

Else-Hanna Elgåsen

Karin Wernstahl

# Korrosionsprovning av rost- skyddsfärger genom UV-åldring och exponering i svaveldioxidhaltig miljö med hög relativ fuktighet

## Abstract

### Corrosion testing of rust protecting paint by ageing in UV-light and exposure in sulphur-dioxide and high relative humidity

Accelerated corrosion tests including UV-light exposure suitable for organic coatings on steel has been studied. Combinations of two standardised accelerated methods were studied.

1. NT BUILD 377 which means exposure in climate chamber with 1 ppm SO<sub>2</sub> and 95 % relative humidity at 23°C.
2. ASTM G 26 the method means exposure for UV-light from Xenon-lamp with water-spray on test panels 12 minutes out of 120 minutes of exposure.

The results obtained from the laboratory exposures of 25 paint systems were compared with results obtained from exposures at two field test sites - one with marine and the other with an industrial climate.

The best correlation to the field tests with respect to the spread of defects from scribe were shown by the results from exposure according to NT BUILD 377 and to exposure to ASTM G 26 followed by exposure to NT BUILD 377.

A lower correlation coefficient was obtained for a test in which the coatings were exposed alternately for conditions according to method 1 and method 2.

The main reason for the lowering of the correlation coefficient when going to a combined test is that the humidity level in ASTM G 26 is too low compared to field conditions.

As a result filiform corrosion is prevented.

Key words: accelerated corrosion test, organic coating, SO<sub>2</sub>, UV-light, field exposure, marine climate, industrial climate.

SP  
SP RAPPORT 1993:72  
ISBN 91-7848-459-6  
Borås 1993

Swedish National Testing and  
Research Institute  
SP RAPPORT 1993:72

Postal address:  
Box 857, S-501 15 BORÅS,  
Sweden  
Telephone +46 33 16 50 00  
Telex 36252 Testing S  
Telefax +46 33 13 55 02

## **Förord**

Aktuellt projekt har finansierats av SP och Nordtest genom anslag nummer 1044- 92.

För värdefulla insatser vid genomförandet av projektet skall Bo-Lennart Andersson framhållas.

**Else-Hanna Elgåsen**

**Karin Wernstahl**

## Sammanfattning

Olika rostskyddsfärgssystem, sammanlagt 25 stycken, applicerade på stålpaneler har studerats i syfte att vidareutveckla en accelererad laboratoriemetod för korrosionsprovning, NT BUILD 377, genom att tillföra åldring i UV-ljus av färgsystemen vid exponeringen.

I projektet har använts kombinationer av två olika standardiserade metoder:

1. NT BUILD 377 vilken innebär exponering av prov i klimatkammare vid 23°C vid en halt av 1 ppm SO<sub>2</sub> och 95% RH.
2. ASTM G 26 där provpaneler exponeras för UV-ljus ifrån en Xenon-lampa. Proven vattenbesprutas 12 minuter av 120 minuters exponering.

Resultaten ifrån laboratorieexponeringarna av färgsystemen jämfördes med resultat som erhållits av samma färgsystem vid fältexponeringar i marin och industri miljö under fyra respektive sju år.

Den bästa överensstämmelsen med resultaten med avseende på spridning av defekter ifrån repa i färgsystemet ned till underlaget på provpanelerna erhöles mellan fältexponering i marin miljö och vid exponering enbart enligt NT BUILD 377 samt vid exponering enligt ASTM G 26 följt av exponering enligt NT BUILD 377.

En lägre korrelationsfaktor relativt fältexponering erhöles då panelerna exponerades växelvis exponerades enligt metod 1 och 2 sannolikt beroende på att filiformkorrosion inte utvecklades sannolikt på grund av upptorkning av proven vid exponeringen i UV-ljus.

# Innehållsförteckning

<b>Abstract</b>	<b>2</b>
<b>Förord</b>	<b>3</b>
<b>Sammanfattning</b>	<b>4</b>
<b>1. Inledning</b>	<b>6</b>
<b>2. Försöksuppläggning</b>	<b>8</b>
2.1 Färgsystem	8
2.2 Provpaneler	9
2.2.1 Förbehandling	9
2.2.1 Applicering	9
2.2.3 Skiktjockleksmätning	9
2.2.4 Repa	10
2.3 Fältexponeringar	10
2.3.1 Kvarnvik, Bohus- Malmön	11
2.3.2 Borregard, Sarpsborg	12
2.4 Laborarieexponeringar	12
2.4.1 Exponeringscykler	12
2.4.1 Exponering i klimatskåp med SO <sub>2</sub>	13
2.4.2 Exponering i UV-ljus	14
2.4.3 Exponering i kyla	15
2.5 Utvärderingsmetoder	15
2.5.1 Visuella bedömningsmetoder	15
2.5.2 Mätning av defekter vid repa	16
2.5.3 Glansmätning	17
2.5.4 Kulörmätning	17
2.5.5 Linjär regression, korrelationskoefficienter	17
<b>3. Resultat</b>	<b>18</b>
3.1 Fältexponeringar	18
3.1.1 Bohus- Malmön	18
3.1.2 Borregaard	18
3.2 Laborarieexponeringar	18
3.2.3 Cykel 1, 10 veckors exponering i klimatskåp med SO <sub>2</sub>	18
3.2.2 Cykel 2, 10 veckor med UV-exponering följt av 10 veckor i klimatskåp med 1 ppm SO <sub>2</sub>	18
3.2.3 Cykel 3, 2 veckor med UV- exponering följt av 2 veckor i klimatskåp med 1 ppm SO <sub>2</sub> upprepat fem gånger.	18
3.3 Korrelationskoefficienter	19
<b>4. Diskussion och slutsatser</b>	<b>24</b>
<b>5. Referenser</b>	<b>26</b>
<b>Bilaga</b>	
1.1 - 1.12 Provningsresultat	

# 1. Inledning

Ett färgskikts livslängd, det vill säga hur länge skiktet skyddar underlaget mot korrosionsangrepp, påverkas i större eller mindre grad av ett flertal olika faktorer i den omgivande miljön som till exempel:

- syre
- luftfuktighet
- temperatur
- föroreningar i luft och vatten
- solstrålning

Rostskyddsförmågan hos ett enskilt färgsystem bestäms även av skiktets utformning som:

- färgens sammansättning
- skiktets tjocklek
- typ av underlag
- vidhäftning till underlaget
- förbehandling
- appliceringssätt

Mångfalden av faktorer, sannolikt fler än vad som nämnts ovan, som påverkar ett färgskikts nedbrytning och livslängd och därmed rostskyddsförmågan visar på svårigheter med att utveckla accelererade korrosionsprovningmetoder. För närvarande rekommenderas främst användning av fältexponeringar med den nackdelen att långa exponeringstider på tre till fem år krävs innan fullt användbara resultat kan erhållas.

På senare tid har dock en accelererad metod för fältexponering av testpaneler börjat användas. Metoden, den så kallade SCAB-metoden, innebär att proven vilka exponeras på fältstation under exponeringstiden besprutas med saltvatten två gånger per vecka. Accelerationsfaktorn är dock relativt låg och ligger på cirka 1,5 gånger jämfört med exponeringar på marina fältstationer. Metoden har dock den generella nackdelen att resultatet ifrån exponeringarna är beroende av variationer i klimat mellan olika fältstationer och olika tidsperioder. Detta försvårar jämförelser mellan olika färgsystems prestanda utgående från olika exponeringsstationer och exponeringsperioder.

Vid SP har en accelererad korrosionsprovningmetod, Nordtest NT.BUILD 377, utvecklats för färgskikt på stålunderlag. Metoden innebär exponering i klimatskåp i en atmosfär med 1 ppm SO<sub>2</sub>, en relativ luftfuktighet på 95% och exponeringstemperatur på 23°C. I en undersökning där 25 olika rostskyddsfärgsystem ingick erhöles en god överensstämmelse såväl kvalitativt som kvantitativt för denna metod jämfört med fältexponeringar på Bohus-Malmön. Fältstationen har en utpräglad marin miljö och är belägen vid strandkanten på Sveriges västkust. Jämförelsen avser rost- och blåsbildning vid avsiktligt gjord repa i färgskiktet. Korrelationskoefficienten mellan exponeringarna låg på cirka 0,85 och accelerationsfaktorn för provningmetoden var av storleksordningen sex.

Vid fältexponeringarna uppstod dock vid sidan av rost och blåsbildning vid repa även andra korrosionskador som initierats vid ställen på färgfilmen där krackelering och mikrosprickor uppstått genom åldring av färgen. Dessa effekter kunde inte simuleras i laboratoriemetoden. Undersökningen visade därmed att åldringen av färgerna som bland annat solljuset i hög grad bidrar till har betydelse för livslängden hos färgskiktet och därmed dess rostskyddsförmåga. Av denna anledning bör solljusets påvekan på färgskiktet tas med i ett program för accelererad provning av rostskyddsfärger.

I denna undersökning har därför även accelererad åldring med UV- ljus ingått i en serie accelererade provningar och utgör en direkt fortsättning på och komplement till föregående undersökning. I undersökningen har används samma rostskyddsfärgsystem som i den tidigare undersökningen, Nordtestprojekt nr 549 - 85. De använda rostskyddsfärgsystemen innefattar såväl vatten- som lösningsmedelsburna färger. Två provningsserier med växelvisa exponeringar av provpanelerna i två olika miljöer genomfördes.

## 2. Försöksupplägning

### 2.1 Färgsystem

I undersökningen ingick 22 olika rostskyddsfärgsystem på fyra olika stålunderlag. Ett och samma system användes på fyra olika underlag vilket innebär att sammanlagt 25 olika typer av provpaneler ingick i undersökningen. Färgsystemen har valts ut på så sätt att om möjligt få en stor spridning i resultaten vid de olika exponeringarna det vill säga även färgsystem med en förväntad sämre korrosionsskyddsförmåga har tagits med. Antal pålagda skikt, skiktjocklek, förbehandling och typ av underlag har valts ut utgående ifrån respektive färgfabrikants rekommendationer. En sammanställning av färgsystem, förbehandling, underlag och sammanlagda skiktjockleken redovisas i tabell 1.

Tabell 1, Sammanställning av ingående provpaneler

Prov beteckning	Ståltyp	Förbehandling	Typ grundfärg	Typ mellanfärg	Typ täckfärg	Total skiktjocklek
A	V	blästrad	akrylat ( v )		alkyd	81
B	V	blästrad	alkyd		alkyd	80
C	K 2	zinkfosfaterad a	alkyd		alkyd	84
D	K 1	avfettad	alkyd		alkyd	87
E	K 1	avfettad	alkyd		alkyd	85
F	K 2	jämfosfaterad	alkyd		alkyd	84
G	K 2	jämfosfaterad	alkyd ( v )		alkyd	81
H	V	blästrad	alkyd		alkyd	100
I	K1	avfettad	alkyd		alkyd	81
J	V	blästrad	alkyd		akrylat	182
K	V	blästrad	akrylat ( v )	akrylat (v)	akrylat (v)	176
L	K2	zinkfosfaterad a	akrylat ( v )		akrylat (v)	85
M	V	blästrad	alkyd-akrylat (v)	alkyd	akrylat (v)	79
N	V	blästrad	alkyd		alkyd	121
O	V	blästrad	alkyd		alkyd	157
P	V	blästrad	polyvinylbutyral	polyuretan	uretan	216
R	V	blästrad	uretanalkyd		alkyd	239
S	V	blästrad	epoxiester		epoxi	131
T	V	blästrad	epoxiester	styren akrylat (v)	akrylat (v)	124
U	K 2	zinkfosfaterad b	alkyd		alkyd	79
V	K 2	zinkfosfaterad a	alkyd		alkyd	83
W	K 2	jämfosfaterad	alkyd		alkyd	85
X	V	blästrad	epoxiester		tjärepoxi	78
Y	V	blästrad	epoxiester		KK	80
Z	V	blästrad	alkyd		alkyd	98

V = varmvalsat stål, SIS 14 13 12

K1 = kallvalsat stål, SIS 14 11 46 med aluminiumtätad yta

K2 = kallvalsat stål, DIN 1623 / 1-72 S + 1405 motsvarande SIS 14 11 47

( v ) = vattenburen



## 2.2 Provpaneler

I undersökningen användes tre olika stålqualiteter: varmvalsat stål SIS 14 13 12, kallvalsat stål SS 14 11 46 med Al-tätad halvmatt yta och kallvalsat stål DIN 1623 / 1-72S + 1405 motsvarande SIS 14 11 47. Provpanelerna togs ut i enlighet med ISO 1514. Storleken på de varm- och kallvalsade plåtarna var 150 × 200 mm och 75 × 150 mm. De fosfaterade plåtarna var av storleken 105 × 190 mm och 75 × 150 mm.

### 2.2.1 Förbehandling

De kallvalsade ofosfaterade plåtarna triavfettade varefter de torkades av med ren vit bomullstrasa. Detta förfarande upprepades två på varandra följande gånger.

De blåstrade varmvalsade plåtarna rengjordes genom tvättning med etylacetat med efterföljande torkning med ren vit bomullstrasa. Plåtarna blåstrades därefter på framsidan plåten till Sa 3 enligt SIS 05 09 00.

Fosfatering av provplåtarna utfördes dels med zinkfosfatering och dels med två olika typer av järnfosfatering. Fosfateringen utfördes av Chemetall och förmedlades av Ytteknik AB.

### 2.2.1 Applicering

Appliceringen av färgsystemen på provpanelerna utfördes med hjälp av högtrycksspruta. I syfte att erhålla jämna och lika skikt på provpanelerna för varje färgsystem användes en halvautomatisk sprutautomat vid appliceringen. Färgsprutan förs vid appliceringen över de liggande panelerna med jämn och lika hastighet med hjälp av pneumatiska kolvar.

Samtliga baksidor på plåtarna applicerades med tjärepxi till en skiktjocklek av cirka 120 µm. Plåtarnas kanter doppades även i tjärepxi. Det kan noteras att kantskyddet och baksidesfärgen blev mycket spröd och delvis flagnade av ifrån underlaget på ett flertal paneler under fältexponeringarna.

Färgskikten torkades efter appliceringen i rumstemperatur i skåp anslutna till utsug. Efter applicering och torkning förvarades provpanelerna i konstantrum vid 23°C och 50 % RH.

För ett projekt av denna typ är det av största vikt och en förutsättning för tillförlitliga resultat att de provpaneler som skall användas vid de olika typerna av exponeringarna är så lika som möjligt och att skiktjockleken dels inte varierar på provytan och dels inte mellan provytorna på provpanelerna med samma ytbeläggning. Skiktjocklekens spridning på provpanelerna redovisas i tabell 2.

### 2.2.3 Skiktjockleksmätning

Totala skiktjockleken hos färgskikten på provpanelerna mättes med magnetinduktiv metod enligt SIS 18 41 60. Metoden har en noggrannhet på ± 10 %.

På varje provpanel mättes skiktjockleken i 12 olika punkter jämnt fördelade över ytan.

Resultatet anges av mätningarna anges i tabell 2.

Spridningen i värdet på skiktjockleken dels på varje provpanel dels mellan provpanelernas medelvärde låg under ± 6% undantaget system N där spridningen i skiktjockleken var ± 10 %.

Tabell 2, Skikttjocklek på provpaneler

Färg-system	Skikttjocklek (medelvärde)	Spridning mellan provplåtarna		Spridning på varje plåt	
		( $\mu\text{m}$ )	( $\pm \mu\text{m}$ )	( $\pm \%$ )	( $\pm \mu\text{m}$ )
A	81	1,3	1,6	2,8	3,5
B	80	3,0	3,8	4,0	5,0
C	84	2,0	2,4	3,0	3,6
D	87	2,2	2,5	5,0	5,7
E	85	2,1	2,5	5,0	5,9
F	84	1,6	1,9	1,8	2,1
G	81	1,1	1,4	2,3	2,8
H	100	3,5	3,5	6,1	6,1
I	81	1,0	1,2	2,1	2,6
J	182	5,8	3,2	7,3	4,6
K	176	2,2	1,3	5,8	3,3
L	85	1,1	1,3	2,6	3,1
M	79	2,0	2,2	3,0	3,8
N	121	10,6	8,8	7,3	6,0
O	157	3,5	2,2	6,4	4,1
P	216	2,9	1,3	4,3	2,0
R	239	4,9	2,1	7,5	3,1
S	131	7,3	5,6	5,4	4,1
T	124	5,3	4,3	4,1	3,3
U	79	1,0	1,3	2,1	2,7
V	83	2,2	2,7	6,6	4,3
W	85	1,7	2,0	2,4	2,8
X	78	1,8	2,3	3,1	4,0
Y	80	1,8	2,3	3,0	3,8
Z	98	1,2	1,2	4,0	4,1

### 2.2.4 Repa

I anslutning till varje exponering gjordes en 1 millimeter bred vågrät repa ned till underlaget på mitten av nedre tredjedelen på kortsidan av provpanelerna.

## 2.3 Fältexponeringar

Provpaneler sattes ut för fältexponering på fältstationerna Kvarnvik på Bohus- Malmön med marin miljö och på Borregaard i Sarpborg med förorenad industrimiljö.

Panelerna, tre stycken parallellprov med storleken  $150 \times 200$  mm och  $105 \times 190$  mm, sattes ut i maj 1986 på stativ i  $45^\circ$  vinkel i riktning mot söder. Besiktning av provpanelerna utfördes efter 5 månader, 1, 2, 3 och 4 års exponering, på fältstationen i Borregaard också efter 5 och 7 års exponering. Efter 2 och 3 års exponering togs en av provpanelerna från varje färgsystem in på laboratorium för bedömning och fotografering. På Bohus-Malmön togs tredje och sista provpanelen in efter 4 års exponering.

Vid exponeringens start samt vid besiktningstillfällena efter 5 månader 1, 2, och 3 års exponering sattes referenspaneler av stål och zink ut på fältstationerna i syfte att mäta korrosionshastigheten på respektive fältstation under den aktuella exponeringstiden. Referenspanelerna byttes ut mot

nya vid varje besiktningsstillfälle. Viktsförlusten hos referenspanelerna bestämdes genom vägning efter att korrosionsprodukterna avlägsnats genom betning. Se tabell 5.

Tabell 3, Miljödata för de använda fältstationerna, medelvärden för perioden 1977-1981.

Fältstation	Kategori	Vättid * (tim / år)	SO <sub>2</sub> deponering (mg / m <sup>2</sup> , dygn)	Cl <sup>-</sup> deponering (mg / m <sup>2</sup> , dygn)
Bohus- Malmön (Kvarnvik)	marin miljö	4400	16	530
Borregaard	industrimiljö	3500	72	6

\* Vättiden definieras som antal timmar då relativa luftfuktigheten överstiger 80 % och temperaturen samtidigt överstiger 0°C.

Tabell 4, Medelvärden av ettårsvärden av korrosionshastigheten hos fyra olika metaller vid de använda fältstationerna under tidsperioden 1977-1981

Fältstation	Kolstål (g / m <sup>2</sup> )	Zink (g / m <sup>2</sup> )	Koppar (g / m <sup>2</sup> )	Aluminium (g / m <sup>2</sup> )
Bohus- Malmön (Kvarnvik)	270	14	32	2,7
Borregaard	700	40	20	1,8

Värdena i tabell 3 och 4 är hämtade ur M. Linder, Korrosionsinstitutets fältstationer och deras korrosivitet och J. Henriksen, " Borregaards teststassjon. KORROSION I ATMOSFÄR-provning och atmosfär, Korrosionsinstitutet /1/.

Tabell 5, Viktsförlust för stål och zink under den aktuella exponeringstiden.

Exponeringstid	Bohus-Malmön Kvarnvik		Sarpsborg Borregaard	
	stål (g / m <sup>2</sup> )	zink (g / m <sup>2</sup> )	stål (g / m <sup>2</sup> )	zink (g / m <sup>2</sup> )
86 05 15 - 86 10 18	383	13	356	11
86 10 08 - 87-07-04	527	11	398	16
87 07 04 - 88 05 03	330	7	368	11
88 05 03 - 89 05 09	413	12	410	19
89 05 09 - 90 05 07	282	9	308	15

### 2.3.1 Kvarnvik, Bohus- Malmön

Bohus- Malmön är belägen på Sveriges västkust cirka nio kilometer nordväst om Lysekil. Miljön vid exponeringsstationen karaktäriseras som marin atmosfär. Själva exponeringsstationen Kvarnvik ligger på berg, åtta meter över havsytan, cirka 50 meter ifrån stranden. I den omgivande atmosfären förekommer ofta saltvattenspray ifrån havet.

Årsmedelvärden på klimatdata och SO<sub>2</sub> och Cl<sup>-</sup> halt under tidsperioden för utomhusexponeringarna återges i tabell 6. Korrosionshastigheterna för metallerna järn, koppar, zink och aluminium under tidsperioden 1977 -1981 ges i tabell 4.

### 2.3.2 Borregard, Sarpsborg

Sarpsborg är beläget i södra Norge cirka 20 kilometer ifrån kusten. Fältstationen är belägen på taket till en verkstadsbyggnad inom Borregaard Fabriker. Miljön karaktäriseras som industrimiljö med höga halter av SO<sub>2</sub>.

Årsmedelvärdena på klimatdata, SO<sub>2</sub>- och Cl<sup>-</sup>-halter ges i tabell och Korrosionshastigheterna för metallerna järn, zink, koppar och aluminium ges i tabell 4.

Tabell 6, Miljödata för Kvarnvik, Bohus- Malmön och Borregaard, Sarpsborg under perioden för fältexponeringarna. Data ges som medelvärde av månadsmedelvärden. Våttid ges som sammanlagda tiden under exponeringsintervall.

Fältstation	Exponeringstid	Temp. (°C)	Relativ luftfuktighet (%)	Våttid (tim)	SO <sub>2</sub> -halt (µg / m <sup>3</sup> )	Cl <sup>-</sup> -halt (mg / m <sup>2</sup> )
Kvarnvik,	86 05 01 - 86 10 01	-	-	-	-	254
Bohus-Malmön	86 10 01 - 87 07 01	5,7	-	-	11	215***
	87 07 01 - 88 05 01	7,1	-	-	6	588
	88 05 01 - 89 05 01	9,6	80	2150*	3,8*	1071
	89 05 01 - 90 01 01	11,6	78	1892**	1,4*	165
Borregaard, Sarpsborg	86 05 01 - 86 10 01	11,8	77	1878	114	8
	86 10 01 - 87 07 01	1,7	81	2175	43	9
	87 07 01 - 88 05 01	4,2	82	2446	33	5
	88 05 01 - 89 05 01	7,4	76	3379	52	5
	89 05 01 - 90 01 01	8,5	73	2184	45	3**

\* Data saknas för en månad

\*\* Data saknas för två månader

\*\*\* Data saknas för tre månader

## 2.4 Laborarieexponeringar

Provpanelerna exponerades i kombinationer av UV- åldring, kyla och SO<sub>2</sub> atmosfär enligt nedan.

### 2.4.1 Exponeringscykler

#### Cykel 1

Enbart exponering i klimatskåp med SO<sub>2</sub> under 10 veckor.

#### Cykel 2

10 veckor UV- åldring följt av 10 veckors exponering i klimatskåp med SO<sub>2</sub>.

### Cykel 3

2 veckor UV- åldring följt av 2 veckors exponering i klimatskåp med SO<sub>2</sub> vilket upprepades fem gånger vilket gav sammanlagt 20 veckors exponering.

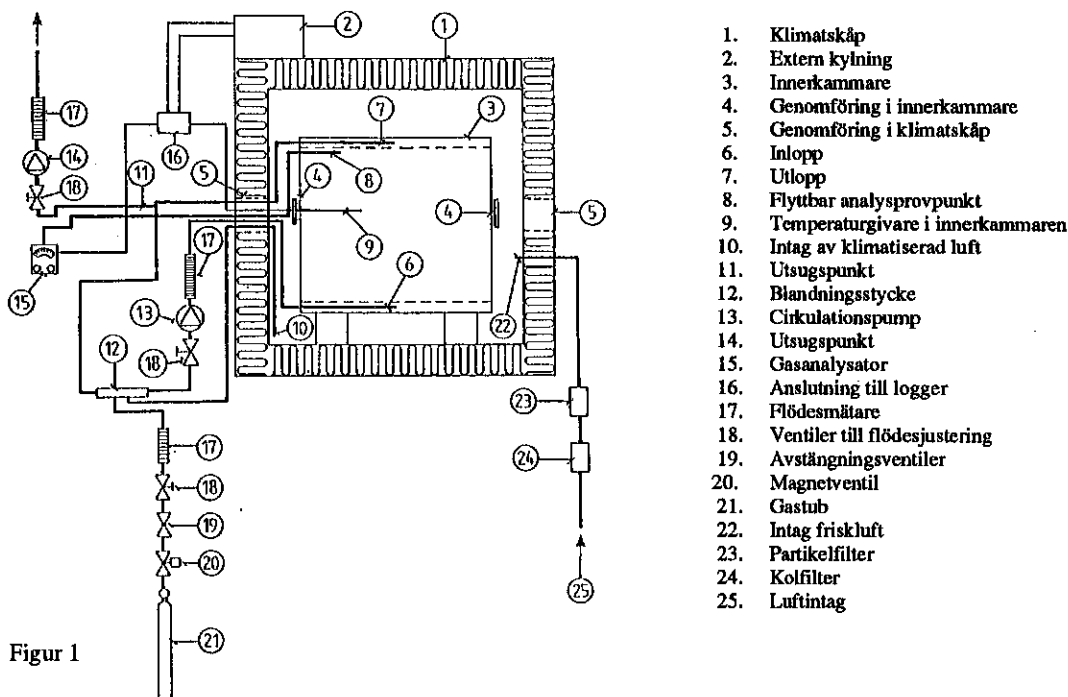
Vid UV- åldring och exponering i SO<sub>2</sub> atmosfär användes standardiserade metoder.

Proverna exponerades i olika kombinationer av tre olika cykler med varierande tidslängd för att kunna studera betydelsen dels av cyklernas längd och dels eventuella synergieffekter. Sammanlagda exponeringstiden var 20 veckor för cykel 1 och 2 och 10 veckor för cykel 3 där proven enbart exponerades i SO<sub>2</sub> - atmosfär.

#### 2.4.1 Exponering i klimatskåp med SO<sub>2</sub>

Exponeringen utfördes vid konstant relativ fuktighet på  $95 \pm 3 \%$ ,  $23 \pm 0,5^\circ \text{C}$  och 1 ppm SO<sub>2</sub> enligt metod NT- BUILD 377.

Exponeringen utförs i klimatkammare där SO<sub>2</sub> tillsätts till en halt av 1 ppm i klimatiserad luft som därefter leds in i klimatkammaren.



Figur 1

Typ	WEISS 1000 SB
Volym	1045 dm
Volym innerkammare	520 dm
Temperaturområde	$+10 \pm 0,2^\circ \text{C}$ till $+95 \pm 0,2^\circ \text{C}$
Fuktområde	$10 \pm 3\%$ till $95 \pm 3\% \text{ RH}$

Luftflödet i klimatkammaren är 2 m / h

Klimatskåpet är försett med en teflonbelagd innerkammare där exponeringen av provpanelerna utförs.

1. SO<sub>2</sub> i kvävgas ifrån gastub tillsätts utanför klimatskåpet till klimatiserad luft ifrån ytterkammaren.
2. Luften med SO<sub>2</sub> leds därefter in i botten av innerkammaren med utlopp av luften i toppen av kammaren.
3. Halten SO<sub>2</sub> i luften analyseras med hjälp av gasanalysator med UV- fluorescens.

För att undvika adsorption av SO<sub>2</sub> på materialet som medför sänkning av halten SO<sub>2</sub> i exponeringskammaren är allt material i klimatskåpet som SO<sub>2</sub> kommer i kontakt med är av rostfritt stål, glas eller teflon.

## 2.4.2 Exponering i UV-ljus

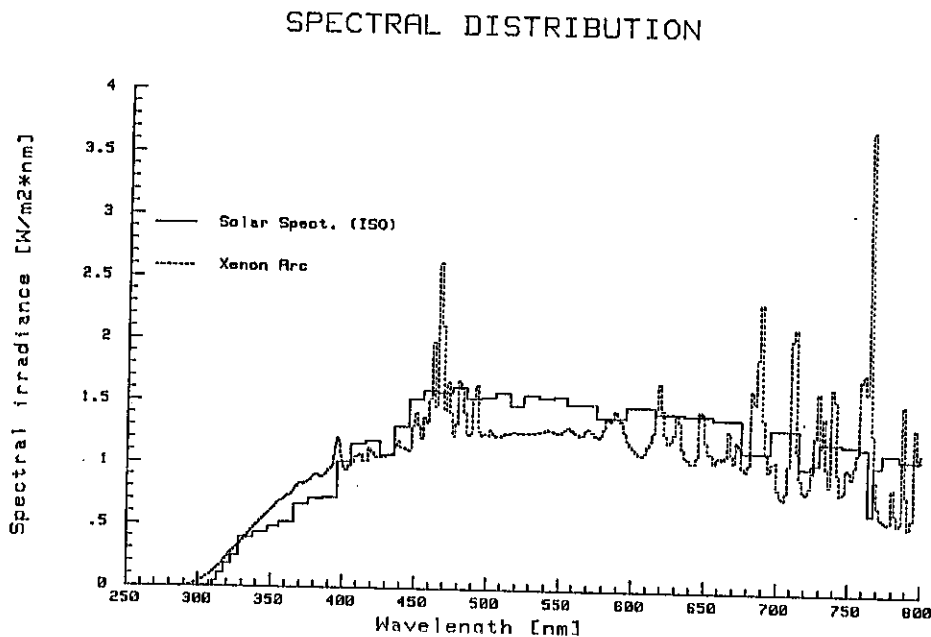
Provpanelerna exponerades i en utrustning av typen Atlas weather-ometer med en xenon-båge lampa som ljuskälla. En xenonbåge-lampa kombinerat med filter av borosilikattyp ger ljus med en spektralfördelning mycket nära solljusets se fig. 2.

Exponeringen av proverna utfördes enligt standard metod ISO 4892 vid följande provningsbetingelser:

Ljusintensitet i UV-området (280-400 nm):	60,5 W/m <sup>2</sup>
Ljusintensitet (280-800 nm) :	600 ± 50 W/m <sup>2</sup>
Svartpanelstemperatur:	50 ± 3 °C
Relativ luftfuktighet:	75 ± 5 %
Regncykel:	18 minuters regnperiod följt av 102 minuters torr period

Med svartpanelstemperatur avses temperaturen hos en temperaturgivare monterad på en svart-lackerad panel med isolerad baksida.

### Spektralfördelning för Xenonbåge med filter av borosilikattyp



Figur 2

### 2.4.3 Exponering i kyla

Efter varje två veckorsperiod av UV-åldring i cykel 3 utsattes alla prover för en kort köldcykel före exponeringen i klimatskåp med SO<sub>2</sub>. Köldcykeln bestod av 1 h nedkylning från rumstemperatur till - 20 °C, 8 h vid -20 °C följt av 1 h upptining till rumstemperatur.

## 2.5 Utvärderingsmetoder

### 2.5.1 Visuella bedömningsmetoder

Provytan delades upp i sex stycken lika stora delar vilka bedömdes var för sig vilket innebär att en säkrare bedömning erhålls då fler bedömningar görs på varje panel. Resultatet anges som ett viktat medelvärde av respektive delars resultat med avseende på intensitet och storlek på defekterna.

#### Blåsbildning

Graden av blåsbildning på provpanelerna bedömdes enligt ISO 4638/2-1982 ( SS 18 42 02 ). Tätheten och storleken av blåsorna graderas numeriskt från 1 till 5 enligt tabell 7 och med hjälp av referensfotografier.

Tabell 7, Bedömning av blåsbildning.

	Täthet	Storlek
inga	0	
mycket få	1	1
få	2	2
måttlig	3	3
avsevärd	4	4
stor	5	5

#### Rostutbredning

Graden av rostutbredning på provpanelerna bedömdes enligt ISO 4628 / 3- 1982 ( SS 18 42 03 ). Rostens utbredning på ytan bedöms numeriskt ifrån 0 till 5 enligt tabell 8 och med hjälp av referensfotografier.

Tabell 8, Bedömning av rostutbredning.

Grad	Rostad yta %
Ri 0	0
Ri 1	0,05
Ri 2	0,5
Ri 3	1
Ri 4	8
Ri 5	40 / 50

### Sprickbildningsgrad, krackelering

Sprickbidningsgraden hos färgskiktet bedömdes enligt ISO 4628 / 4-1982 ( SS 18 42 94 ). Sprickornas omfattning och utbredning bedömdes numeriskt enligt tabell 9 samt med hjälp av referensfotografier.

Tabell 9, Bedömning av sprickbildning.

Klass	
0	ej synliga vid 10 gångers förstoring
1	endast synliga vid 10 gångers förstoring
2	nått och jämt synliga vid normal syn
3	tydligt synliga vid normal syn
4	stora sprickor i allmänhet upp till 1 mm vida
5	mycket stora sprickor, i allmänhet över 1 mm vida

### Flagningsgrad

Flagningsgraden hos färgskikten bedömdes enligt ISO 4628 / 5 - 1982 ( SS 18 42 05 ). Flagningsens relativa storlek och omfattning bedömdes enligt tabell 10, 11 och referensfotografier.

Tabell 10, Bedömning av flagningsgrad.

Klass	Avflagad yta %
0	0
1	0,1
2	0,3
3	1
4	3
5	15

Tabell 11, Bedömning av flagningsens storlek.

Klass	Flagningsens storlek
0	ej synliga vid 10 gångers förstoring
1	upp till 1 mm
2	upp till 3 mm
3	upp till 10 mm
4	upp till 30 mm
5	större än 30 mm

## 2.5.2 Mätning av defekter vid repa

Maximal rost- och blåsbildning i anslutning till repa mättes med hjälp av graderad linjal. Repa delades upp i tre lika delar och utbredningen bestämdes som medelvärde av tre alternativt sex mätpunkter enkelsidigt repa.



### 2.5.3 Glansmätning

Glansen hos färgskikten på provpanelerna uppmättes enligt standard metod SS 18 41 84 vid 60°. Glansen uppmättes tre gånger på varje provpanel på den del av ytan som inte hade någon repa. Mätningar av glansen utfördes före start av exponeringen samt för cykel 1 efter avslutad exponering, för cykel 2 efter 2, 4, 6, 8 och 10 veckors UV-åldring samt efter avslutad SO<sub>2</sub> exponering, för cykel 3 efter varje tvåveckors period av UV-åldring. Resultatet från glansmätningarna uttrycks som % av resterande glans vilket innebär

$$\frac{\text{glans efter exponering}}{\text{glans före exponering}} \times 100 = \text{resterande glans}$$

### 2.5.4 Kulörmätning

Kulören hos färgskikten uppmättes enligt ISO 7724. Kulören uppmättes i tre punkter på varje provpanel. Mätningarna av kulören utfördes vid samma tillfällen som mätningarna av glansen. Kulören hos färgerna anges enligt CIE Lab 1976 systemet vilket innebär att kulören beskrivs med tre koordinater L, vit-svarthet, a, grön-rödhet, och b, gul-blåhet. Den totala skillnaden i kulör mellan exponerat och oexponerat prov uttrycks som :

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

### 2.5.5 Linjär regression, korrelationskoefficienter

Resultaten ifrån exponeringarna på fältstationerna och laboratorieexponeringarna jämfördes och plottades mot varandra i diagram och korrelationskoefficienter beräknades. Vid en korrelationsfaktor på 1 eller -1 finns en helt total samstämmighet mellan resultaten medan däremot en korrelationsfaktor på 0 visar att ingen samstämmighet mellan resultaten föreligger.

Korrelationskoefficienter beräknades för jämförelse av spridning av defekter ifrån repa samt vid jämförelse mellan kulör och glansvärden vid de olika exponeringarna på fältstationer och laboratorieexponeringar.

## **3. Resultat**

### **3.1 Fältexponeringar**

Miljödata ifrån de två fältstationerna Bohus- Malmön och Borregaard under den aktuella exponeringstiden för projektet redovisas i tabell 6 och viktsförlusten för exponerade stål- och zinkpaneler visas i tabell 5.

#### **3.1.1 Bohus- Malmön**

Resultat ges ifrån fem besiktningstillfällen efter 5 månader, 1, 2, 3 och 4 års exponering. Rostutbredning, blåsbildning, sprickbildning och flagnings redovisas i bilaga 1.1.

Utbredning av defekter i form av rost och blåsbildning ifrån repa ges i bilaga 1.4 och 1.7. Glans- och kulörförändring efter 2, 3 och 4 års exponering på fältstationen relativt oexponerat prov redovisas i bilaga 1.5 och 1.6.

#### **3.1.2 Borregaard**

Resultat redovisas ifrån sju besiktningstillfällen efter 5 månaders, 1, 2, 3, 4, 5 och 7 års exponering redovisas i bilaga 1.3. I bilaga 1.4 och 1.8 redovisas utbredning av defekter ifrån repa i form blåsor och rostutbredning.

Glans och kulörförändring som uppstått relativt oexponerat prov efter 2 och 3 års exponering redovisas i bilaga 1.5 och 1.6.

## **3.2 Laboratorieexponeringar**

### **3.2.3 Cykel 1, 10 veckors exponering i klimatskåp med SO<sub>2</sub>**

Rost och blåsbildning på panelernas yta redovisas i bilaga 1.3 och utbredning av defekter ifrån repa redovisas i bilaga 1.4 och 1.9. Glans- och kulörförändring under exponeringen visas i bilaga 1.5 och 1.6.

#### **3.2.2 Cykel 2, 10 veckor med UV-exponering följt av 10 veckor i klimatskåp med 1 ppm SO<sub>2</sub>**

Rost och blåsbildning på panelernas yta redovisas i bilaga 1.3 och utbredning av defekter ifrån repa redovisas i bilaga 1.4 och 1.10. Glans- och kulörförändring under exponeringen visas i bilaga 1.5 och 1.6.

#### **3.2.3 Cykel 3, 2 veckor med UV- exponering följt av 2 veckor i klimatskåp med 1 ppm SO<sub>2</sub> upprepat fem gånger.**

Rost och blåsbildning på panelernas yta redovisas i bilaga 1.3. Utbredning av defekter ifrån repa redovisas i bilaga 1.4, 1.11 och 1.12. Glans- och kulörförändring under exponeringen visas i bilaga 1.5 och 1.6.

### 3.3 Korrelationskoefficienter

Korrelationskoefficienter vid jämförelse av utbredning vid repa, resterande glans och kulörändring mellan laboratorieexponeringarna och fältexponering redovisas i tabell 12, 13, 14 och 15.

I diagram 1, 3 och 4 har data ifrån utbredning vid repa, relativ glansändring och kulörändring som uppstått vid exponeringarna på fältstationer plottats mot varandra.

Resultat ifrån laboratorieexponeringarna har plottats mot resultat ifrån fältexponeringar i diagram 2, 3 och 5.

I diagram 7 har kulörförändringen som erhållits vid exponeringen enligt cykel 2 och 3 plottats emot varandra.

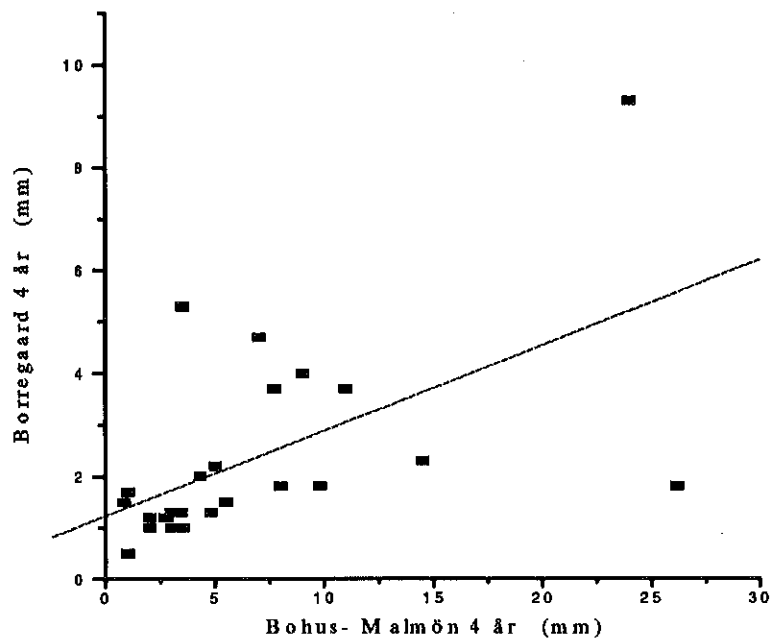


Diagram 1 Utbredning av rost och defekter vid repa, korrelationsfaktor 0,57

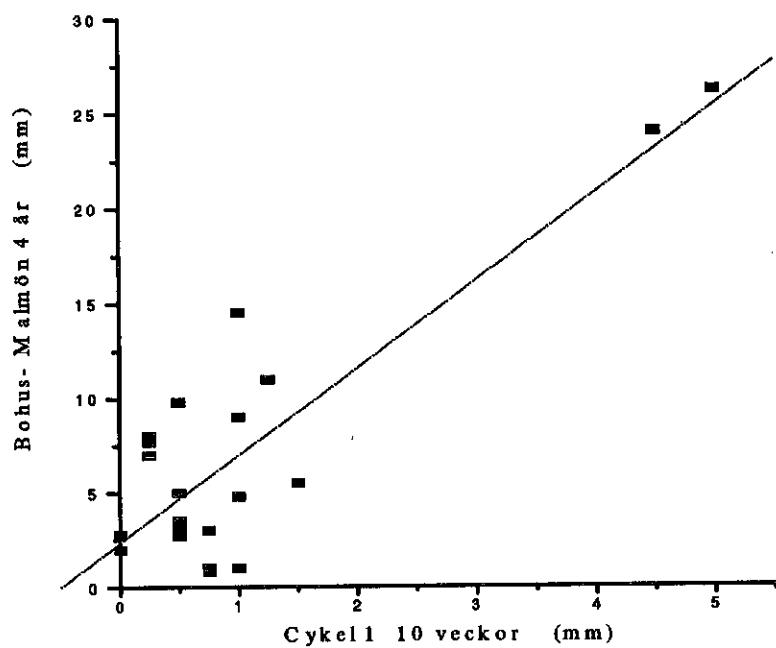


Diagram 2, Utbredning av rost och defekter vid repa, korrelationsfaktor 0,85

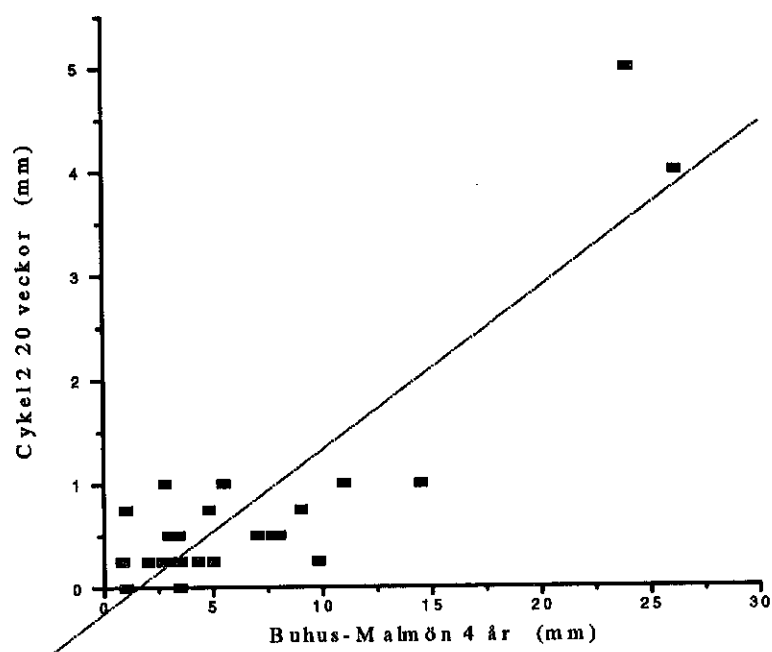


Diagram 3, Utbredning av rost och defekter vid repa, korrelationsfaktor 0,88

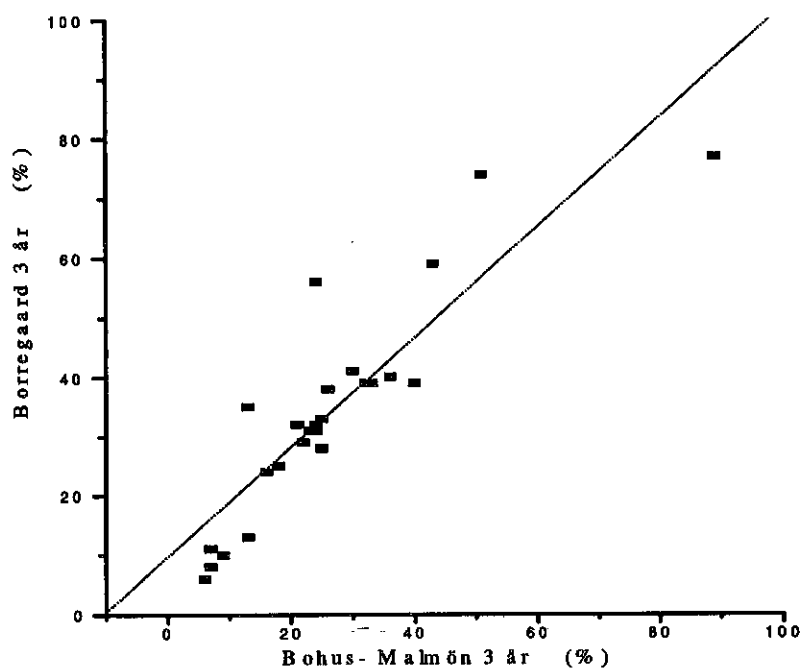


Diagram 4, Resterande glans , korrelationsfaktor 0,89

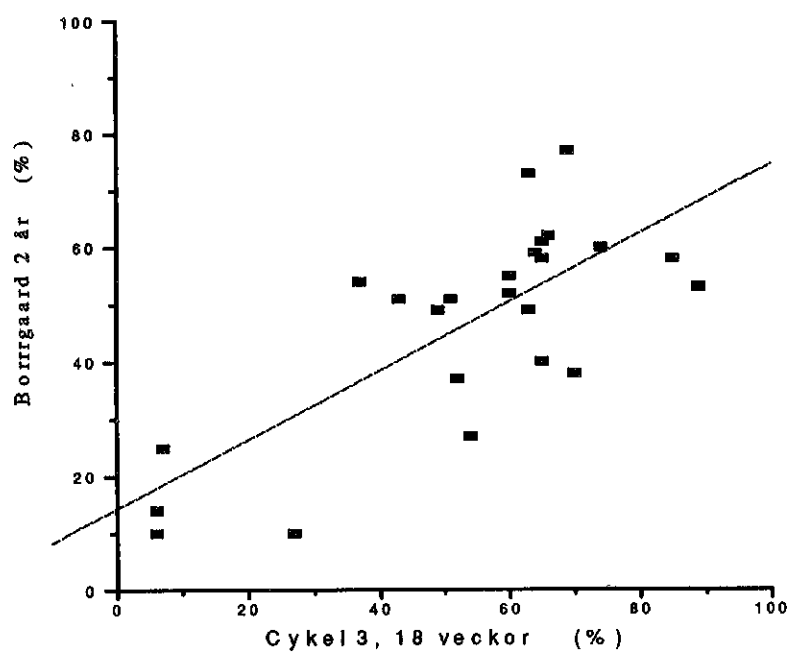


Diagram 5, Resterande glans utan system L, korrelationsfaktor 0,75

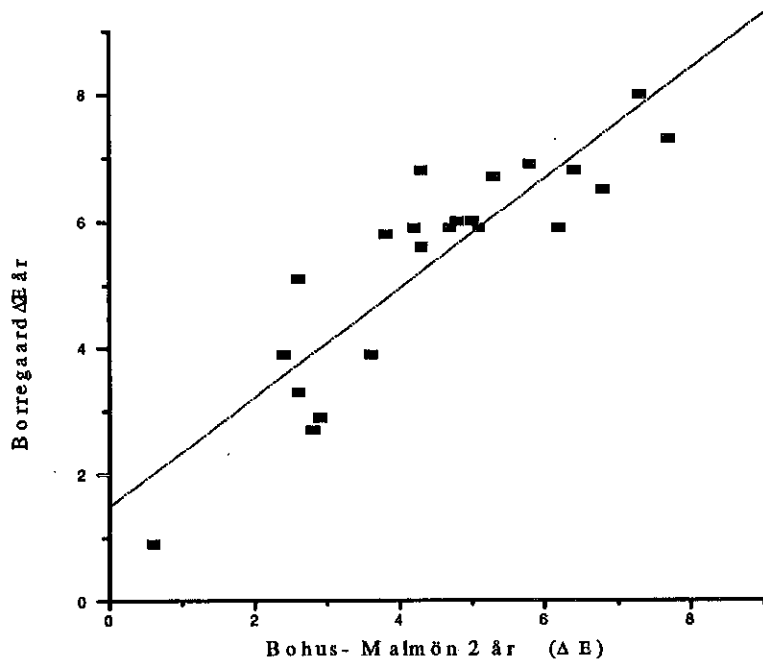


Diagram 6, Kulörändring, korrelationsfaktor 0,88

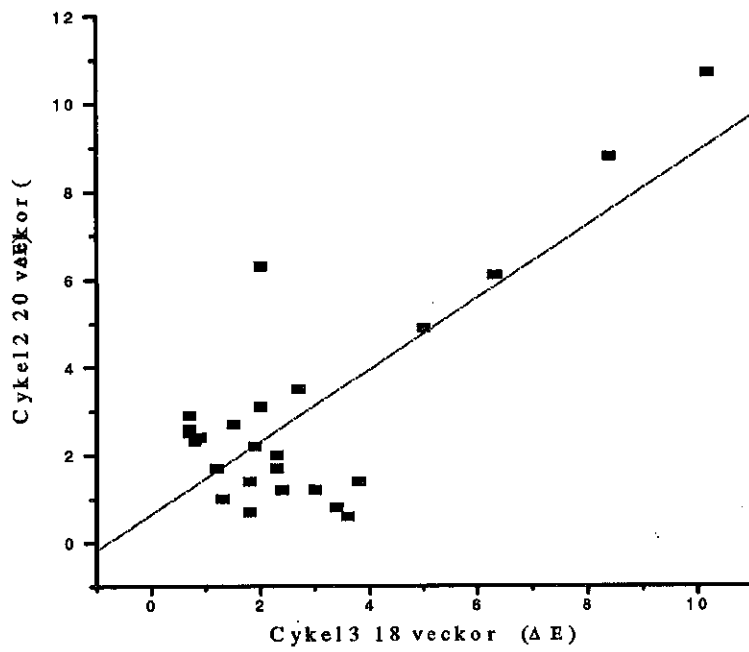


Diagram 7, Kulörändring, korrelationsfaktor 0,77

Tabell 12, Korrelationsfaktorer  
Utbredning av rost, blåsor och defekter ifrån repa, mm

	Cykel 1	Cykel 2	Cykel 3
Bohus- Malmön 2 år	0,76	0,82	0,70
Bohus- Malmön 4 år	0,81	0,87	0,73
Borregaard 2 år	0,39	0,53	0,52
Borregaard 4 år	0,42	0,57	0,61
Borregaard 7 år	0,52	0,65	0,71

Tabell 13, Korrelationsfaktorer  
Resterande glans, %

	Cykel 1	Cykel 2	Cykel 3
Bohus- Malmön 2 år	0,52	0,16	0,34
Bohus- Malmön 3 år	0,27	0,11	0,41
Bohus- Malmön 4 år	0,28	0,15	0,39
Borregaard 2 år	0,55	0,24	0,75
Borregaard 3 år	0,28	0,25	0,55

Tabell 14, Korrelationsfaktorer  
Resterande glans, % utan färgsystem L

	Cykel 1	Cykel 2	Cykel 3
Bohus- Malmön 2 år	0,54	0,30	0,55
Bohus- Malmön 3 år	0,30	0,46	0,69
Bohus- Malmön 4 år	0,36	0,63	0,78
Borregaard 2 år	0,55	0,45	0,75
Borregaard 3 år	0,23	0,44	0,66

Tabell 15, Korrelationsfaktorer  
Kulörändring,  $\Delta E$

	Cykel 1	Cykel 2	Cykel 3
Bohus- Malmön 2 år	0,47	0,18	0,38
Bohus- Malmön 3 år	0,47	0,18	0,38
Bohus- Malmön 4 år	0,26	0,16	0,33
Borregaard 2 år	0,53	0,13	0,27
Borregaard 3 år	0,19	0,30	0,30

## 4. Diskussion och slutsatser

Projektets huvudsakliga syfte har varit att genom att införa ett åldringsmoment med hjälp av UV-ljus och upprepade nedfrysningar åstadkomma en åldring av färgskiktet så att resultaten vid korrosionsprovning genom exponering i klimatskåp med 1 ppm SO<sub>2</sub> och 95 % relativ fuktighet enligt metod NT BUILD 377 förbättras relativt resultat ifrån fältexponering.

Enligt resultat som redovisats i Arbetsrapport SP-AR 1990:73 NORDTEST-projekt nummer 549-85 "Korrosionsprovning i svaveldioxidhaltig atmosfär med hög relativ fuktighet" fås en i dessa sammanhang hög korrelation mellan exponering i klimatskåp vid 1 ppm SO<sub>2</sub> och 95% relativ fuktighet och fältexponering på Bohus- Malmön med marint klimat med avseende på utbredning av korrosion och blåsbildning vid repa. Överensstämmelsen blir bra även med avseende på typ och uppkomst av korrosion, blåsor och filiformkorrosion. Vid exponeringen på fältstationerna uppkommer dock på flera av färgsystemen sprickbildning, krackelering och flagning av färgskiktet. I dessa defekter uppstår i flera fall omfattande korrosionsangrepp. Utan åldring av färgfilmen uppkommer inte dessa effekter vid exponering enligt den accelererade korrosionsprovningemetoden ovan.

Vid de accelererade provningsmetoderna som studerades i detta projekt uppstod dock inte skador typ sprickbildning och flagning i färgfilmen vilket innebar att resultatet av korrosionsprovningemetoden inte förbättrades på det sätt vilket förväntats.

Den bästa överensstämmelsen relativt exponering på marin fältstation erhöles vid exponering enbart i klimatskåp med SO<sub>2</sub> och då exponeringen sker med UV- åldring följt av exponering i klimatskåp med SO<sub>2</sub>. Då provpanelerna växelvis UV- åldrades och exponerades i SO<sub>2</sub> innebar detta en mindre utbredning av defekter i form av blåsbildning korrosionsangrepp vid repa än vid enbart exponering i SO<sub>2</sub> och 95% relativ fuktighet.

Vid de utförda laboratorieexponeringar med UV- ljus exponering framför allt då exponering utfördes växelvis mellan UV- åldring och exponering i klimatskåp med SO<sub>2</sub> erhöles en låg tillväxt vad avser tillväxt av defekter ifrån repa. Orsaken är troligen att färgfilmen torkar ut på grund av strålningsvärme från ljuskällan i betydligt högre grad än vad som sker naturligt på fältstationerna av typen Bohus- Malmön. Uttorkningen får som följd att en eventuell filiformkorrosion avstannar.

Den relativt korta exponeringstiden i klimatskåpet på två veckor där den relativa luftfuktigheten är 95% får inte filiformkorrosionen att återuppstå. Detta visas av att om UV-åldring utförs före exponeringen i klimatskåpet fås en större utbredning vid repa än vid den växelvisa exponeringen mellan UV-ljus och klimatskåp. Här fås dock sannolikt en kraftig uttorkning av färgfilmen vid den 10 veckor långa exponeringen i UV- ljus före exponeringen i klimatskåpet vilket gör att en eventuell korrosionsutbredning vid repa tar längre tid att starta.

Rostutbredning och blåsbildning på provytan uppstod enbart på system A och M vid laboratorieexponeringarna. Omfattningen blir något större vid exponering enbart i SO<sub>2</sub> än där UV- åldring ingår i exponeringscykeln vilket kan förklaras av upptorkningen vid UV- exponeringen.

Överensstämmelsen vad avser utbredning av defekter vid repa är dock dålig mellan de båda fältstationerna i projektet Bohus- Malmön med marint klimat och Borregaard med industriklimat. Korrelationsfaktorn med avseende på utbredning av defekter ifrån repa är i detta sammanhang 0,56 vilket visar att resultatet ifrån fältexponeringar på olika fältstationer kan avvika väsentligt ifrån varandra. En starkt bidragande orsak till den dåliga överensstämmelsen är förmodligen att utbredningshastigheten av defekter från repa skiljer sig markant mellan de olika fältstationerna.



Klimatdata som medeltemperatur, medelfuktighet och våttid skiljer sig inte i någon större omfattning. Däremot är skillnaden i mikroklimatet sannolikt betydligt större. På Bohus-Malmön fås en betydligt större deposition av klorider än på Borregaard. Klorider är hygroskopiska och förlänger sannolikt därmed våttiden på panelerna.

Den längre våttiden och den högre kloridkoncentrationen ger upphov till den oftast högre korrosionshastigheten på Bohus-Malmön.

Åldring i form av kulörändring och glansnedgång erhöles både vid den accelererade åldringen och vid utomhusåldringen.

Mellan de båda fältexponeringarna är överensstämmelsen med avseende på glansändring hos färgskikten bra med en korrelationsfaktor på 0,88. Mellan fältexponering på Borregaard och laboratorieexponeringar då UV och SO<sub>2</sub> växlas ligger korrelationsfaktorn på omkring 0,75 om system L inte räknas med. Det bör påpekas att glansnedgång för vissa alkyd system uppstod även vid enbart exponering i klimatskåp med SO<sub>2</sub> vilket visar att en nedbrytning av vissa färgskikt i detta fall enbart färgskikt med alkyder som bindemedel sker då färgfilmen enbart påverkas av SO<sub>2</sub> och fukt.

Resultaten ifrån exponeringarna tyder på att överensstämmelsen mellan laboratorieexponeringarna och fältexponeringarna med avseende på glansnedgång blir störst vid en exponeringen med en växling mellan UV- åldring och exponering i SO<sub>2</sub>. Färgsystem L som är en vattenburen akrylat av svart kulör avviker ifrån de andra färgerna i detta avseende. Här erhöles en relativt sett betydligt större glansnedgång vid laboratorieexponeringen än för de andra färgsystemen av vilka de flesta har vit eller ljus kulör. På grund av den svarta kulören fås en relativt högre exponeringstemperatur vid exponeringen i UV- ljus vilket utgör den troliga orsaken till den observerade effekten.

För att åstadkomma en åldring av färgskikten i samband med korrosionsprovnigen valdes för detta projekt den traditionella klimatcykeln enligt ASTM G 26. Metoden gav dock upphov till upptorkningseffekter som hämmade korrosionen i en utsträckning som var större än vad som observerades vid fältexponeringar speciellt på Bohus-Malmön. Effekter i form av sprickbildning och flagning uppkom inte vid denna åldring vilket var ett av syftena med projektet. En naturlig fortsättning skulle därför vara att modifiera den traditionella väderbeständighetstesten så att denna bättre simulerar de åldringsbetingelser och fuktförhållanden som råder vid fältexponeringar. En sådant arbete skulle därmed kunna leda fram till avsedd förbättring av metoden NT BUILD 377 men samtidigt kräver väsentligen mer omfattande undersökningar.

## 5. Referenser

1. Igetoft, L., "Korrosionsprovning av målat stål, en studie av några exponeringsmetoder" KORROSION I ATMOSFÄR - provning och utvärdering, Korrosionsinstitutet 1987.
2. Elgåsen, E., "Korrosionsprovning i svaveldioxidhaltig atmosfär med hög relativ luftfuktighet." Nordtestprojekt nr 549-85. Arbetsrapport SP-AR 1990:73
3. Skerry, B.S., Alari, A., and Lindgren, K.I., "Environmental and Electrochemical Test Methods for evaluation of Protective Organic coatings". Journal of coatings Technology, 60 No 765, 95 ( 1988 ).
4. J. Henriksen, " Borregaards teststasjon. KORROSION I ATMOSFÄR-provning och atmosfär, Korrosionsinstitutet .
5. Övervakning av korrosion 1987- 1988. Rapport nr: 372/89. NILU
6. NILUs feltstasjoner for korrosion Miljø- og korrosjonsmålinger 1989. Rapport nr: 429/90. NILU
7. NILUs feltstasjoner for korrosion Miljø- og korrosjonsmålinger 1990. Rapport nr: 460/91. NILU

Utbredning i mm av rost och blåsbildning på paneleytan.  
Bohus- Malmön

Färg-system	5 månader			1 år			2 år			3 år			4 år						
	Ri	Bl		Ri	Bl	Sp	Ri	Bl	Sp	Ri	Bl	Sp	Ri	Bl	Sp	Ri	Bl	Sp	FI
A	0,9	-		1	1,2S2	-	0,9	1,7S2,2	-	2,0	1S3	-	2,0	1S3	-	3,2	1S3	-	1S1,5
B	0,8	0,2S2		0,8	0,5S1,4	-	0,9	1,6S2,1	-	2,3	1,5S2	-	2,3	1,5S2	-	3	1S2,5	-	0,8S1,8
C	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	0,1	-		0,1	0,7S2	-	0,3	0,9S1,8	-	0,1	0,2S3	-	0,1	0,2S3	-	0,2	0,2S3	-	-
E	-	-		-	-	-	-	0,1S1	-	0,1	0,2S3	-	0,1	0,2S3	-	0,3	0,2S3	-	-
F	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-		-	0,1S3	0,1S1	0,4	0,1S2	0,7	1,0	0,2S2,5	3S3	1,0	0,2S2,5	3S3	3,3	2,6S3,2	4,7S3	-
H	0,3	-		0,4	0,1S2	-	0,3	0,5S1,4	-	0,3	0,1S2	-	0,3	0,1S2	-	1,7	1S2,5	-	-
I	-	-		0,1	-	0,3S2	0,2	-	0,6S2	1,0	2S2,1	3S3	1,0	2S2,1	3S3	3,1	2,2S2	4,5S3	-
J	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M	4,2	-		5	5S2	-	5	5S2	-	>5	5S2	-	>5	5S2	-	>5	5S2	-	-
N	0,5	-		0,6	1,6S2	-	0,5	0,8S1,6	0,1	0,3	0,2S4	-	0,3	0,2S4	-	0,3	0,2S4	-	-
O	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T	0,1	-		0,1	0,1S1,5	-	0,1	0,1S1,5	-	-	0,1S1,5	-	-	0,1S1,5	-	-	0,1S1,5	-	-
U	-	-		-	-	-	-	-	-	0,8	-	2S3	0,8	-	2S3	0,8	1,5S1,5	2S3	-
V	-	-		-	-	-	0,4	-	0,8S2	1,2	-	2,5S3	1,2	-	2,5S3	3	1,5,1,5	5S3	-
W	-	-		-	-	-	-	-	0,2S2	0,6	-	3S3	0,6	-	3S3	0,7	1S1	3S3	-
X	0,5	-		0,9	0,7S1	-	0,8	1,7S1,4	-	1,2	3S1,5	-	1,2	3S1,5	-	0,7	3S2	-	2S1
Y	1,1	-		1,4	1,2S1,3	-	1,4	3S1,5	-	1,5	4S1,5	-	1,5	4S1,5	-	1,0	4S1,5	-	5S2
Z	-	-		0,7	1,3S1,1	-	0,7	1,2S1,9	-	0,8	1S2	-	0,8	1S2	-	-	-	-	-

Ri = rostutbredning Bl = blåsbildning Sp = sprickbildning, krackelering FI = flagning

Utbredning i mm av rost och blåsbildning på panelytan.  
Borregaard

Färg- sys- tem	1 år			2 år			3 år			4 år			5 år			7 år							
	Ri	Sp		Ri	Bl	Sp	Ri	Bl	Sp	Ri	Bl	Sp	Ri	Bl	Sp	Ri	Bl	Sp	Fi	Sp	Fi		
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	4S2	5S3	5S1	-	-	-	-	5S3	5S2	
B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1S2	4,2S2	2S1	-	-	-	-	1S3	4S3
C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	-	-	-	-	0,1S2	-	-	0,1S2	-	-	-	-	-	-	2S3	-	-	-	-	-	2S3	1S1	-
E	-	-	-	-	0,1S2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1S2	-	-	-	-	1S1	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	2S3	-	-	-	3S3	-	-	4S3	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	5S4	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5S4	-	-	-	-	-	-	-	-
I	-	2S3	-	-	-	3S3	2	-	4S3	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	1	-	5S4	2S4
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7	-	-	5S4	-	-	-	-	-	-	-	-
K	-	5S3	-	-	-	5S3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5S3	-
L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M	1	-	-	1	-	-	1	1S4	-	-	1,2	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
N	-	-	-	-	1S2,3	-	-	2S3	-	-	-	-	-	-	-	0,2S3	0,2S1	-	-	-	1S3	1S2	-
O	-	-	-	-	2S2	-	-	-	-	-	-	-	-	2S3	-	1S2	1S2	-	-	-	1S3	1S2	-
P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5S3	-
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
U	-	0,7S3	-	-	-	3S3	-	-	-	-	0,8	-	-	-	3,7S4	-	-	-	-	-	3S3	-	5S4
V	-	1S3	-	-	-	3S3	-	-	-	-	-	-	-	-	3,7S4	-	-	-	-	-	5S3	-	5S4
W	-	1S3	-	-	-	3S3	-	-	-	-	-	-	-	-	4S4	-	-	-	-	-	5S3	-	5S4
X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
Y	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1S1	1,2	-	-	-	1S2	0,1S1	0,7	-	-	-	-	1S2	2S3
Z	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Ri = rostutbredning Bl = blåsbildning Sp = sprickor, krackelering Fi = flagnig

Utbredning i mm av rost och blåsbildning på provpanelerna  
Cykel 1, 10 veckors exponering i klimatskåp med 1ppm SO<sub>2</sub> och 95% RH

Färg-system	2 veckor		4 veckor		6 veckor		8 veckor		10 veckor	
	Ri	Bl	Ri	Bl	Ri	Bl	Ri	Bl	Ri	Bl
A	-	4S4	-	4S4			1	5S4	1	5S4
M	-	-	1	-	2	-	2	-	3	-

Ri = rostutbredning Bl = blåsbildning

Utbredning i mm av rost och blåsbildning på provpanelerna.  
Cykel 2, 10 veckors UV-exponering följt av 10 veckor exponering i 1 ppm SO<sub>2</sub> med 95% RH.

Färg-system	14 veckor		16 veckor		18 veckor		20 veckor	
	Ri	Bl	Ri	Bl	Ri	Bl	Ri	Bl
A	1	5S2	2	5S2	2	5S3	3	5S3
M	-	-	1	-	2	-	2	-

Ri = rostutbredning Bl = blåsbildning

Utbredning i mm av rost, blåsor och defekter ifrån repa.  
Cykel 3a, 2 veckor UV följt av 2 veckor i klimatskåp med 1 ppm SO<sub>2</sub> och 95% RH upprepat 5 gånger, första exponering

Färg-system	4 veckor		8 veckor		12 veckor		16 veckor		20 veckor	
	Ri	Bl	Ri	Bl	Ri	Bl	Ri	Bl	Ri	Bl
A	-	4S4	-	4S4	1	5S4	1	5S2	1	5S2

Ri = rostutbredning Bl = blåsbildning

Utbredning i mm av rost, blåsor och defekter ifrån repa.  
Cykel 3b, 2 veckor UV följt av 2 veckor i klimatskåp med 1 ppm SO<sub>2</sub> och 95% RH upprepat 5 gånger, första exponering

Färg-system	4 veckor		8 veckor		12 veckor		16 veckor		20 veckor	
	Ri	Bl	Ri	Bl	Ri	Bl	Ri	Bl	Ri	Bl
A	-	4S4	-	5S4		5S3	2	5S2	2	5S3
M	-	-	1	-	1	-	1	-	1	-

Ri = rostutbredning Bl = blåsbildning

Utbredning i mm av rost och blåsbilning vid repa.

Färgsystem	Cykel 1 10v SO <sub>2</sub>			Cykel 2 10v SO <sub>2</sub> + 10v UV		Cykel 3 5x(2v SO <sub>2</sub> + 2 vUV)		Bohus- Malmön			Borregaard		
	6 veckor	10 veckor	16 veckor	10 veckor	20 veckor	12 veckor	20 veckor	2 år	4 år	2 år	4 år	7 år	
A	0	0	0	0	1	0	0,75	2,6	2,8	1	1,2	1,3	
B	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	2,1	3	1	1,3	2,3	
C	0,5	0,75	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	1,8	3	1	1	1	
D	1,5	4,5	1	5	5	1,4	2	15,7	24	5,2	9,3	11,5	
E	2	5	1,5	4	4	0,7	1	18,3	26,2	1,8	1,8	3	
F	0,5	1,5	0,5	1	1	0,4	0,4	2,6	5,5	1,1	1,5	1,3	
G	0,75	1,25	0,5	1	1	0,4	0,5	8,7	11	2,7	3,7	3,7	
H	0,25	0,5	0	0	0	0,25	0,25	2,2	3,5	1	1	1	
I	0,5	1	0,5	1	1	0,6	1	9,7	14,5	2,2	2,3	2,1	
J	0,25	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	4	5	1,3	2,2	1,7	
K	0,25	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,9	2,7	1	1,2	1,2	
L	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	7,3	7,7	2,9	3,7	4	
M	0	0	0,25	0,25	0,25	0,1	0,3	2	2	0	1	1	
N	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	7,1	8	1	1,8	1,5	
O	0,5	1	0,5	0,5	0,75	0,5	0,5	3,7	4,8	1	1,3	1,8	
P	0,5	0,25	0,5	0,5	0,5	0,75	0,9	5,9	7	3,5	4,7	5,3	
R	0,25	0,5	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	8,2	9,8	1	1,8	2,3	
S	0,25	0,75	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0	0,8	1	1,5	1,7	
T	0,5	1	0,5	0,5	0,75	0,5	1	1	1	0	0,5	0,7	
U	0,25	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	2,7	3,5	3	5,3	6	
V	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,4	2,3	3,4	1	1,3	1,2	
W	0,25	1	0,5	0,5	0,75	0,25	0,4	3,3	9	4	4	4,7	
X	0,25	0,75	0	0	0	0,1	0,25	1,1	1	1	1,7	1,7	
Y	-	-	0,25	0,25	0,25	0,4	0,4	1,6	2	1	1,2	2,2	
Z	-	-	0,25	0,25	0,25	0,4	0,4	3,8	4,3	1	2	1	

Resterande glans, %

Färgsystem	Cykel 1 10v SO <sub>2</sub>			Cykel 2 10v SO <sub>2</sub> + 10v UV			Cykel 3 5x(2v SO <sub>2</sub> + 2 vUV)		Bohus- Malmö			Borregaard		
	10 veckor	6 veckor	10 veckor	10 veckor	20 veckor	10 veckor	20 veckor	2 år	3 år	4 år	2 år	3 år	2 år	3 år
A	61	52	57	41	37	50	37	43	30	19	54	41	54	41
B	93	69	69	69	69	75	69	42	33	24	77	39	77	39
C	93	73	46	46	43	73	43	50	21	21	51	32	51	32
D	82	65	81	81	49	67	49	29	22	17	49	29	49	29
E	77	72	84	84	52	67	52	38	18	17	37	25	37	25
F	69	72	72	69	27	57	27	11	7	4	10	8	10	8
G	105	71	71	71	60	67	60	63	24	16	55	32	55	32
H	31	86	86	2	6	32	6	21	9	4	14	10	14	10
I	100	68	68	64	60	61	60	65	23	14	52	31	52	31
J	89	67	67	53	64	71	64	85	51	21	59	74	59	74
K	102	55	55	60	65	64	65	27	24	22	40	56	40	56
L	97	38	31	30	47	60	47	94	89	78	77	77	77	77
M	91	80	80	120	85	82	85	44	43	40	58	59	58	59
N	90	77	80	80	70	74	70	55	32	23	38	39	38	39
O	85	75	84	79	74	82	74	56	26	22	60	38	60	38
P	99	62	59	79	63	72	63	48	7	14	49	11	49	11
R	79	75	67	60	51	69	51	38	13	12	51	35	51	35
S	97	45	11	66	7	47	7	48	6	5	25	6	25	6
T	95	72	69	9	63	79	63	84	36	14	73	40	73	40
U	105	66	65	64	65	67	65	59	25	15	61	33	61	33
V	102	70	67	67	66	68	66	57	24	14	62	31	62	31
W	104	74	71	73	65	68	65	53	25	16	58	28	58	28
X	-	13	7	7	6	7	6	13	13	8	10	13	10	13
Y	105	92	85	85	89	95	89	54	40	36	53	39	53	39
Z	-	65	100	100	54	50	54	61	16	13	27	24	27	24

Tabell Kulörändring, ΔE

Färgsystem	Cykel 1 10v SO <sub>2</sub>			Cykel 2 10v SO <sub>2</sub> + 10v UV			Cykel 3 5x(2v SO <sub>2</sub> + 2 vUV)			Bohus- Malmön			Borregaard										
	10 veckor	6 veckor	10 veckor	10 veckor	20 veckor	10 veckor	18 veckor	2 år	3 år	4 år	2 år	3 år	4 år	2 år	3 år								
	A	1,6	2,5	2,9	2,0	2,8	2,3	6,2	4,8	4,3	5,9	3,9	B	2,5	2,2	2,5	1,7	2,7	2,3	7,7	5,2	7,5	7,3
C	0,3	0,8	3,8	3,5	0,9	2,7	2,9	2,7	2,5	2,9	3,4	D	2,7	2,9	2,7	2,5	2,9	2,9	6,8	5,2	8,8	6,5	5,5
E	2,6	1,3	1,3	1,4	3,8	3,8	6,4	5,1	9,0	6,8	5,3	F	0,6	8,1	10,7	10,7	11,0	10,2	7,3	7,4	6,4	8,0	8,9
G	1,0	0,6	0,8	2,9	0	0,7	4,3	3,2	-	4,3	5,2	H	1,2	8,5	7,3	6,1	2,8	6,3	2,8	4,0	5,3	2,7	3,6
I	1,4	0,4	0,7	3,1	1,0	1,0	1,0	2,0	-	5,0	4,4	J	2,1	1,6	1,7	1,4	1,7	1,8	2,6	2,4	1,7	5,1	3,8
K	0,5	0,9	1,1	2,4	1,0	0,9	3,6	2,3	3,1	3,9	3,4	L	0,2	1,0	1,0	1,0	1,3	2,4	2,4	2,1	0,9	3,9	2,4
M	1,0	1,7	2,2	2,2	1,6	1,9	-	-	-	2,3	4,8	N	2,7	2,2	2,4	1,2	3,3	3,0	5,8	4,3	3,7	6,9	4,5
O	2,8	2,0	2,2	1,2	2,8	2,4	5,3	4,0	3,2	6,7	4,3	P	0,9	1,1	1,5	2,7	1,0	1,5	3,8	3,4	3,3	5,8	4,6
R	2,5	3,2	3,1	0,8	3,8	3,4	4,3	3,4	1,6	6,8	3,6	S	0,3	1,0	1,7	0,7	1,0	1,8	2,6	2,1	2,4	3,3	2,2
T	0,4	1,6	1,8	1,7	1,5	1,2	0,6	1,7	2,5	0,9	1,3	U	0,8	1,0	1,1	2,3	0,9	0,8	4,2	3,0	5,3	5,9	5,1
V	1,0	0,6	0,7	2,6	1,1	0,7	5,1	3,2	-	5,9	4,7	W	0,3	0,9	1,0	2,5	1,1	0,7	4,7	3,3	-	5,9	4,5
X		1,7	1,5	4,9	2,5	5,0	-	5,2	6,9	-	5,8	Y	3,9	6,2	4,0	6,3	2,5	2,0	4,8	-	-	6,0	-
Z		3,6	9,0	8,8	2,3	8,4	-	2,9	3,0	-	1,3												



Utbredning i mm av blåsor, rost och defekter ifrån repa,  
Bohus- Malmön

Färgsystem	5 mån	1 år	2 år	3 år	4 år
A	1	2	2,6	2,7	2,8
B	1,3	1,7	2,1	2,7	3
C	1	1,8	1,8	2,7	3
D	6,9	1,7	15,7	18,8	24
E	11,5	15,0	18,3	23,4	26,2
F	1	2,2	2,6	3,7	5,5
G	3,3	5,9	8,7	9,0	11
H	0	2,2	2,2	3,0	3,5
I	3,8	6,3	9,7	11,7	14,5
J	0,9	3,0	4,0	4,9	5,0
K	0	1	1,9	2,2	2,7
L	1,9	4,8	7,3	8,3	7,7
M	2	2	2	2	2
N	3,5	4,5	7,1	7,4	8,0
O	1	2,5	3,7	4	4,8
P	2,7	4	5,9	7,1	7,0
R	2,4	6,0	8,2	10,2	9,8
S	0	0	0	0,7	0,8
T	0	1	1	1	1
U	1	1,7	2,7	3,6	3,5
V	1	1,4	2,3	2,9	3,4
W	1	2,1	3,3	5,3	9,0
X	0	1,1	1,1	1,3	1
Y	0	1,6	1,6	1,8	2
Z	2	2,5	3,8	4,4	4,3

Utbredning i mm av blåsor, rost och defekter ifrån repa,  
Borregaard

Färgsystem	5 mån	1 år	2 år	3 år	4 år	5 år	7 år
A	0	1	1	1	1,2	1,3	1,3
B	0	1	1	1	1,3	2,5	2,3
C	1	1	1	1	1	1	1
D	1	2	5,2	6,8	9,3	8	11,5
E	0	1,8	1,8	2,1	1,8	2,2	3,0
F	1	1	1,1	1,4	1,5	1,4	1,3
G	1	2	2,7	2,7	3,7	3,0	3,7
H	1	1	1	1	1	1	1
I	1	2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,1
J	1	1	1,3	1,8	2,2	1,7	1,7
K	0	0	1	1,2	1,2	1,5	1,2
L	1,7	2,3	2,9	3,4	3,7	3	4
M	0	0	0	1	1	1	1
N	0	0	1	1	1,8	1,3	1,5
O	0	0	1	1,1	1,3	1,5	1,8
P	0	3	3,5	4	4,7	4,8	5,3
R	0	1	1	1	1,8	1,8	2,3
S	0	0	1	1,3	1,5	1,5	1,7
T	0	0	0	0,5	0,5	0,4	0,7
U	1,3	2	3	3,9	5,3	4,5	6,0
V	0	0	1	1,1	1,3	1,2	1,2
W	1	1	4	3,8	4	4	4,7
X	0	1	1	1	1,7	1,8	1,7
Y	0	0	1	1,1	1,2	1,5	2,2
Z	0,8	1	1	1	2	1,4	1

Utbredning i mm av rost, blåsor och defekter ifrån repa,  
Cykel 1, 10 veckors exponering i klimatskåp med 1ppm SO<sub>2</sub> och 95% RH

Färgsystem	2 veckor	4 veckor	6 veckor	8 veckor	10 veckor
A	0	0	0	0	0
B	0	0,25	0,5	0,5	0,5
C	0	0,25	0,5	0,5	0,75
D	0	0,25	1,5	3	4,5
E	0	0,25	2	3	5
F	0	0,25	0,5	1	1,5
G	0,25	0,5	0,75	1	1,25
H	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5
I	0,25	0,5	0,5	1	1
J	0	0,25	0,25	0,25	0,5
K	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5
L	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
M	0	0	0	0	0
N	0	0,25	0,25	0,25	0,25
O	0	0,25	0,5	0,75	1
P	0,25	0,5	0,5	0,75	1,25
R	0	0,25	0,25	0,5	0,5
S	0,25	0,25	0,25	0,5	0,75
T	0,25	0,5	0,5	0,5	1
U	0	0,25	0,25	0,5	0,5
V	0	0,25	0,25	0,5	0,5
W	0	0,25	0,25	0,75	1
X	0,25	0,25	0,25	0,25	0,75
Y	-	-	-	-	-
Z	-	-	-	-	-

Utbredning i mm av rost, blåsor och defekter ifrån repa,  
 Cykel 2, 10 veckors UV-exponering följt av 10 veckor exponering i 1 ppm SO<sub>2</sub> med  
 95% RH.

Färgsystem	12 veckor	14 veckor	16 veckor	18 veckor	20 veckor
A	0	0	0	0	1
B	0	0,25	0,25	0,25	0,25
C	0	0,25	0,5	0,5	0,5
D	0	0,25	1	2,5	5
E	0	1	1,5	2	4
F	0	0,25	0,5	0,5	1
G	0,25	0,25	0,5	0,75	1
H	0	0	0	0	0
I	0,25	0,25	0,5	0,75	1
J	0	0,25	0,25	0,25	0,25
K	0	0,25	0,25	0,25	0,25
L	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5
M	0	0,25	0,25	0,25	0,25
N	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5
O	0,25	0,5	0,5	0,5	0,75
P	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
R	0	0,25	0,25	0,25	0,25
S	0	0,25	0,25	0,25	0,25
T	0,5	0,5	0,5	0,5	0,75
U	0	0,25	0,25	0,25	0,25
V	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5
W	0,25	0,5	0,5	0,5	0,75
X	0	0	0	0	0
Y	0	0,25	0,25	0,25	0,25
Z	0	0,25	0,25	0,25	0,25



Utbredning i mm av rost, blåsor och defekter ifrån repa,  
 Cykel 3 b, 2 veckor UV följt av 2 veckor i klimatskåp med 1 ppm SO<sub>2</sub> och 95% RH upprepat 5 gånger, andra exponering.

Färg-system	4	6	8	10	12	14	16	20
A	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5
B	0	0	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
C	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5
D	0,25	0,25	0,25	1,5	1,75	1,75	1,75	2
E	0	0,5	0,75	0,75	0,75	1	1	1
F	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5
G	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5
H	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
I	0,25	0,5	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	1
J	0	0	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
K	0	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
L	0	0,25	0	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5
M	0	0	0,25	0	0	0	0	0
N	0	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
O	0	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
P	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,75
R	0	0,25	0,25	0,5	0,25	0,25	0,25	0,5
S	0	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
T	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,75	1
U	0	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5
V	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5
W	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5
X	0	0	0	0	0	0	0,25	0,25
Y	0	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5
Z	0	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Tabell 12, Korrelationsfaktorer  
Utbredning av rost, blåsor och defekter ifrån repa, mm

	Cykel 1	Cykel 2	Cykel 3
Bohus- Malmön 2 år	0,76	0,82	0,70
Bohus- Malmön 4 år	0,81	0,87	0,73
Borregaard 2 år	0,39	0,53	0,52
Borregaard 4 år	0,42	0,57	0,61
Borregaard 7 år	0,52	0,65	0,71

Tabell 13, Korrelationsfaktorer  
Resterande glans, %

	Cykel 1	Cykel 2	Cykel 3
Bohus- Malmön 2 år	0,52	0,16	0,34
Bohus- Malmön 3 år	0,27	0,11	0,41
Bohus- Malmön 4 år	0,28	0,15	0,39
Borregaard 2 år	0,55	0,24	0,75
Borregaard 3 år	0,28	0,25	0,55

Tabell 14, Korrelationsfaktorer  
Resterande glans, % utan färgsystem L

	Cykel 1	Cykel 2	Cykel 3
Bohus- Malmön 2 år	0,54	0,30	0,55
Bohus- Malmön 3 år	0,30	0,46	0,69
Bohus- Malmön 4 år	0,36	0,63	0,78
Borregaard 2 år	0,55	0,45	0,75
Borregaard 3 år	0,23	0,44	0,66

Tabell 15, Korrelationsfaktorer  
Kulörändring,  $\Delta E$

	Cykel 1	Cykel 2	Cykel 3
Bohus- Malmön 2 år	0,47	0,18	0,38
Bohus- Malmön 3 år	0,47	0,18	0,38
Bohus- Malmön 4 år	0,26	0,16	0,33
Borregaard 2 år	0,53	0,13	0,27
Borregaard 3 år	0,19	0,30	0,30

