og 2 etter 3 1/2 års eksponering i felt. I klimaskap er det bra overensstemmelse med dette for system D35 og E49 (figur 9 og 10), mens for system B12 er det kun de foreksponterte prøvene i Atlas-værometer som har skader.

Vinylsystemet (B15) har skadegrad noe under 2 etter 3 1/2 års feltekspone-  
ring. Ved den akselererte testen er det ingen skader, bortsett fra noen  
små skader på platen som er forekspontert i Atlas-værometer.

Samtlige prøver ble undersøkt etter foreksponeeringen i QUV-kammer og Atlas  
værometer, og før SO<sub>2</sub>-test. Prøvene med maling på metallisert underlag hadde  
små spor av rust i risset, mens prøvene med Zn-rike malinger som underlag  
hadde mer rust i risset.

Det er ingen tydelig effekt av foreksponeering i Q-U-V kammer/Atlas-værometer  
på den etterfølgende nedbrytingen i AT.

#### 4.4.2 Glansmålinger

NILU har foretatt glansmålinger ved 60<sup>0</sup> refleksjon med Eriksen glossmeter  
både etter 3 1/2 års felteksponeering, og før og etter SO<sub>2</sub>-test. Resultatene  
er vist i tabell 3, og i fig. 11-13. Hvis det er samme glanstap ved de to  
eksponeringsmåtene som sammenlignes i hver figur ligger "systemet" på 45<sup>0</sup>  
linjen (y=x).

Av tabellen fremgår at SO<sub>2</sub>-testen ikke gir noe systematisk glanstap. For  
felteksponeeringen har det vært et klart glanstap for både polyuretan og  
KK-malingene, mens de lavglansige vinyl- og alkydsystemene naturlig nok ikke  
har tapt seg vesentlig (fig. 11a). En ser også at ved foreksponeering i  
QUV-kammeret får polyuretansystemene et klart glanstap (fig. 13). De øvrige  
systemer, kanskje med unntak av B12 (vZn+KK), taper ikke mye glans. Ved  
foreksponeeringen i Atlas-værometer skjer det glanstap kun for KK-systemene  
(fig. 12). Sammenligning av felteksponeeringen på Borregaard med QUV  
foreksponeering (fig 11b), viser at det er bra samsvar i glanstap for alle  
systemene med unntak av vinyl (B15), og delvis KK-systemene D35 og D49.  
Disse har hatt større glanstap i felt. Polyuretansystemet D46 og B16 har  
større glanstap i QUV-kammeret. For foreksponeeringen i Atlas værometer er  
det betydelig mindre glanstap for polyuretanprøvene sammenlignet med felt-  
eksponeringen (fig. 11 c).

#### 4.4.3 Akselerasjonsfaktor

Fordelingen av korrosiviteten i skapet er kartlagt ved å plassere 12 stålprøver jevnt fordelt i skapet (fig. 14). Vekttapene av disse viser en svak tendens til høyere korrosjon mot SO<sub>2</sub> utløpet. I middel gir dette en total korrosjon på 117 µm for 1511 timers eksponering. Dette gir en årskorrosjon på 690 µm. Sammenlignet med en midlere årskorrosjon på Borregaard på 80 µm, gir dette en korrosjonsakselerasjon for forsøket på 8.6. For de neste 1500 timene ble akselerasjonsfaktoren 8.2.

#### 4.4.4 Evaluering ved SIB

Resultatene her er vist i tabell B.3.1. Siden vi ikke har tilsvarende evaluering av felteksponeringene å sammenligne med, gjør vi ikke annet enn å referere resultatene i denne rapporten.

### 4.5 DISKUSJON

#### 4.5.1 Type malingnedbryting og prøveprogram

AT er gjort etter metode b (se 2.1.) ved å sammenlikne resultatene fra de akselererte testene med feltprøver i tilsvarende atmosfæretyper. Håpet er da at angrepene skal være av noenlunde samme type, og at man gjennom en vurdering av omfanget av angrepene skal kunne si noe om hvor stor akselerasjonen er.

Resultatene viser at ulike malingssegenskaper gjør at hvert enkelt system må vurderes for seg. Det er ikke samme nedbryting i felt og i klimaskap for alle systemene. Forskjellene i angrepstype er knyttet til de 2 alkyd-systemene på sinkrike malingunderlag, (D33 og E47), og polyuretan-systemene. For alkydsystemene er det den sterke avflakingen, og for polyuretan-systemene tendensen til pigmentsegresjon som er forskjellig ved AT. Begge forhold skyldes trolig konstant høy relativ fuktighet og høy temperatur i skapet, (4.1.1). På grunn av relativt porøs film vil fuktigheten penetrere alkyden og gå gjennom også de sinkrike underlagsmalingene. Filmen flaker da av. Jotungruppen (Vonen, 1985) gir en rekke eksempler på at dette

skjer i praksis når fuktigheten i mikromiljøet er høy. På varmforsinket underlag skjer ikke avflakingen av alkyd.

Dette er et eksempel på de problemene man kan støte på ved denne tradisjonelle testmetodikken. Prøveprogrammet er bygd opp for å prøve bestandigheten under vanlig eksponering i industriatmosfære med vesentlig forhøyet  $\text{SO}_2$ -innhold. Her ser vi at den akselererte nedbrytingen for noen systemer har skjedd på grunn av for høy fuktbelastning. Dette fordi vi ikke detaljert kjenner sammenhengen mellom nedbryting og fuktbelastning for de enkelte malingssystemer. Programmet er heller ikke ment å være egnet til å bestemme effekten av den enkelte miljøvariable på nedbrytingen av den enkelte maling.

For et mer vitenskapelig system av prøveprogrammer trenger man å kjenne effekten av den enkelte miljøvariable på nedbrytingen av den enkelte maling. Det er også nødvendig å kjenne typen av nedbryting. Hvorvidt det er glanstap, kritning eller blæredannelse, avflaking, etc har klar betydning for evalueringen og for bruksegenskapene i praksis (Campell 1973). Forskning på slike dose-effektsammenhenger av enkeltvariable er det et sterkt behov for.

#### 4.5.2 Akselerasjonsfaktor og vurdering av levetid

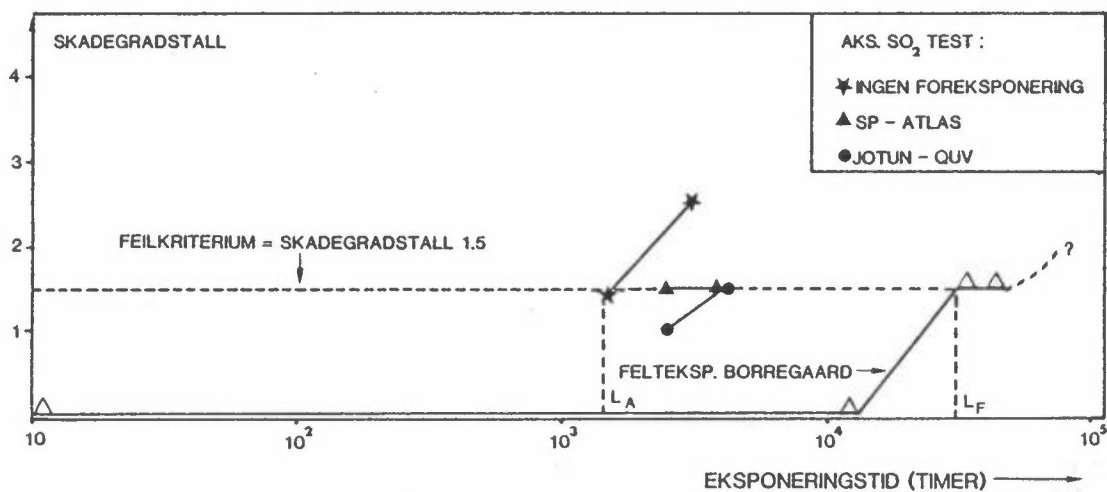
Den akselererte  $\text{SO}_2$ -testen kan benyttes til å vurdere godheten av et malingssystem eksponert i industriatmosfære under tilnærmet samme klimatiske forhold som på Borregaard, men under vesentlig høyere  $\text{SO}_2$ -nivå. Fuktbelastningen er redusert noe i et justert program.

Når det gjelder å anslå akselerasjonsgrad og levetid for et system under praktiske forhold har denne tradisjonelle testmetodikken mangler. Akselerasjonsgraden kan anslås enten ved å sammenlikne nedbryting i felt og AT referert til lik eksponeringstid, eller ved å sammenlikne eksponeringstidene i felt og ved AT ved samme nedbrytingsgrad. Den førstnevnte måten er benyttet ved bestemmelse av korrosjonsakselerasjonen gjennom sammenlikningen av årskorrosjonen av stål (beregnet) (pkt. 4.4.3). Den eneste sammenheng dette har til malingnedbrytingen er å indikere hvor raskt det underliggende stålet korroderer dersom det blottlegges. Dette har selvfølgelig en sammenheng med skadegradstallet gjennom at blant annet rust i riss inngår

som en variabel i skadegraden, men det er ingen kjent kvantitativ sammenheng.

Ved å bruke malte referanseprøver kunne denne metoden også tillempes for malingprøving. Da eksponeres alltid en standard maling av samme type som malingen som testes, f. eks. E47 (Zn-shop+alkyd), for alle andre alkyd-systemer som testes.

Den andre måten, sammenligning av nødvendige eksponeringstider for å nå samme nedbrytingsgrad (uttrykt ved skadegradstallet) i felt og AT, er en mulig måte til å anslå levetider i praksis. Den er imidlertid beheftet med store usikkerheter. Dette er forsøkt anskueliggjort ved figur 15 som viser skadegradstallet som funksjon av tiden for D35 (Zn-etyl+KK) ved de ulike felt- og laboratorieeksponeringer. Tilsvarende kan settes opp for de andre systemene.



Figur 15: Skadegradstall for system D35 som funksjon av eksponeringstiden i felt og i klimaskap.

Prinsippet i en slik bestemmelse av akselerasjonsgraden ser vi ved å sammenlikne eksponeringstidene som er nødvendige for å oppnå skadegradstallet 1.5 ved AT og ved felteksponering. Dette gir henholdsvis eksponeringstid 1500 timer (prøve uten foreksponering) og 35 000 timer. Det gir en akselerasjonsfaktor på 23.3. Det vil si at en måned i klimaskap tilsvarer 23.3 måneder (ca 2år) i felt.

Vi ser at hovedproblemet er at vi selvfølgelig ikke får det samme skadegradstallet ved mer eller mindre tilfeldig valgte evalueringpunkter, og at vi har for få punkter til å bestemme kurven for skadegrads-eksponeringstid. Et tredje problem er at evalueringen av skadegradstallet også er usikkert (4.5.3).

En mer nøyaktig fastleggelse av kurven for skadegrads-eksponeringstid vil muliggjøre dette som framgangsmåte. Dette er imidlertid kostbart.

#### 4.5.3 Skadegrad som evalueringskriterium

Skadegrad som evalueringskriterium har svakheter. Det er beheftet med usikkerhet fordi det er sammensatt av en vurdering av for mange forskjellige faktorer, som: Tilstand utenfor og ved riss, blæredannelse, skadeutbredelse og rust i riss. I hver av disse inngår en usikkerhet, og den totale usikkerheten blir derfor ganske stor. Selv om disse ulike skadene har en nokså nær sammenheng, vil angivelse av kun det totale skadegradstallet gjøre at en lett mister oversikt over typen skader.

Om man knyttet ett nedbrytingskriterium til hver enkelt faktor, og at hver faktor kunne bestemmes kvantitativt og objektivt, ville dette utgjøre en vesentlig forbedring av hele metodikken. Martin (1984) har benyttet 7 areal med korrosjon og blærer som nedbrytningsparameter, og 0.3% nedbrutt areal (tilsvarende ASTM visuell rad 7) som kriterium for at prøveplaten var nedbrutt. Han har brukt IR-fotografering og billedanalyseteknikk for kvantitativt å bestemme korrodert areal. NILU har også nylig anskaffet billedanalyseutstyr som vil gi oss de samme muligheter til kvantitativ bestemmelse av skadetyper.

#### 4.5.4 Forslag til videre undersøkelser

Selv om vi nå har en akselerert metode som kan anvendes til malingprøving, ønsker NILU å arbeide videre med utvikling av korttidsmetodene. Følgende bør gjøres:

1. Utvikling av kvantitative, mer objektive evalueringsmetoder og nedbrytingskriterier for malingbelegget etter prøving.



2. Bestemmelse av den enkelte miljøvariabels effekt på malingnedbrytingen (Dose-effektsammenheng), herunder nødvendige mekanismestudier.
3. Bruk av pålitelighetsteori for å bestemme den naturlige spredningen og variasjonen i ethvert produkts levetid.

## 5 KONKLUSJONER

1. Den utviklede SO<sub>2</sub>-testen kan brukes til å si noe om godheten av malingssystemer ved fri eksponering i industriatmosfære med høye SO<sub>2</sub>-nivåer (høyere enn Borregaard). På grunn av ulike malingegenskaper må hvert enkelt system vurderes for seg, og for enkelte system er det ingen entydig sammenheng mellom skadegradstallene ved felteksponering og SO<sub>2</sub>-testen.
2. Alkyd på varmforsinket stål står meget godt både i felt og i SO<sub>2</sub>-testen. Alkyd på henholdsvis Zn-etylsilikat og Zn-shopprimer brytes fullstendig ned i klimaskap på grunn av for høy fuktbelastning i prøveprogrammet. Fuktbelastningen er senere justert.
3. Polyuretansystemene har alle betydelige skader etter 3 1/2 års felteksponering, mens SO<sub>2</sub>-testen gir vesentlig mindre påvirkning. En tendens til pigmentsegresjon skyldes trolig den høye fuktbelastningen i prøveprogrammet.
4. For KK-systemene er alle skadegradstallene (1,5-2) etter 3 1/2 års felteksponering i bra overensstemmelse med SO<sub>2</sub>-testen.
5. Vinylsystemet har vesentlig mindre skader ved SO<sub>2</sub>-testen enn i felt.
6. Det er ingen tydelig effekt av foreksponering i Q-U-V kammer/Atlas-værometer på den etterfølgende nedbrytingen i SO<sub>2</sub>-testen.
7. Akselerasjonen eller levetiden for et malingsystem under praktiske forhold kan vanskelig bedømmes med den anvendte metodikken. Korrosjons-

akselerasjonen kan bestemmes som her ved å sammenlikne vekttap under samme eksponeringstider, mens metodikken med å bestemme nødvendig eksponeringstid i klimaskap for å oppnå samme skadegradstall som i felt, krever mer utvikling. Mer spesifikke, kvantitative og objektive evalueringskriterier enn skadegradstallet er nødvendig for å få til dette. Evalueringen må dessuten gjøres langt hyppigere.

8. For å kunne utvikle prøvemeter som kan benyttes til å anslå levetider under forskjellige eksponeringsforhold, er det stort behov for mer kvantitative og objektive evalueringsmeter, og forskning for å bestemme sammenhenger mellom de enkelte miljøvariable og nedbrytingsmekanismer/kriterier.

## 6 LITTERATUR

- Haagenrud, S. (1977) Atmosfærisk korrosjonsprøving av umalte og malte sink- og aluminiumsbelegg på stål, samt umalte og malte sinkrike malingbelegg på stål. Framdriftsrapport nr 1, februar 1977. Lillestrøm (NILU OR 6/77).
- Haagenrud, S., Henriksen, J.F., Anda, O. (1981) Atmosfærisk korrosjonsprøving av umalte og malte sink- og aluminiumbelegg på stål samt umalte og malte sinkrike malingbelegg på stål. Framdriftsrapport nr 4, 3 1/2 års felteksponeering. Lillestrøm (NILU OR 16/81).
- Elgåsen, E.H., Sjøstrøm, Ch. (1983) Studier i husurval och akselererad provning. Gävle (Statens institutt for byggnadsforskning. Meddelande M83:10).
- NATO Advanced research workshop: (1984) Problems in service life prediction of building and construction materials. Lillestrøm (NILU RR 21/84).
- Johansson, E. (1985) Korttidsmeter for atmosfærisk korrosjonsprovning. Litteraturstudie. Stockholm, Korrosionsinstituttet.
- Campbell et al. (1973) A study to evaluate techniques of assessing air pollution damage to paints. Chicago, Sherwin-Williams Comp. (EPA R3-73-040).
- Martin, J. (1984) Service life prediction from accelerated aging test. In: NATO Advanced research Workshop (in press).
- ISO/TC 156/W67 N178E. (1984): Metallic materials-metallic and inorganic coatings corrosion tests in artificial Atmosphere - general requirements. Geneve.

Tabell 1: Skadegradstall og rust i riss ved feltprøving 1 1/2 år i marint miljø (FO-10 og FO-250) og i salttåketest (ASTM B117) ved NILU. (u) i merknadskolonnen betyr stor uoverensstemmelse mellom feltprøving og salttåke test. Symboler for rust i riss er vist i Bilag 2.

Serie-system	Systembeskrivelse	Skadegrad		Rust i Riss		Skadegrad Salt-Tåke*	Rust i Riss	Merknader */ ca 1000 timer
		FO-10	FO-250	FO-10	FO-250			
<b>SERIE A</b>	<b>METALLISERTE BELEGG</b>							
A1	vZn utettet stål 460°C					0.5		
A2	vZn utettet stål 560°C			X				
A3	vZn tett stål 460°C							
A4	vZn tett stål 560°C							Rustflekker. Hvite sinksalter
A5	Flammesprøytet Zn utettet stål							
A6	Flammesprøytet Zn utettet stål			X				
A7	Lysbuesprøytet Al					0.5		lite salter
A8	Flammesprøytet Al					1.0		
A9	Varmaluminisert Al					(4)		Hele belegget er tæret vekk (U)
<b>SERIE B</b>	<b>METALLISERTE OG OVERMALTE BELEGG</b>							
B10	vZn utettet stål 460°C (80 µm) + 3 strøk alkyd				X			Ikke igjennom
B11	vZn utettet stål (80 µm) + 1 strøk KK	(25)	(3)			(4)		
B12	vZn utettet stål (80 µm) + 3 strøk KK	2	2			(3)		
B13	vZn utettet stål (80 µm) + 3 strøk epoxy	(4)	(4)			(4)		
B14	vZn utettet stål (80 µm) + 1 strøk vinyl (ikke Al-pigment)	15	15			(35)		(U)
B15	vZn utettet stål (80 µm) + 3 strøk vinyl (ikke Al-pigment)				X	(3)		(U)
B16	vZn utettet stål (80 µm) + 3 strøk polyuretan (2-komponent)	(25)		X	X	2		
B17	Flammesprøytet Zn (80 µm) + 3 strøk alkyd					15		
B18	Flammesprøytet Zn (80 µm) + 1 strøk KK					(3)		(U)
B19	Flammesprøytet Zn (80 µm) + 3 strøk KK					(25)		(U)
B20	Flammesprøytet Zn (80 µm) + 3 strøk epoxy			X	X	2		(U)
B21	Flammesprøytet Zn (80 µm) + 1 strøk vinyl (ikke Al-pigment)	(3)	(3)			2		
B22	Flammesprøytet Zn (80 µm) + 3 strøk vinyl (ikke Al-pigment)	(3)			X	2		
B23	Flammesprøytet Zn (80 µm) + 3 strøk polyuretan					2		(U)
B24	Lysbuesprøytet Al (100 µm) + 3 strøk alkyd							
B25	Lysbuesprøytet Al (100 µm) + 1 strøk KK							
B26	Lysbuesprøytet Al (100 µm) + 3 strøk KK	15	1			(3)		(U)
B27	Lysbuesprøytet Al (100 µm) + 3 strøk epoxy	(25)	(25)			(35)		
B28	Lysbuesprøytet Al (100 µm) + 1 strøk vinyl (ikke Al-pigment)					1		
B29	Lysbuesprøytet Al (100 µm) + 3 strøk vinyl (ikke Al-pigment)	(4)	(4)			(3)		
B30	Lysbuesprøytet Al (100 µm) + 3 strøk polyuretan		0.5		X			

Tabell 1: forts.

Serie-system	Systembeskrivelse	Skadegrad		RustiRiss		Skadegrad Salt-Tåke <sup>*)</sup>	Rusti Riss	*) ca 1000 timer Merknader
		Fo-10	Fo-250	Fo-10	Fo-250			
<u>SERIE C</u>	<u>Zn-RIKE MALINGBELEGG</u>							
C31	Zn-etyl silikat			X		1		
C32	Vannbasert alkali Zn-silikat						X	
<u>SERIE D</u>	<u>Zn-RIKE MALINGER &amp; OVERMALING</u>							
D33	Zn-etylsilikat + 3 strøk alkyd	1.5	1			1		
D34	Zn-etylsilikat + 1 strøk KK	1	1			1		
D35	Zn-etylsilikat + 3 strøk KK					0.5		
D36	Zn-etylsilikat + 3 strøk epoxy					(2.5)	X	(U) ikke gjennom i riss
D37	Zn-etylsilikat + 1 strøk vinyl (ikke Al-pigment)					2		(U)
D38	Zn-etylsilikat + 3 strøk vinyl (ikke Al-pigment)	2	2			1		(U)
D39	Zn-etylsilikat + 3 strøk polyuretan	2	2			(2.5)		ikke gjennom i riss
D40	Vannbasert alkali Zn-silikat + 4 strøk alkyd	0.5				1		
D41	Vannbasert alkali Zn-silikat + 1 strøk KK					0.5		
D42	Vannbasert alkali Zn-silikat + 4 strøk KK					1		
D43	Vannbasert alkali Zn-silikat + 3 strøk epoxy					0.5		
D44	Vannbasert alkali Zn-silikat + 1 strøk vinyl (ikke Al-pigment)					(2.5)		(U) toppstrøk flaker av
D45	Vannbasert alkali Zn-silikat + 3 strøk vinyl (ikke Al-pigment)					0.5		
D46	Vannbasert alkali Zn-silikat + 3 strøk polyuretan							
<u>SERIE E</u>	<u>REFERANSESYSTEMER PÅ BART STÅL</u>							
E47	Zn-rik epoxy shopprimer + 3 strøk alkyd	1						
E48	Zn-rik epoxy + 1 strøk KK	(2.5)	(2.5)			(2.5)		
E49	Zn-rik epoxy + 3 strøk KK	1	2			0.5		(U)
E50	Zn-rik epoxy + 3 strøk epoxy		2			0.5		(U)
E51	Zn-rik epoxy + 1 strøk vinyl (ikke Al-pigment)	(4)	(3.5)			1.5		(U)
E52	Zn-rik epoxy + 3 strøk vinyl (ikke Al-pigment)	0.5	2			1		
E53	Zn-rik epoxy + 3 strøk polyuretan	2	2			0.5		(U)
E54	Alkyd	(2.5)	(2.5)			0.5		(U)
E55	Etsprimer + 3 strøk KK	2	1			0.5		(U)
E56	Etsprimer + 3 strøk epoxy	1.5	2			0.5		(U)
E57	Etsprimer + 3 strøk vinyl (ikke Al-pigment)	(3)	(3)			0.5		(U)
F58	Forrustedede prøver + linoljebasert blymønje	(2.5)	(2.5)			2		

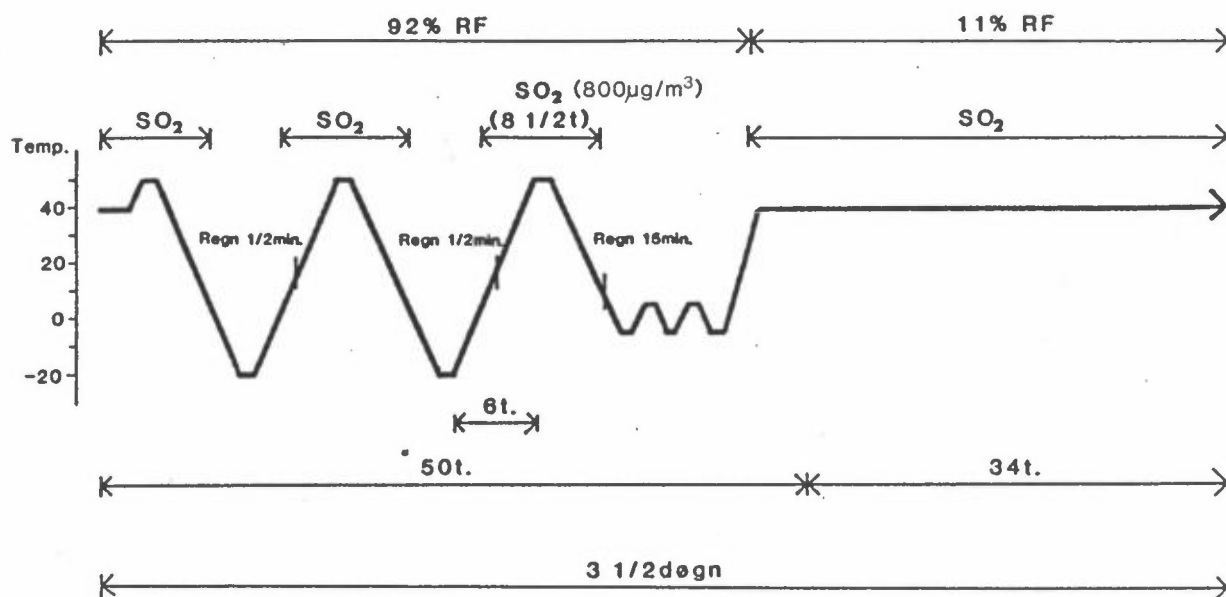
Tabell 2: Skadegradstall for felteksponeering og akselerert SO<sub>2</sub>-test i Weiss klimaskap.

System	Figur nr	Feltprøving		SO <sub>2</sub> -test klimaskap					
		Borregaard		Ubestrålt		Jotun		SP	
		1 1/2 år	3 1/2 år	1500t	3000t	1500	3000	1500	3000
B10(vZn+alkyd)		0	0	0	0	0	0	0	0
D33(Zn-etyl+alkyd)	7	1	1-2	4	4	4	4	4	4
E47(Zn-shop+alkyd)		0	1.5	3-4	4	0.5	4	0.5	4
B.16(vZn+polyu.)		0	2.5	2	1.5	0	0	1.5	1
B.23(fsZn+polyu.)		0	3	0	0	0	0.5	0	0
D39(Zn-etyl+polyu.)		2	2	0.5	4	0.5	1	0.5	4
D46(Zn-alkali+polyu.)	8	3.5	3.5	0.5	1	0.5	2	1-2	1.5-2
E53(Zn-shop+polyu.)	9	2	2	0.5-1	0-0.5	0.5	0.5	0.5	0
B12(vZn+KK)		0	2	0	0	0	0	1.5	1.5
D35(Zn-etyl+KK)	10	0	1.5	1.5-2	2.5	1	1.5	1.5	1.5
E49(Zn-shop+KK)	11	0	1.5	1	1-1.5	1	0.5	1	1-2
B15(vZn+vinyll)		0	1.5-2	0	0	0	0	0.5	0.5

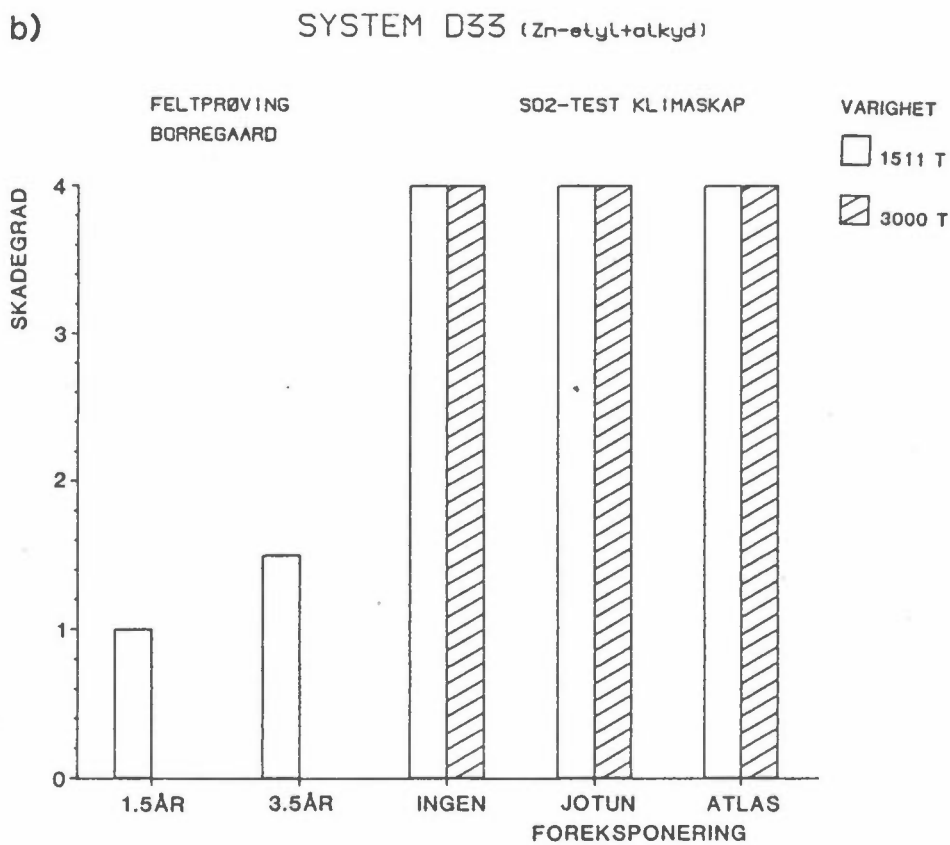
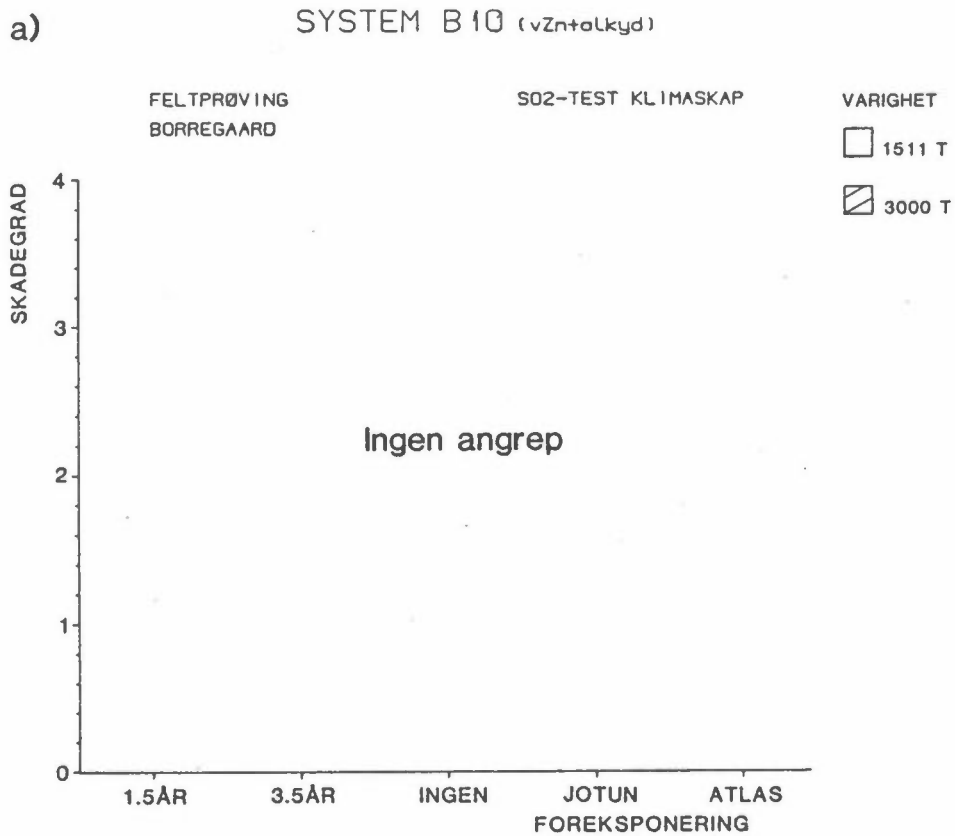
 Tabell 3: Glans målt av NILU før og etter SO<sub>2</sub>-test.

Prøve nr	Glans		Uekspontert Anmerkninger	Forekspontert QUV Jotun			Forekspontert Atlas SP			Borregaard etter 3 1/2 år Etter
	Før	Etter		Glans Før	Glans Etter	Anmerkninger	Glans Før	Glans Etter	Anmerkninger	
B10	5.5	5.7	Avflaket maling måleplaten	9.0	8.4		7.2	7.4		3.1
B12	54.0	52.5		28	29.1	Rust i riss	20.5	22.8	Rust i riss. Avflaking front og bakside.	35.6
B15	15.7	15.7		32.8	32.3	Svakt rust i riss	12.2	12.7	Svakt rust i riss	7.6
B16	87.6	90.1		28	28.6		82.7	81.2		55.6
B23	55.0	56.7		33	25.7		58	60.4		32.9
D33	5.3	5.0		7.5	7.1	Rust i riss	7.0	5.8	Svakt rust i riss	2.7
D35	45.3	41.0	Ru overflate midt på platen	40	44.2	Rust i riss	24	22.1	Rust i riss	14.5
D39	88	87.3		34	32.6	Svakt rust i riss	79.5	78.3		39.5
D46	86	82.4		37	41.6		81.0	83.4		66.5
D47	5.6	5.7		8.0	7.8	Rust i riss	7.6	7.9	Rust i riss	3.0
E49	57	57.5	Sammenklebet. Ru midt på platen	50	44.6	Rust i riss	28	25.0	Rust i riss. Mest høyre side	14.5
E53	87	88.8		57	55.0	Litt rust i riss	83	84.8	Rust i riss	33.0

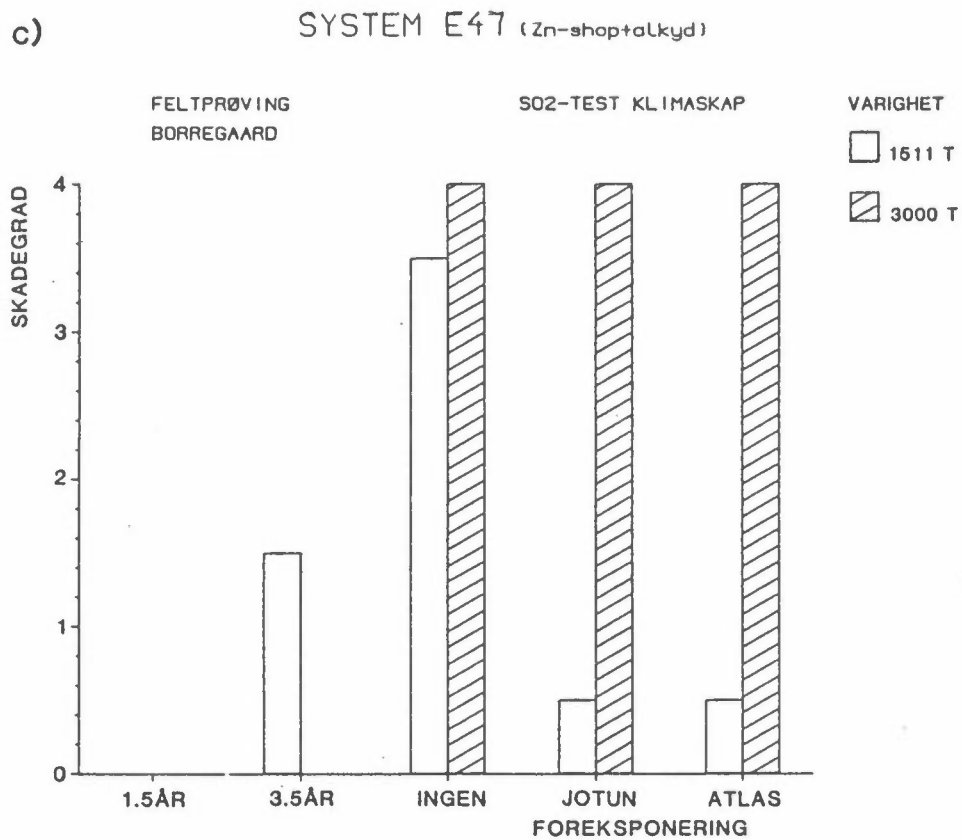
## Klimatest - industriatmosfære



Figur 1: Prøveprogram for akselerert prøving i  $\text{SO}_2$ -industriatmosfære i Weiss klimaskap.

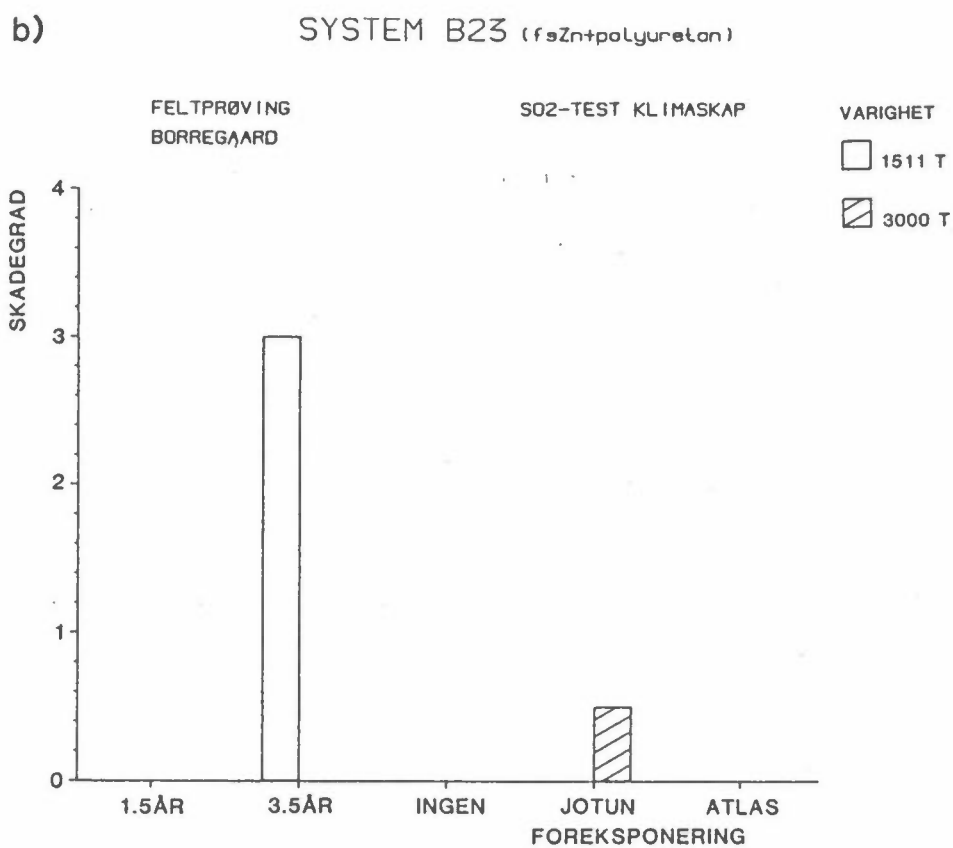
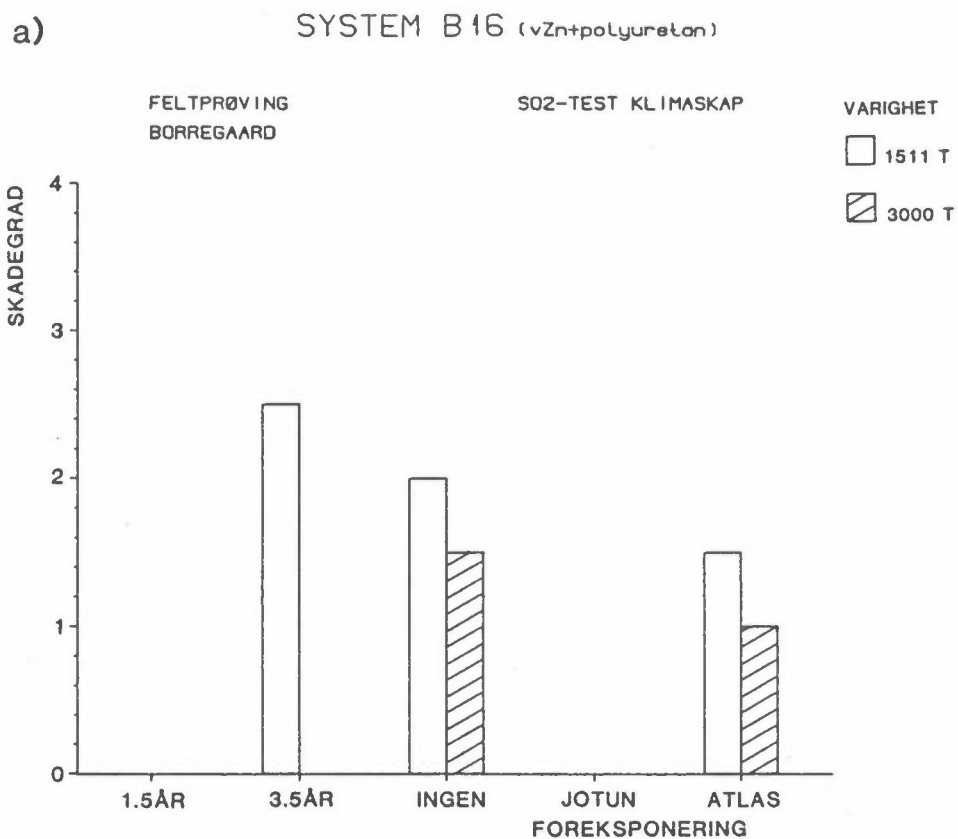


Figur 2: Skadegradstall for alkydovermaling på ulike underlag etter akselerert SO<sub>2</sub>-test i klimaskap.

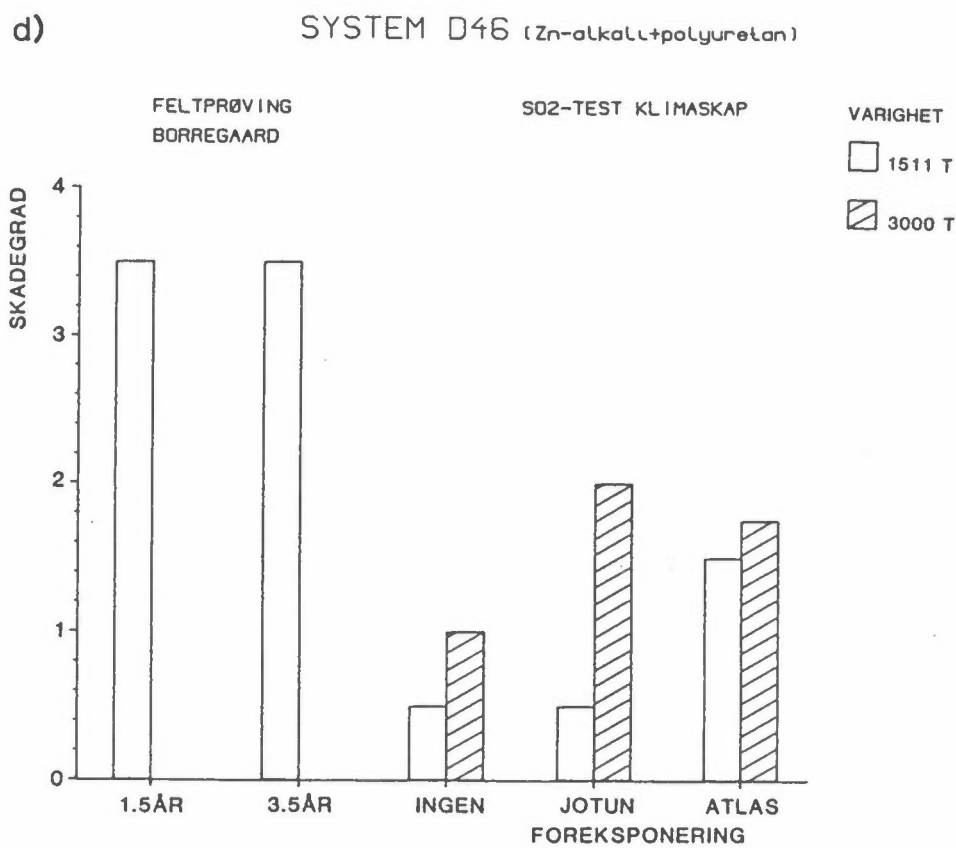
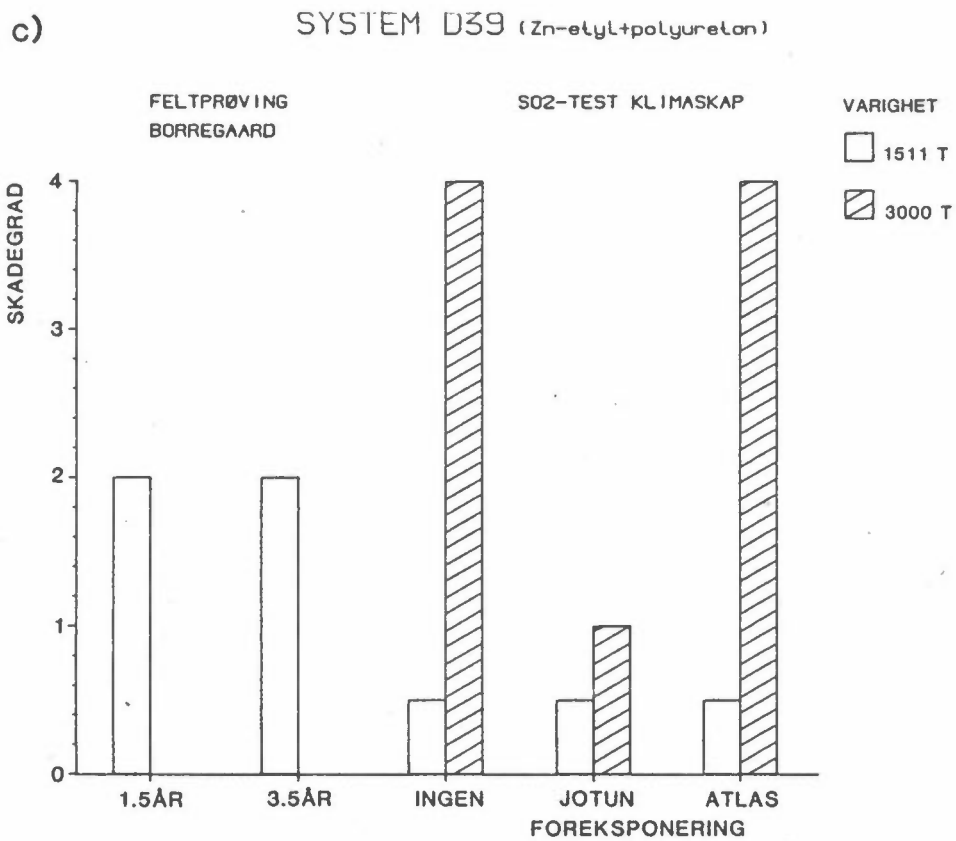


Figur 2: forts.





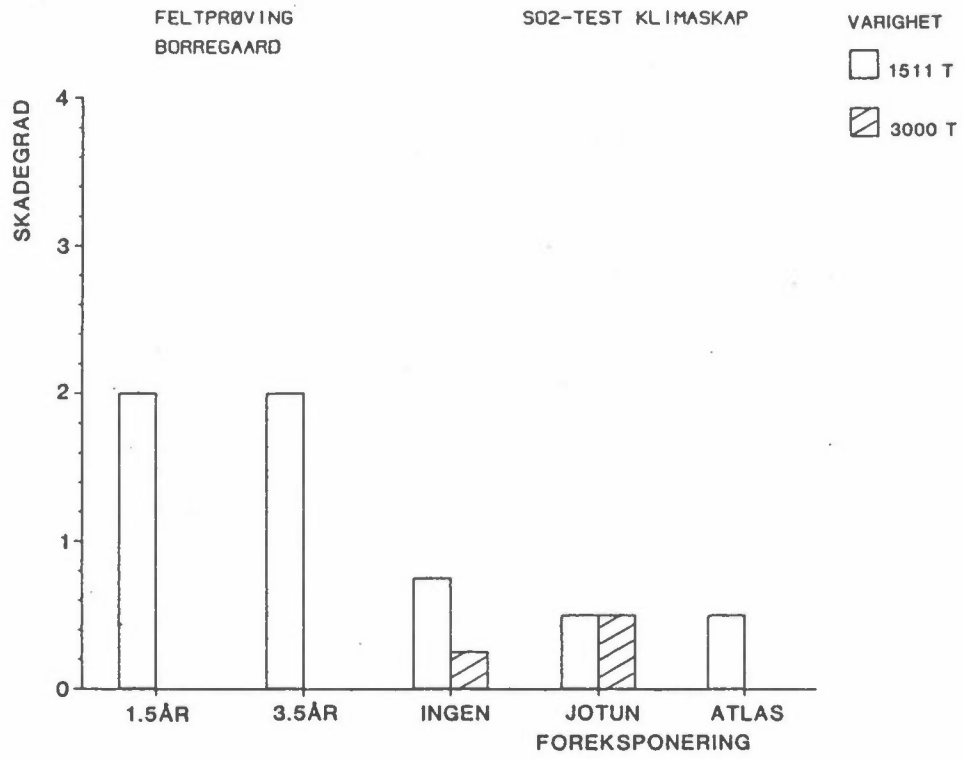
Figur 3: Skadegradstall for polyuretanovermaling på ulike underlag etter akselerert SO<sub>2</sub>-test i klimaskap.



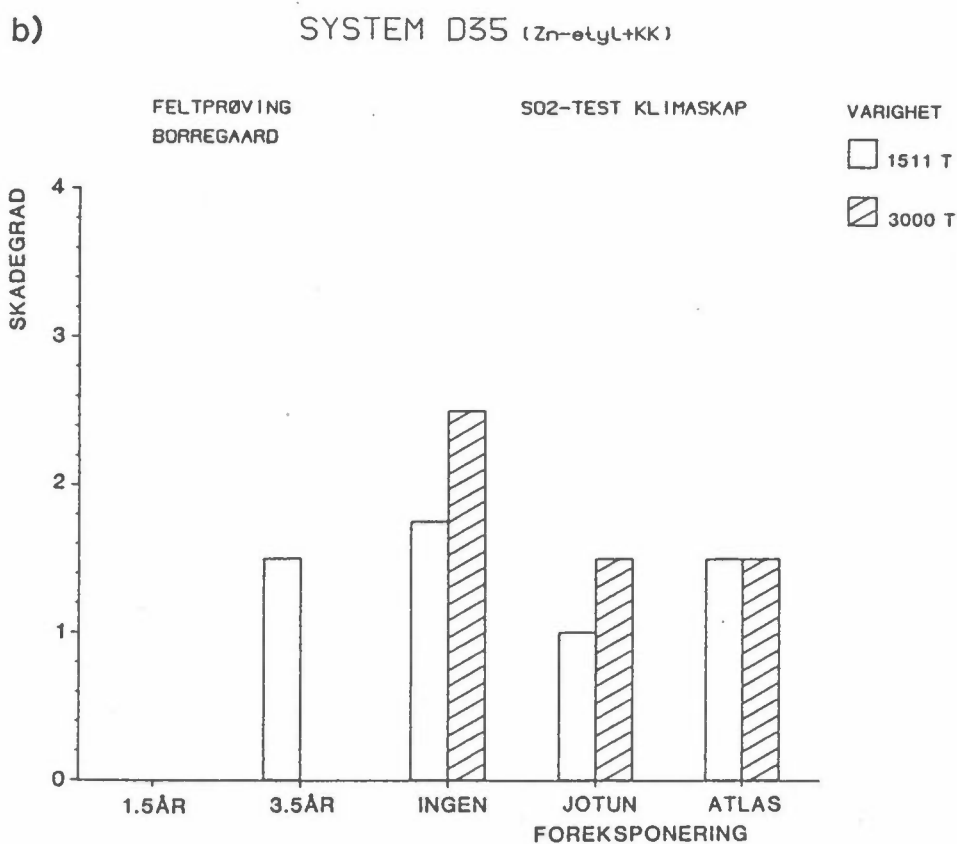
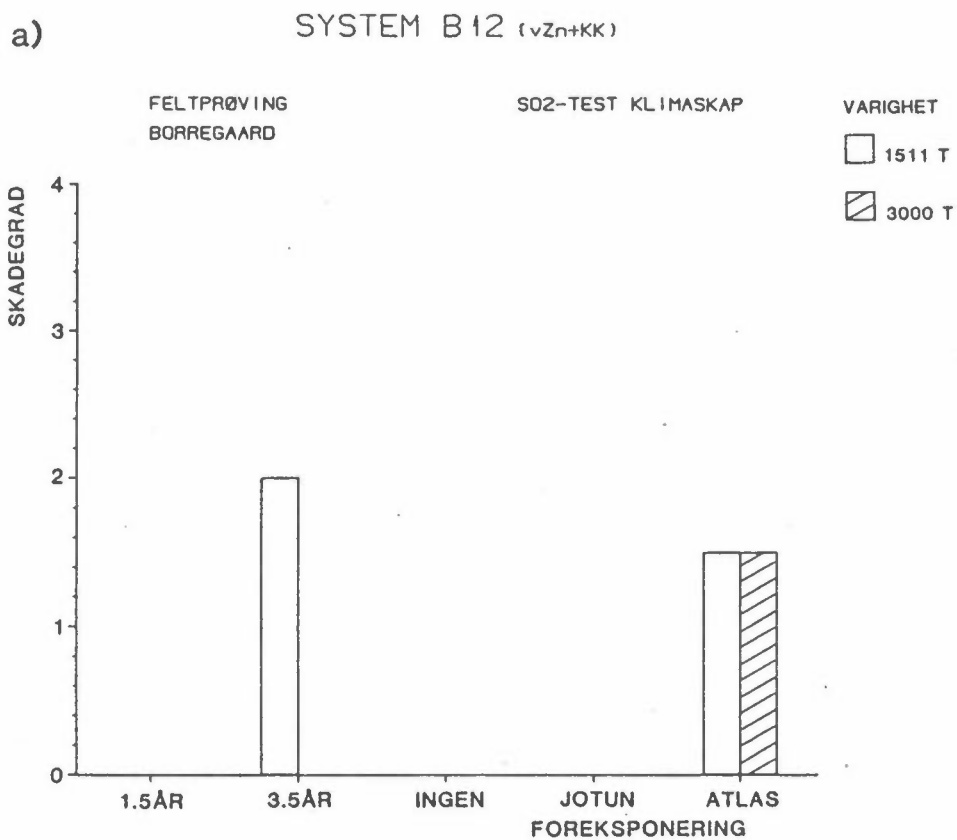
Figur 3: forts.

e)

## SYSTEM E53 (Zn-shop+polyuretan)



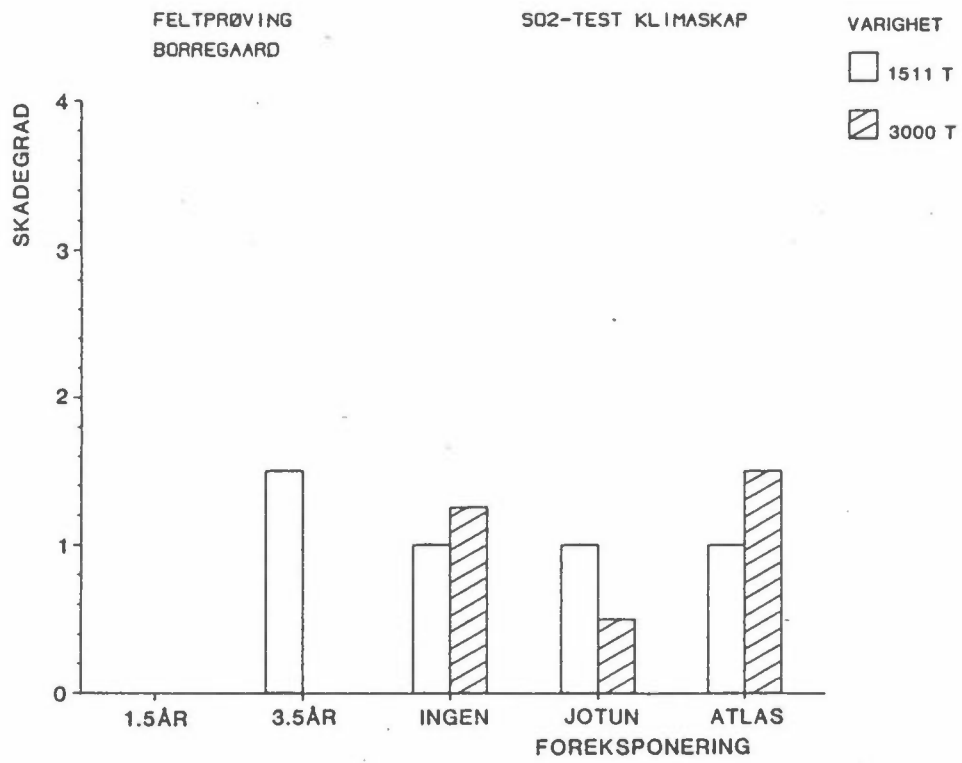
Figur 3: forts.



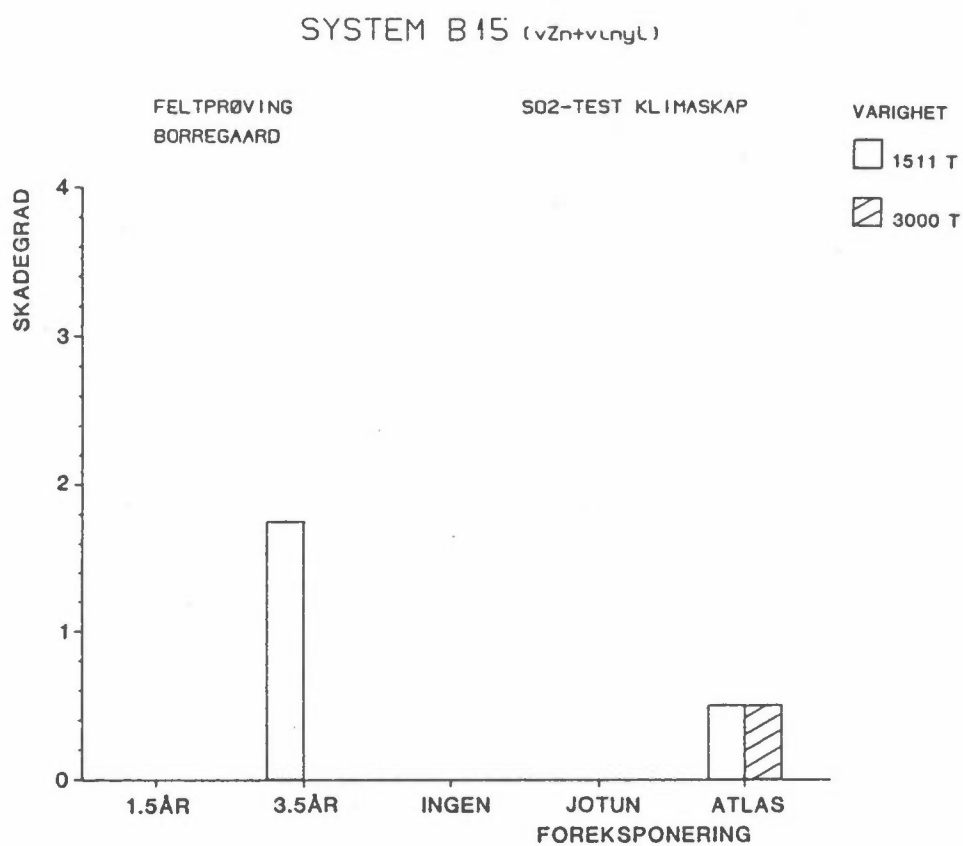
Figur 4: Skadegradstall for klorkautsjukovermaling (KK) på ulike underlag etter akselerert SO<sub>2</sub>-test i klimaskap.

c)

## SYSTEM E49 (Zn-shop+KK)



Figur 4: forts.

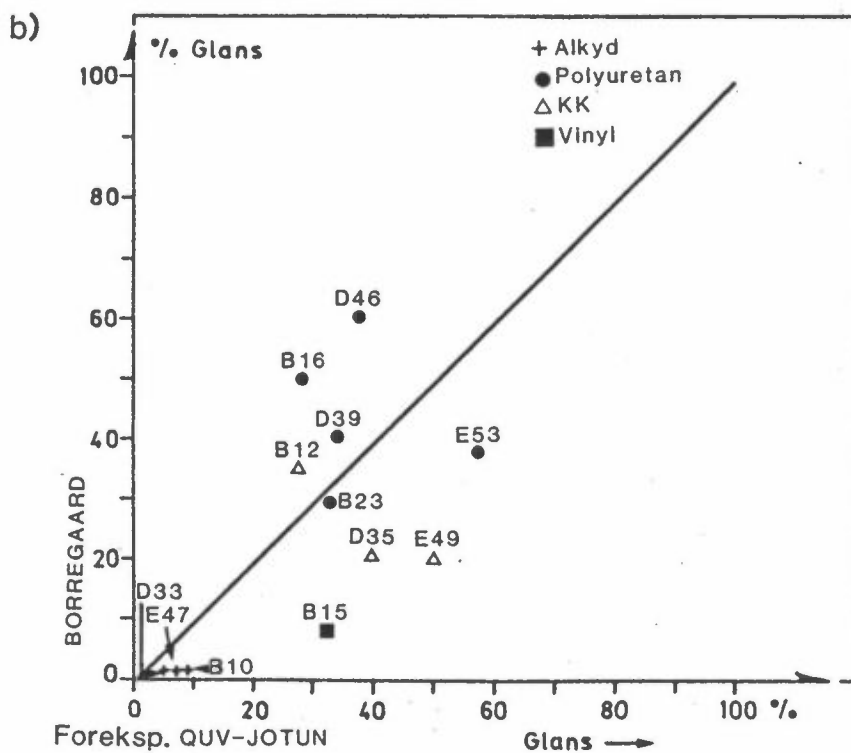
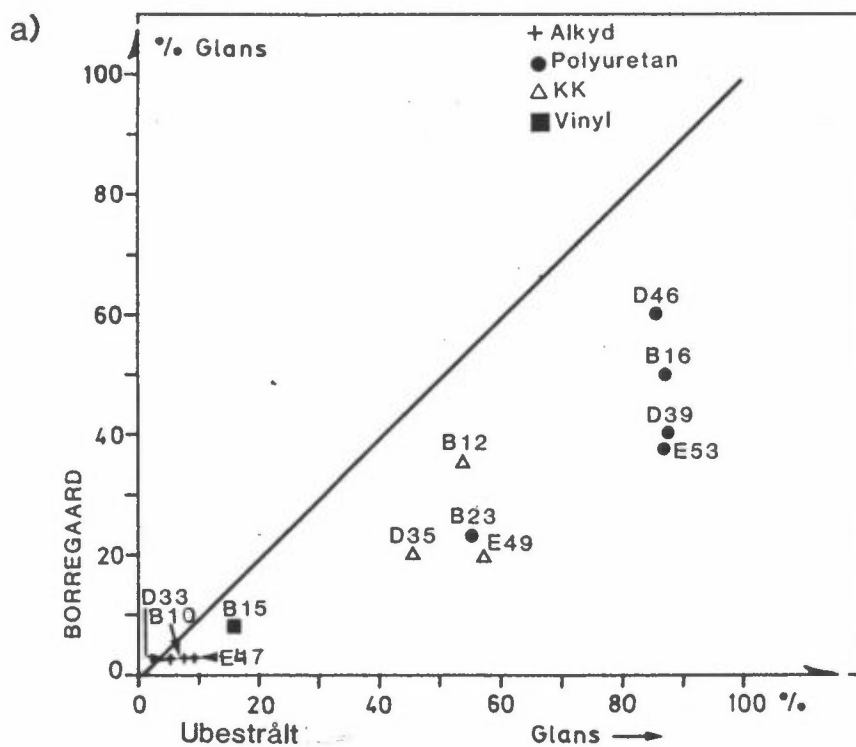


Figur 5: Skadegradstall for vinylovermaling på varmforsinket underlag etter akselerert SO<sub>2</sub>-test i klimaskap.

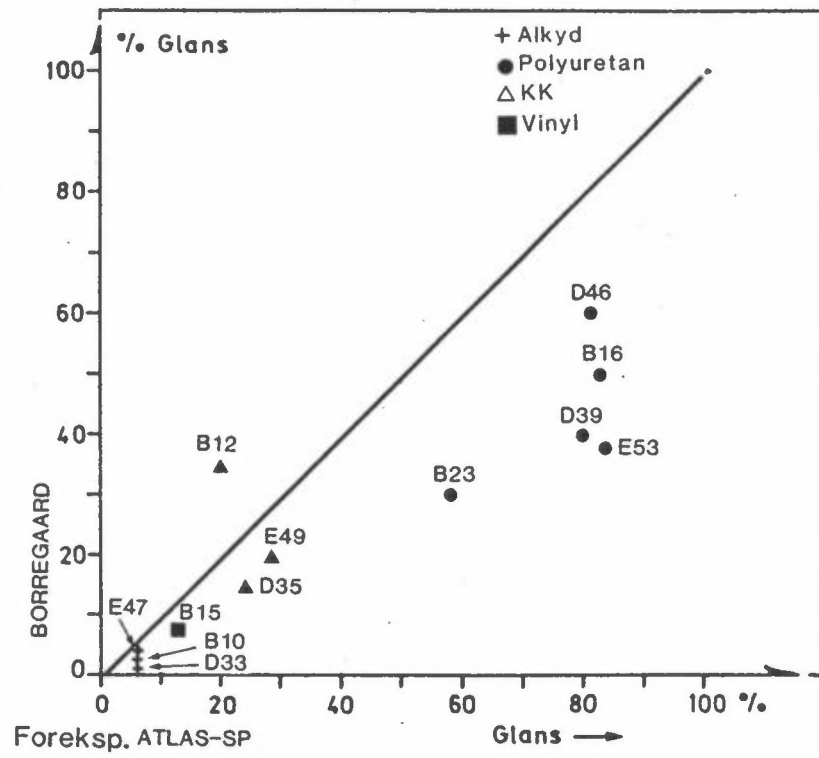




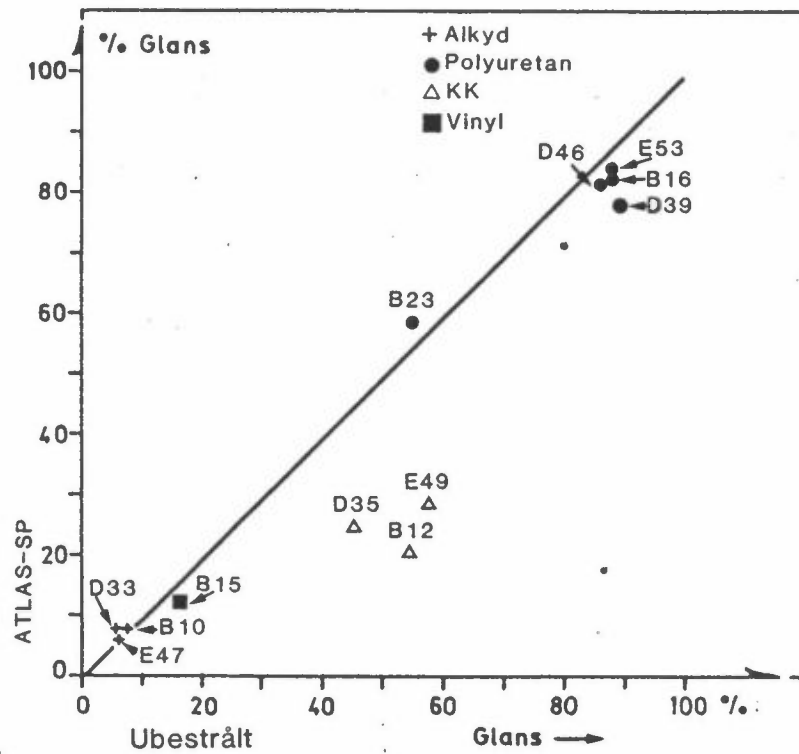




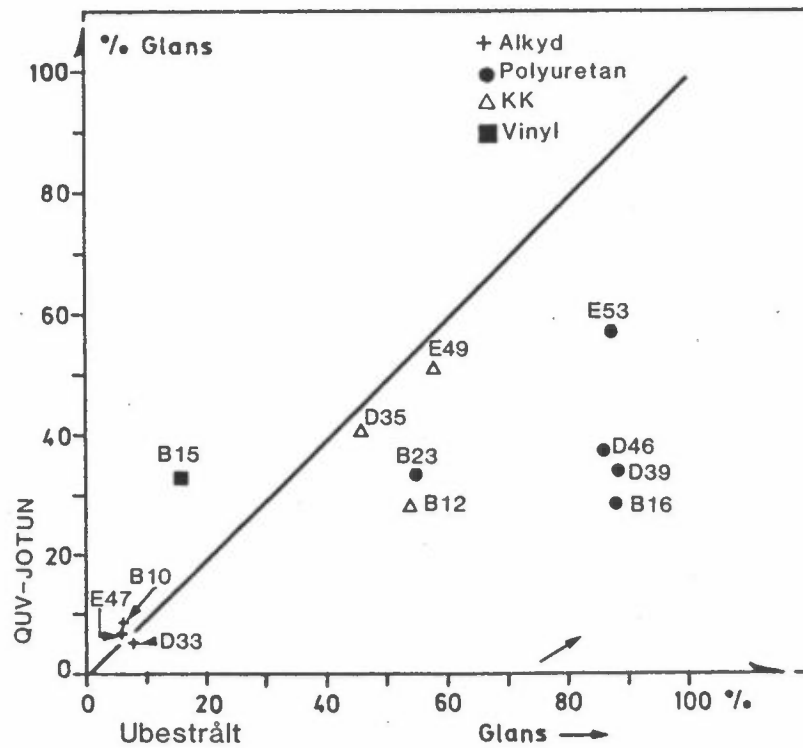
Figur 11: Glanstep ved 3 1/2 års felteksponering på Borregaard sammenlignet med glanstep ved ueksponerte prøver (a) og ved prøver foreksp. QUV-JOTUN (b) og i Atlas værometer ved SP (c). Hvis det er samme glanstep ligger "systemet" på 45° linjen ( $y=x$ )



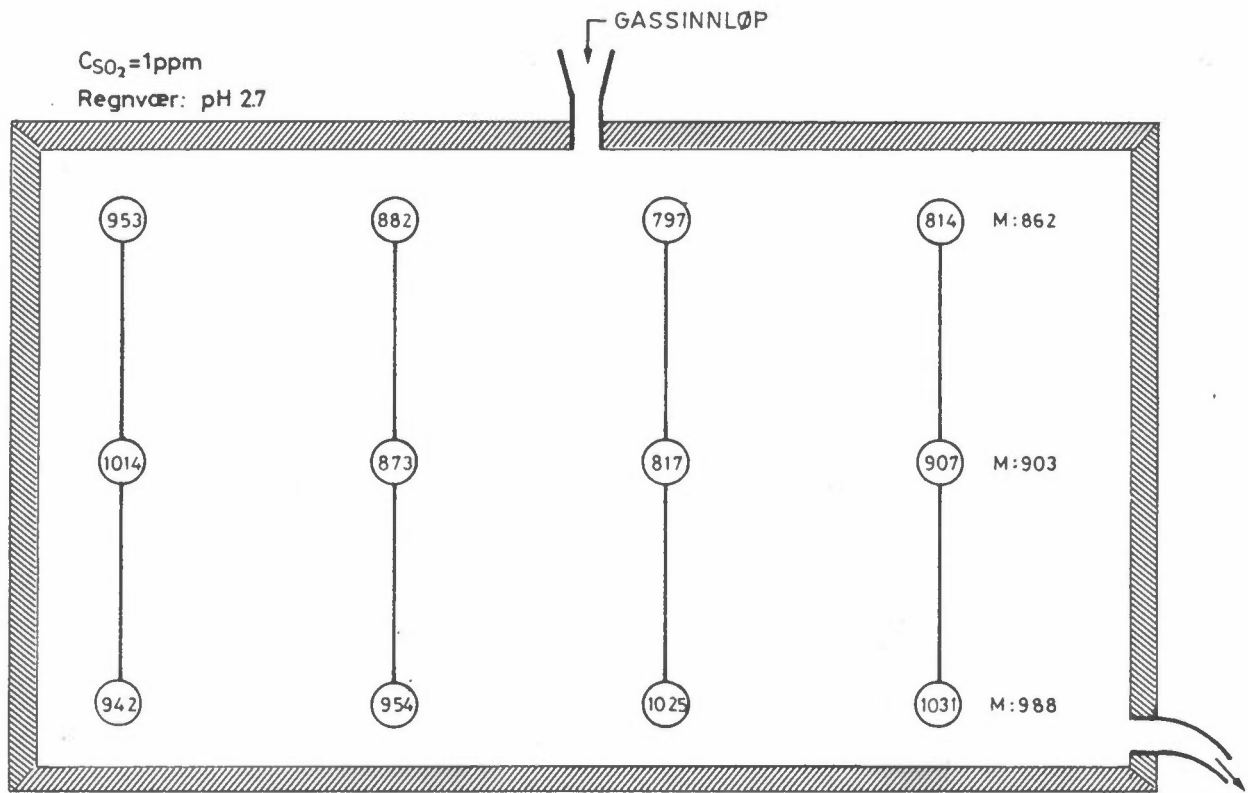
Figur 11: forts.



Figur 12: Glanstap ved prøver forekspnert 1000 timer i Atlas værometer og ved uekspnerte prøver.



Figur 13: Glanstap ved prøver forekspnert 1000 timer i Jotun QUV-kammer og ved uekspnerte prøver.



Figur 14: Korrosjon av Fe-plater ( $\text{g/m}^2$ ) ved  $\text{SO}_2$ -test 1983-11-23--84-01-27 (~1500 timer).

**BILAG 1**

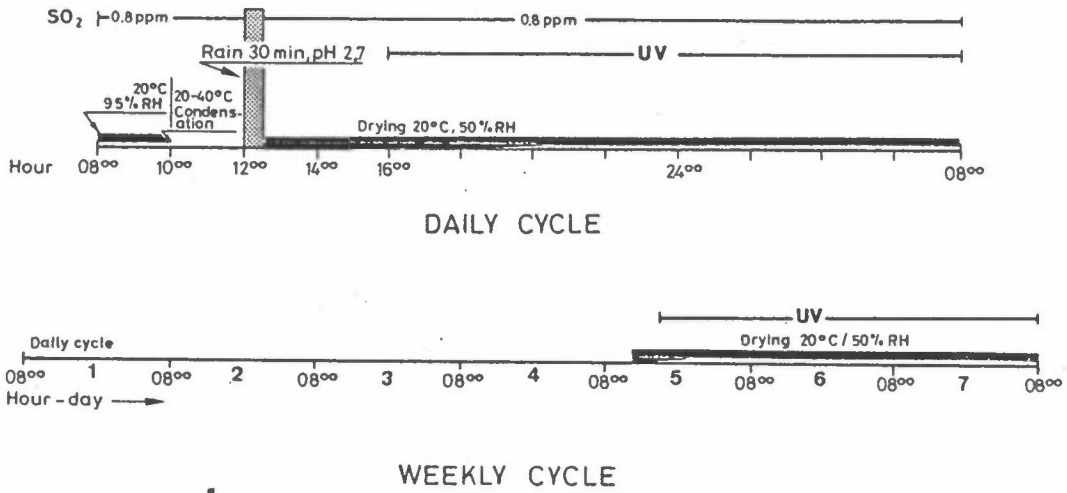
Prøveprogrammer + beskrivelser av systemer og skadegrad.

Tabell 81.2: Inndeling av skadegrad\*.

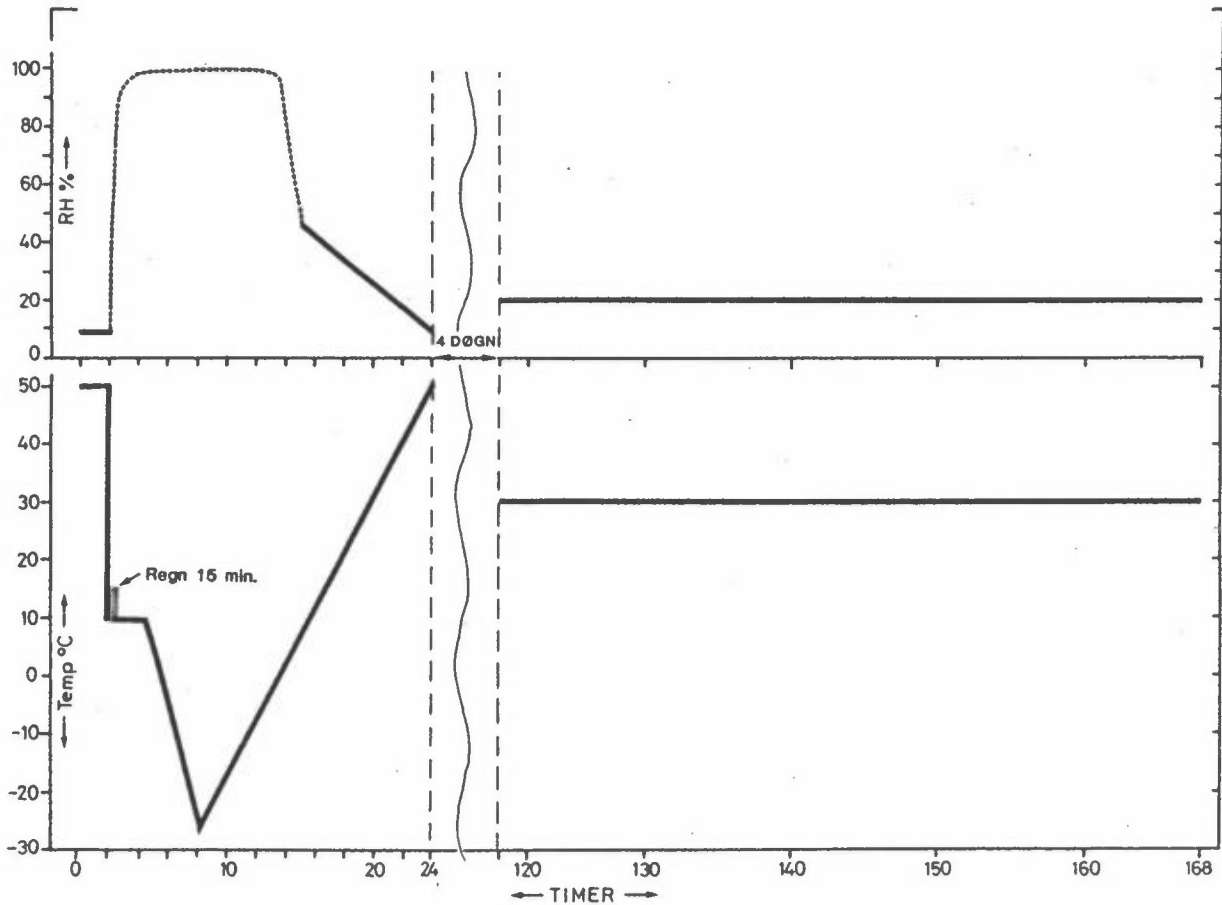
Beskrivelse av skadegrad	Metallbelegg		
	Skadegrad	(Motsvarende klassifiserings-tall NS 1191)	Malingbelegg Skadegrad
Få eller ingen svakheter	0	(10,9)	0
Synlige, men ubetydelige svakhetstegn	1	(8,7)	1
Tydelige svakhetstegn	2	(6,5)	2
Alvorlige svakhetstegn	3	(4,3)	3
Mer eller mindre defekt	4	(2,1,0)	4

\* Grunnlaget for bestemmelse av skadegrad er gitt i Bilag 2, sammen med de detaljerte resultatene av evalueringene etter SO<sub>2</sub>-testen.

# ACCELERATED TESTING INDUSTRIAL ATMOSPHERE



Figur 81.1: Prøveprogram for akselerert prøving i SO<sub>2</sub>-industriatmosfære i Feutron klimaskap.



Figur 81.2: Skjematisk prøveprogram for RH og T i Weiss klimaskap.

Tabell B1.1: Skadegradstall for alle stasjoner etter ca 3 1/2 år.

For de kombinerte metalliserte/malte belegg (B-serien) gjelder skadegradstallet i venstre kolonne metallbelegget og høyre kolonne malingbelegget.

Serie-system	System type	MILJØ	Sur ind.	Marin skvett	Marin	Alkalisk ind.	Sur nedbør	By/Marin	
		STASJON	BO	FO-10	FO-250	TA	BI	MA	
SERIE A	METALLISERTE BELEGG		0	0	0	0	0	0	
	A1	vZn utettlet stål 460°C (80-120 µm)	0	0	0	0	0	0	
	A2	vZn utettlet stål 560°C (80-120 µm)	0	0	0	0	0	0	
	A3	vZn tettlet stål 460°C (180-220 µm)	0	0	0	0	0	0	
	A4	vZn tettlet stål 560°C (80-120 µm)	0	0	0	0	0	0	
	A5	Flammesprøytet Zn utettlet stål (120 µm ± 20%)	0	0	0	0	0	0	
	A6	Flammesprøytet Zn utettlet stål (230 µm ± 20%)	0	0	0	0	0	0	
	A7	Lysbuesprøytet Al (170 µm ± 20%)	0	0	0	0	0	0	
	A8	Flammesprøytet Al (160 µm ± 20%)	0	0	0	0	0	0	
Fig. 4	A9	Varmaluminisert Al (25 µm)	3(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(0)	2(0)	
SERIE B	METALLISERTE OG OVERMALTE BELEGG		Alle de metalliserte belegg i B-serien har skadegradstall 0						
	B10	vZn utettlet stål 460°C + alkyd (NSB)	0	2	1,5	0	0	0	
	B11	vZn utettlet stål + 1 strok KK	3	3-4	3-4	1,5	3	2-3,5	
	B12	vZn utettlet stål + KK	2	2	2	0	1	1,5	
	B13	vZn utettlet stål + epoxy*	AVFLAKING ALLE STASJONER						
	B13e (2 1/2 år)	vZn utettlet stål + etsprimer/epoxy*	1,5	1	0	0	0-0,5	1	
	B13f (2 1/2 år)	vZn utettlet stål + fosfativering/epoxy*	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5-4	3,5-4	
	B14	vZn utettlet stål + 1 strok vinyl (ikke Al-pigment)	2-2,5	4	2,5	0	1,5-2	2	
	B15	vZn utettlet stål + vinyl (ikke Al-pigment)	1,5-2	3	2	0	1,5-2	1-1,5	
	B16	vZn utettlet stål + polyuretan	2,5	1,5	1,5	0,5(1,5)	1,5	1,5	
	B17	Flammesprøytet Zn (140 ± 30%) + alkyd	0	0	0	0	0,5	0	
	B18	Flammesprøytet Zn + 1 strok KK	0,5	2	2	0	1,5	0	
	B19	Flammesprøytet Zn + KK	0	0,5	0,5	0	0	0	
	B20	Flammesprøytet Zn + epoxy*	1,5	0,5-1	0,5	0	0	0,5	
	Fig. 5	B21	Flammesprøytet Zn + 1 strok vinyl (ikke Al-pigment)	1	4	2,5-3	0	0	0,5
	B22	Flammesprøytet Zn + vinyl (ikke Al-pigment)	1	2,5	1,5-2	0	0	0	
	Fig. 6	B23	Flammesprøytet Zn + polyuretan	3	0,5	0,5-2	0	3	3,5
	B24	Lysbuesprøytet Al (120 ± 30%) + alkyd	0	0	0	0	0	0	
	B25	Lysbuesprøytet Al + 1 strok KK	0	0,5	0,5	0	0	0	
	B26	Lysbuesprøytet Al + KK	1-2	2	1-2	0	1	0,5	
Fig. 7	B27	Lysbuesprøytet Al + epoxy*	2-2,5	3,5	3,5	0-0,5	1,5	2,5	
B28	Lysbuesprøytet Al + 1 strok vinyl (ikke Al-pigment)	0	0	0	0	0,5	0,5		
Fig. 8	B29	Lysbuesprøytet Al + vinyl (ikke Al-pigment)	1,5	4	4	0	0	0	
B29 (2 1/2 år)	Lysbuesprøytet Al + vinyl (ikke Al-pigment)	2	4	3	0	0,5	1		
B30	Lysbuesprøytet Al + polyuretan	0	0-0,5	0-0,5	0	0	1		

\* Primer i epoxysystemet feilblandet



Tabell B1.1: forts.

Serie-system	System type	MILJØ	Sur ind.	Marin skvett	Marin	Alkalisk ind.	Sur nedbør	By/Marin
		STASJON	BO	FO-10	FO-250	TA	BI	MA
<b>SERIE C</b>	<b>Zn-RIKE MALINGSBELEGG</b>							
C31	Zn-etylsilikat		2,5-3	1 ?	1 ?	0	0-0,5	0,5
C32	Vannbasert Zn-alkaliesilikat		0,5	0,5	0,5	0	0	0
<b>SERIE D</b>	<b>Zn-RIKE MALINGER OG OVERMALING</b>							
D33	Zn-ethylsilikat + alkyd		1-2	2	1,5	0,5-1	0,5	0,5
D34	Zn-ethylsilikat + 1 strøk KK		1,5	3	2,5-3	0	1,5	1,5
D35	Zn-etylsilikat + KK		1,5	2	1,5	0	0,5	1,5
D36	Zn-etylsilikat + epoxy *		1,5	1,5-2	1,5	0	1,5	1,5
D37	Zn-etylsilikat + 1 strøk vinyl (ikke Al-pigment)		2	2,5	2	0	1,5	1
D38	Zn-etylsilikat + vinyl (ikke Al-pigment)		1,5	1,5-2	1,5-2	0,5-1	1,5	1,5
D38 (2 1/2 år)	Zn-etylsilikat + vinyl (ikke Al-pigment)		1,5	2,5	1,5-2	2,5-3	1,5	1
D39	Zn-etylsilikat + polyuretan		2	1,5	1-1,5	0,5	1,5	1,5
D40	Vannbasert Zn-alkaliesilikat + alkyd		1,5-3	2	2	3	3,5	3-3,5
D41	Vannbasert Zn-alkaliesilikat + 1 strøk KK		1	1,5	0-0,5	0	3-3,5	1,5
D42	Vannbasert Zn-alkaliesilikat + KK		0,5	0,5-1	0,5	0	0	0,5
D43	Vannbasert Zn-alkaliesilikat + epoxy *		1	0,5	0	0	0,5 (1,5)	1,5
D44	Vannbasert Zn-alkaliesilikat + 1 strøk vinyl (ikke Al-pigment)		1	1,5	1	2	3	0,5
D45	Vannbasert Zn-alkaliesilikat + vinyl (ikke Al-pigment)		1,5	1,5-2	1,5	1,5	1,5	1
D46	Vannbasert Zn-alkaliesilikat + polyuretan		3,5	1,5-2	0,5-1	4	4	3-3,5
<b>SERIE E</b>	<b>REFERANSESYSTEMER</b>							
E47	Zn-rik epoxy shopprimer + alkyd		1,5	2	1,5	0	1,5	1
E48	Zn-rik epoxy shopprimer + 1 strøk KK		2	2-3	2,5-3	0-0,5	1,5	1
E49	Zn-rik epoxy shopprimer + KK		1,5	2	2	0(1)	1	0,5 (1,5)
E50	Zn-rik epoxy shopprimer + epoxy *		2,5-3	2-2,5	2	0	2	1,5-2
E51	Zn-rik epoxy shopprimer + 1 strøk vinyl (ikke Al-pigment)		2,5	4	4	0,5 (1,5)	1,5-2	1
E52	Zn-rik epoxy shopprimer + vinyl (ikke Al-pigment)		1,5-2	2,5	2	0	1,5-2	1-1,5
E53	Zn-rik epoxy shopprimer + polyuretan		2	1,5-2	1,5	0 (1)	1,5	1,5
E54	Etsprimer + alkyd		2	2,5	2	0 (1)	2	0,5-1
E55	Etsprimer + KK		2	2-2,5	1,5	0-0,5	1,5	1
E56	Etsprimer + epoxy *		2	3	3	0 (2)	2	1,5
E57	Etsprimer + vinyl (ikke Al-pigment)		2	2,5-3	2	0	1,5	1-1,5
F58	Forustede prøver + linoljebasert blymenje + alkyd		3	3	3	2,5	1,5	2-3,5

Fig. 9

Fig. 10

\* Primer i epoxysystemet feilblandet.

**Tegnforklaring:**

Skadegradstall i ( ) betyr bakside.

To skadegradstall adskilt med - betyr forskjell i parallellene.

? = Opprinnelig belegg så forandret at sikker evaluering er vanskelig.

**BILAG 2**

Evaluering etter SO<sub>2</sub>-test.

## **FORKLARING TIL TABELL B2.1. LABORATORIE-EVALUERING ETTER SO<sub>2</sub>-TEST**

Kolonne 2 angir tilstanden på testplatens overflate i området upåvirket av riss. Det er anvendt bl.a. ASTM's standard for malingblørers størrelse og tetthet gradert 2-4-6-8 (ASTM D714). 2 representerer de stor 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 (midels 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 blæredannelser som vanskelig lar seg beskrive av ASTM-Std.

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.










OBS: Kolonne 2 bør aldri leses isolert, men i sammenheng med kolonne 4 og 6.

Kolonne 3 benytter de samme symboler som kolonne 2. Det kan være vanskelig å benytte ASTM standarden 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 (max.verdi) malingen er fjernet, enten pga. underrusting eller avflaking. Den gir nødvendigvis ikke tilstrekkelig informasjon om eventuell heftsvikt. Det bør imidlertid gå frem av skadegradstallet i kolonne 6.

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

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


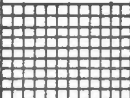
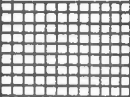
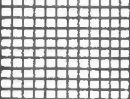
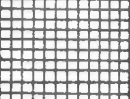

	lite	Ubetydelig korrosjon. Gir seg gjerne utslag i
	ca 1/2 risseareal	et lyst og løst brunlig pulveraktig støv som
	hele risseareal	dekker rissebunnen mer eller mindre.
	lite	Fast rust med vanlig brun farge, men relativt
	ca 1/2 risseareal	tynt lag, ikke "kakeaktig".
	hele risseareal	
	lite	Kraftig rustangrep som gir tykke rustlag,
	ca 1/2 risseareal	gjør i kaker. Det kan være stor gradsfor-
	hele risseareal	skjell 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 rettfærdig 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. Se tabell 5 i hovedrapport. Standardene er vist i figur 1. Skadegradstallet skal gi en vurdering av metallbelegget eller malingbelegget.

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

Tabell B2.1: EVALUERING ETTER 1500 TIMERS EKSPONERING I SO<sub>2</sub>-TESTINGEN FOREKSPONERING

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)	Skadeutbredelse (mm)	Rust i riss		
B10	N	N	0	0	0	5: Hvit oksyd
B12	N	N	0	0	0-0.5	2: Mye papir
B15	N	N	0		0	
B16	(N)	N	3A	0	2	2: Virker sprø. Lyse små flekker på forside, og ene øvre kant bakside. I nærheten av riss (nedenfor) synes malingen å slippe.
B23	(N)	N	0	0	0	2: Små lyse flekker forside
D33					4	Malingen falt av
D35	N	6D	1		1.5-2	Mek.skade bakside
D39	Fors. N Bakside: sluppet	N	1A	0	Forside: 0.5 Baks.: 4	2: Små lyse flekker på forside
D46	(N)	N	0		0-0.5	2: Små lyse flekker fors. Bakside har en stor blære øvre kant ( )
E47	(dH)	4M	Irrelevant		4	2: Forside helt defket, bakside adskillig bedre (skadegrad 3)
E49	(N)	8D	0.5		1	2: Mye mek.skader gir stykke rustskader
E53	(N)	N	0.5R		0.5	2: Lyse små flekker forside

KOMMENTARER:

Tabell B2.2: EVALUERING ETTER 3000 TIMERS EKSPONERING I SO<sub>2</sub>-TESTINGEN FOREKSPONERING




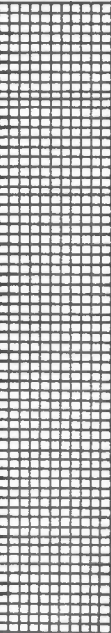
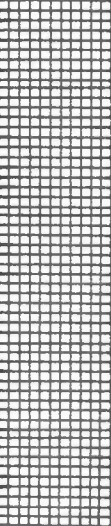
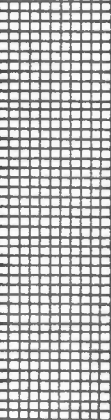
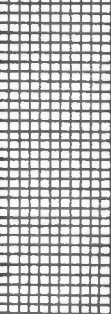
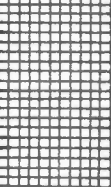
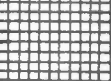
1	2	3	4	5	6	Merknader (m/ref. til kolonne)
System nr.	Tilstand utenfor riss	Tilstanden ved riss			Skade- grad (totalt)	
		Blærer (ASTM st)	Skadeut- bredelse (mm)	Rust i riss		
B-10	OK	0	0	0	0	
B-12	"	0	0	spor	0	
B-15	"	0	0	spor	0	
B-16	se (2)	0	sprøde > 10	0	1.5	(2) Små gule flekker over hele forsiden, mest øverst, også største flekken der. Få og store flekker bare helt øverst på baksiden*
B-23	Som B-16	0	0	0	0	
D-35	Se (2)	Tendens langs riss	1	ja	F: 25 B: 4	(2) Krakkeleringstendenser begge sider Avflaket
D-39	(2)	Tendens	∞	litt	4	(2) Malingen sluppet på begge sider Gulflekket som B16
D-46	(OK)	0	0-	nokså mye	1	(2) Gulflekket som B16. B: Blære avflasset øvre kant. Virker sprø, men lite å se ennå
E-47					4	Malingen av på begge sider
E-49	Se (2)	ja	1	ja	1-1.5	(2) F: Krakkeleringstendenser (små) B: Salt eller oksydavsetninger
E-53	(OK)	0-	0-	god del	0-0.5	(2) Gulflekket som B16

## KOMMENTARER:

\*Disse små gulaktige flekkene er egentlig hvite og synes være Zn-oksyder. De går gjennom 1. sjikt og går litt ned i 2. sjikt, men neppe til metall.

Tabell B2.3: EVALUERING ETTER 1500 TIMERS EKSPONERING I SO<sub>2</sub>-TEST

FOREKSPONERING: 1000 TIMER I Q-U-V KAMMER HOS JOTUN

1	2	3	4	5	6	Merknader (m/ref. til kolonne)
System nr.	Tilstand utenfor riss	Tilstanden ved riss			Skadegrad (totalt)	
		Blærer (ASTM st)	Skadeutbredelse (mm)	Rust i riss		
B10	N	N	0		0	5:For det meste hvit oksyd Partielt blanke flekker på bakside
B12	(N)	N	1A på nedre riss		1	2:Målingen sprukket langs <u>ene</u> side, særlig på baksiden hvor det også er blærer. Fenomenet skyldes sannsynligvis kuttingen.
B15	N	N	(tendens A)		0	
B16	N (m/ forside)	N	0	0	0	
B23	N m/ forside	N	0	0	0	
D33					4	Malingen falt av
D35	N	N	2A		1-1.5	
D39	N	N	1A,R		0.5	
D46	N	N	0		0.5	Sprø? Stor blære avflaket i et hjørne?
E47	N (bakside dH)	N	0		Forside: 0.5 Baks.: 3	2:Bakside sprekker opp og flaker av. Endel blanke flekker
E49	N	7D	0.5		1	
E53	N	N	0.5R		0.5-1	

KOMMENTARER:

Tabell B2.4: EVALUERING ETTER 3000 TIMERS EKSPONERING I SO<sub>2</sub>-TEST

FOREKSPONERING: 1000 TIMER I Q-U-V KAMMER HOS JOTUN




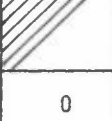
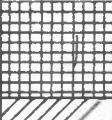

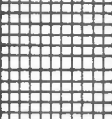
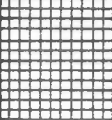
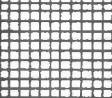

1	2	3	4	5	6	Merknader (m/ref. til kolonne)
System nr.	Tilstand utenfor riss	Tilstanden ved riss			Skade-grad (totalt)	
		Blærer (ASTM st)	Skadeutbredelse (mm)	Rust i riss		
B-10	OK	0	0	0	0	(2)Litt flekket på baksiden flate blanke gulbrune flekker (Zn-oksyd?)
B-12	F: OK B: se(2)	(0)	0-(1)	litt	F-0 B-2.5	(2)Oppsmuldret ene kant på bakside (også blærer her). Ca 1 cm fra kant og innover altså smalt område
B-15	OK	0	0(-)	litt	0	
B-16	Se (2)	0	0	0	0	(2)Matt på F. På B meget få store gule flekker helt øv.
B-23	Lys matt flekket	0-	0	spor	0.5	(3)Tendens, særlig mellom riss. Type oksydfylte malingsblærer
D-35	F-OK se (2)	0-	5	ja	1.5	(2) B har tendens til krakkelering
D-39	sprø se (2)	0-	1	"	F-1 B-2?	(2)F:lysflekket blek. B: sluppet i dendrittisk mønster, sprø.
D-46	F:lys flekket matt	0	0-	en hel del	2	(2) F:sprø. En stor blære i ene hjørnet flasket av. B: Malingen har sluppet en del men ikke sprukket
E-47					4	Malingen av på begge sider
E-49	Mattet F	ja	1	ja	0.5	
E-53	(OK)	litt	1	god del	0- 0.5	(2) Lys flekket matt

KOMMENTARER:



Tabell B2.5: EVALUERING ETTER 1500 TIMERS EKSPONERING I SO<sub>2</sub>-TEST

FOREKSPONERING: 1000 TIMER I ATLAS-WEATHER-O-METER HOS STATENS PROVNINGSANSTALT (SP)

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)	Skadeutbredelse (mm)	Rust i riss		
B10	N	N	0		0	5:For det meste kvit oksyd Partielt blanke flekker på bakside
B12	(N)	N	1A		1.5	2:Bakside: Maling flaket av langs ene kant. Mye papir. (Mekanisk skade?)
B15	N	N	1A		0-0.5	
B16	(N)	N	2A		1.5	2:Lyse små flekker på fors. og spor av dette i øv. kant
B23	(N)	N	0	0	0	2: Små lyse flekker, forside
D33					4	Malingen falt av
D35	N	5D	2		1.5	
D39	(N)	N	1A		0.5	2:Små lyse flekker på fors. og i øvre kant bakside.
D46	(N)	N	3A		1-2	2:Små lyse flekker forside. Sprø? Stor blære ene hjørne baks.
E47	N	N	0		0.5	2:Blanke flekker på bakside
E49	N	7D	0.5		1	
E53	N	N	(tendens R)		0.5	

KOMMENTARER:

Tabell B2.6: *EVALUERING ETTER 3000 TIMER EKSPONERING I SO<sub>2</sub>-TEST*

FOREKSPONERING: 1000 TIMER I ATLAS WEATHER-0-METER HOS STATENS PROVNINGSANSTALT (SP)

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)	Skadeutbredelse (mm)	Rust i riss		
B-10	OK	0	0	0	0	(2)Ca 1/4 av baksiden dekket av flate blanke gulbrune flekker (Zn-oksyder?)
B-12	F-OK B (se 2)	0	1	spor	1-2	(2)Flasaset av i øvre kant, bakside
B-15	OK	0	0.5	litt	0.5	
B-16	som ubestrålt (se 2)	0	2 sprø	0	1	
B-23	(OK)	0	0	0	0(-)	(2)Som ubestrålt type, men enda mer flekket
D-35	F-OK B(se 2)	ja	2	ja	1.5	(2) Tendens til krakkelering på B
D-39	(2)	0-	∞	en del	4	(2)Malingen sluppet på begge sider. Flekket som B16 ubestrålt
D-46	Gulflek. på fors.	litt	>10	ja	1.5-2	(3)Malingen er sprø og har begynt å slippe fra riss og særlig nedover. På B er en blære avflasket i et hjørne
E-47					4	Malingen av på begge sider
E49	(OK)	ja	1	ja	1-2	(2)Tendens til mye rust; skader F: Mistenkelige flekker?
E-53	(OK)	0-	0-	ja	0-	(2) Gulflekket som B16

KOMMENTARER:

**BILAG 3**

**Evaluering ved Statens institut för bygnadsforskning (SIB)**

Tabell 83.1 Evalueringsskjema fra SIB.

Exponeringsort:	<u>NILU</u>	
Löpnummer:	<u>D33 (1)</u>	Datum: <u>29/9-82</u>
Nedsmutsning:	<u>A</u>	
Glans, innan tvättning:	60°	<u>6</u>
Glans, efter tvättning:	60°	<u>        </u>
Kulör, innan tvättning:	<u>3000</u>	
Kulör, efter tvättning:	<u>        </u>	
Kritning:	<u>8</u>	
Blåsor, storlek:	<u>10</u>	omfattning: <u>        </u>
Sprickor, storlek:	<u>10</u>	
Korrosionsskador, framsida, omfattning:	<u>10</u>	
Korrosionsskador, baksida, omfattning:	<u>10</u>	
Vitblemma, omfattning:	<u>10</u>	
Vidhäftningsförlust, omfattning:	<u>10</u>	
Skador vid rits, beskrivning:	<u>Första rits: korrosion (4)</u>	
	<u>Andra rits: 2 (1)</u>	
Foto med bälg, nr:	<u>        </u>	
Fota utan bälg, nr:	<u>        </u>	
Övrigt:	<u>        </u>	
	<u>        </u>	

Tabell 83.2 Evaluering av prøvene ved SIB etter forekspnering og etter SO<sub>2</sub>-test ved NILU.

FOREKSPONERT JOTUN QUV																					
SYSTEM	SMUSS		GLANS		KULØR F	KRITN		BLÆRER		SPREKK		KORR F		KORR B		HVIT BL.		HEFTF.		SKARISS F	ETTER
	F	E	F	E		F	E	F	E	F	E	F	E	F	E	F	E	F	E		
B10	A	B	9	5	3000	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	4/6	75%
D33	A	C	6		3000	8	10	10	10	10	2	10	6	10	10	10	10	10	2	4/6	100%
E47	B	C	10		3000	8	10	10	2	8	2	10	8	10	8	10	10	10	2	4/1	100%
B16	A	B	27	17	90	8	10	10	5	8	10	8	10	10	10	10	10	10	10	8/8	60%
B23	A	B	30	24	90	8	10	6	8	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	4/8	50%
D39	A	A	34	30	90	8	10	10	8	8	8	10	8	10	10	10	10	10	6	6/4	85%
D46	A	B	40	73	90	8	10	10	10	8	8	10	10	10	8	10	10	10	8	6/6	100%
E53	A	B	48	32	90	8	10	10	8	6	8	10	10	10	10	10	10	10	10	4/8	100%
B12	C	C	26	27	3500	6	10	10	10	4	6	4	8	10	8	4	10	6	6	1/4	100%
D35	B	C	26	27	3500	6	10	4	10	10	6	8	6	10	10	8	10	10	6	1/1	100%
E49	C	C	22	27	3500	6	10	10	10	10	10	6	8	8	8	6	10	10	10	1/1	100%
B15	C	C	13	26	2000	8	10	10	10	4	10	10	10	10	10	10	10	10	10	2/6	90%

FOREKSPONERT SP ATLAS																					
SYSTEM	SMUSS		GLANS		KULØR F	KRITN.		BLÆRER		SPREKK		KORR.F		KORR.B		HVITBL.		HEFTF.		SKARISS F	ETTER
	F	E	F	E		F	E	F	E	F	E	F	E	F	E	F	E	F	E		
B10	B	B	8	5	3000	10	10	6	10	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8/10	60%
D33	C	C	8		3000	10	?	10	?	10	2	10	6	10	4	10	10	10	2	2/4	100%
E47	B	C	8		3000	10	10	10	2	10	2	10	8	10	8	10	10	10	2	1/2	100%
B16	A	B	75	66	1080	10	10	10	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8		60%
B23	A	A	45	29	1080	10	10	8	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		20%
D39	A	B	70	16	1080	10	10	10	4	10	4	10	10	10	10	10	10	10	4	10/6	85%
D46	A	B	81	77	1080	10	10	10	10	8	6	10	8	10	8	10	10	10	6	8/10	100%
E53	A	?	80	79	1080	10	10	10	8	8	8	10	10	10	10	10	10	10	10	2/6	100%
B12	A	C	21	14	3000	10	10	10	8	8	6	10	8	10	6	10	10	8	6	2/4	65%
D35	B	B	24	21	3500	10	10	10	6	8	6	10	6	6	6	10	10	8	8	1/1	100%
E49	A	C	25	21	3500	10		10	7	8	10	8	6	10	8	8	10	6	10	1/1	100%
B15	B	C	13	20	2000	10	10	10	8	8	8	8	6	10	6	8	10	8	8	2/6	100%

INGEN FOREKSPONERING										
SYSTEM	SMUSS	GLANS	KRITN.	BLÆRER	SPREKK	KORR F	KORR B	HVITBL.	HEFTF.	
B10	B	5	10	10	10	8	8	10	9	40%
D33	C		?	?	2	6	2	10	2	100%
E47	C		10	2	2	2	4	10	2	100%
B16	A	66	10	6	10	10	10	10	6	25%
B23	A	40	10	8	10	10	10	10	10	10%
D39	A	14	10	4	2	10	4	10	2	65%
D46	B	35	10	10	6	8	10	10	6	100%
E53	B	84	10	7	8	10	10	10	10	100%
B12	C	27	10	10	6	8	10	10	6	50%
D35	B	23	10	8	6	8	6	10	8	100%
E49	C	20	10	10	10	6	6	10	10	100%
B15	B	16	10	8	8	8	8	10	8	85%

**NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING (NILU)  
NORWEGIAN INSTITUTE FOR AIR RESEARCH**

(NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FORSKNINGSRÅD)

POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM (ELVEGT. 52), NORGE

RAPPORRTYPE Oppdragsrapport	RAPPORTRN. OR 25/85	ISBN-82-7247-585-5	
DATO Juni 1985	ANSV. SIGN. <i>S. Storland</i>	ANT. SIDER 54	PRIS kr 50,-
TITTEL Akselerert prøving av malte og umalte sink og aluminiumbelegg på stål i salttåke og SO <sub>2</sub> -holdig industriatmosfære.		PROSJEKTLEDER S.E. Haagenrud	
		NILU PROSJEKT NR. 0-7545	
FORFATTER(E)  S. E. Haagenrud                      O. Anda J. F. Henriksen                      A. Rode		TILGJENGELIGHET A	
		OPPDRAGSGIVERS REF.	
OPPDRAGSGIVER (NAVN OG ADRESSE) Jotunggruppen, Norzink, NVE, Vegdirektoratet, HFK, Star, M. Brynildsrud, Monopol, Metalliseringsverket, Waardal Kjemiske.			
3 STIKKORD (å maks. 20 anslag) klimaskapprøving                      metallisering                      maling			
REFERAT En del av de samme beskyttelsessystemene (metalliserte og malte) som er eksponert i felt er testet i salttåke og i en av NILU utviklet akselerert SO <sub>2</sub> -test. Denne testen kan brukes til å si noe om godheten av malingsystemer ved fri eksponering i industriatmosfære med høye SO <sub>2</sub> -nivåer. På grunn av ulike malingegenskaper må hvert enkelt malingsystem vurderes for seg.			

TITLE Accelerated testing of metallized and/or painted coatings on steel.
ABSTRACT Several metallized and/or painted protection coatings on steel have been tested in field for 8 years. In this study some of the systems have been tested in saltfog and in a SO <sub>2</sub> accelerated test developed at NILU. This test can be used to evaluate the paint performance in SO <sub>2</sub> polluted industrial atmospheres. Due to different paint properties each system has to be evaluated separately.

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