



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R85:1983

## Plana termiska solfångare

Utveckling av metoder för provning av  
åldrings- och korrosionsegenskaper

Hans Wennerholm

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	Plac <i>Ser</i>

*K  
00/1*

R85:1983

PLANA TERMISKA SOLFÄNGARE

Utveckling av metoder för provning av  
åldrings- och korrosionsegenskaper

Hans Wennerholm

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
780152-9 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Statens provningsanstalt, Borås.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R85:1983

ISBN 91-540-3984-3

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1983

# INNEHÅLL

## FÖRORD

## SAMMANFATTNING

1	INLEDNING .....	10
1.1	Bakgrund .....	10
1.2	Övergripande mål .....	10
1.3	Delmål .....	10
2	PROBLEMBESKRIVNING .....	12
2.1	Önskvärda driftsegenskaper .....	12
2.2	Väsentliga egenskaper .....	12
2.3	Sönderfallsfaktorer .....	12
2.3.1	Solstrålning .....	13
2.3.2	Temperatur .....	14
2.3.3	Fuktighet .....	15
2.3.3.1	Plasters sönderfall i fukt .....	15
2.3.3.2	Atmosfärisk korrosion .....	15
2.3.3.2.1	Torr atmosfärisk korrosion .....	15
2.3.3.2.2	Fuktig atmosfärisk korrosion .....	15
2.3.3.2.3	Våt atmosfärisk korrosion .....	16
2.3.4	Syre och ozon .....	16
2.3.5	Luftföroreningar .....	16
2.4	Material .....	17
2.4.1	Absorbatorssubstrat .....	17
2.4.2	Selektiva beläggningar .....	17
2.4.2.1	Black nickel .....	17
2.4.2.2	Black copper .....	17
2.4.2.3	Black chrome .....	18
2.4.2.4	Black iron .....	18
2.4.3	Icke-selektiva beläggningar .....	18
2.4.3.1	Färger och lacker .....	19
2.4.3.1.1	Akryllacker .....	23
2.4.3.1.2	Alkydlacker .....	23
2.4.3.1.3	Epoxilacker .....	23
2.4.3.1.4	Polyuretanlacker .....	24
2.4.3.1.5	Silikonlacker .....	25
2.4.3.1.6	Egenskaper hos lackerade metallytor .....	26
2.4.3.1.7	Sammanfattning av egenskaperna .....	30
3	ACCELERERAD PROVNING .....	33
4	LABORATORIEUNDERSÖKNINGAR .....	38
4.1	Material .....	38
4.2	Provningsmetoder .....	38
4.2.1	Egenskapsbestämningar .....	38
4.2.2	Laboratorieprovningar .....	39
4.2.2.1	Hög temperatur .....	39
4.2.2.2	Temperaturcykling .....	39
4.2.2.3	Ultraviolett strålning .....	39
4.2.2.4	Ultraviolett strålning och vatten .....	40
4.2.2.5	Ultraviolett strålning och ozon .....	40
4.2.2.6	Ultraviolett strålning och svaveldioxid .....	40
4.2.2.7	Konstant temperatur och RH .....	40
4.2.2.8	Konstant temperatur och RH .....	41
4.2.2.9	Konstant temperatur och RH .....	41
4.2.2.10	Cyklisk temperaturvariation vid högt RH .....	41
4.2.2.11	Cyklisk temperaturvariation vid högt RH .....	41

4.2.2.12	Cyklisk variation av temperatur och RH....	41
4.2.2.13	Saltdimma .....	42
4.2.2.14	Saltdimma .....	42
4.2.2.15	Vattenbad .....	42
4.3	Provningsresultat .....	42
4.3.1	Absorbator 1 .....	42
4.3.2	Absorbator 2 .....	43
4.3.3	Absorbator 3 .....	43
4.3.4	Absorbator 4 .....	43
4.3.5	Absorbator 5 .....	43
4.3.6	Absorbator 6 .....	44
4.3.7	Absorbator 7 .....	44
4.3.8	Absorbator 8 .....	44
4.3.9	Absorbator 9 .....	44
4.3.10	Absorbator 10 .....	45
4.3.11	Absorbator 11 .....	45
4.3.12	Absorbator 12 .....	45
4.3.13	Absorbator 13 .....	45
4.3.14	Absorbator 14 .....	45
4.3.15	Absorbator 15 .....	46
4.3.16	Absorbator 16 .....	46
4.3.17	Absorbator 17 .....	46
4.4	Undersökningar med Auger- elektron- spektroskopi .....	46
4.4.1	Resultat och diskussion .....	47
4.4.1.1	Absorbator 5 .....	47
4.4.1.2	Absorbator 8 .....	47
4.4.1.3	Absorbator 10 .....	47
4.4.1.4	Absorbator 13 .....	48

LITTERATURFÖRTECKNING .....	49
-----------------------------	----

TABELLER

DIAGRAM

## TABELLFÖRTECKNING

1	Miljöfaktorer	13
2	Svarta färger	21
3	Optiska egenskaper för några färger med silikonbindemedel	22
4	Faktorer som påverkar lackskiktets egenskaper	28
5	Sammanfattning av olika lackers miljöbeständiga egenskaper	31
6	Sammanfattning av olika lackers fysikaliska egenskaper	32
7	Metodik enligt ANSI/ASTM E 632-78	35
8	Översikt över provade absorbatörer	50
9	Provningsresultat enl. moment 4.2.2.1 "Hög temperatur", 150 °C	51
10	Provningsresultat enl. moment 4.2.2.1 "Hög temperatur", 200 °C	52
11	Provningsresultat enl. moment 4.2.2.1 "Hög temperatur", 250 °C	53
12	Provningsresultat enl. moment 4.2.2.2 "Temperaturcykling"	54
13	Provningsresultat enl. moment 4.2.2.3 "Ultraviolett strålning"	55
14	Provningsresultat enl. moment 4.2.2.4 "Ultraviolett strålning och vatten"	56
15	Provningsresultat enl. moment 4.2.2.5 "Ultraviolett strålning och ozon"	57
16	Provningsresultat enl. moment 4.2.2.6 "Ultraviolett strålning och svaveldioxid"	58
17	Provningsresultat enl. moment 4.2.2.7 "Konstant temperatur och RH"	59
18	Provningsresultat enl. moment 4.2.2.8 "Konstant temperatur och RH"	60
19	Provningsresultat enl. moment 4.2.2.9 "Konstant temperatur och RH"	61
20	Provningsresultat enl. moment 4.2.2.10 "Cyklisk temperaturvariation vid högt RH"	62
21	Provningsresultat enl. moment 4.2.2.11 "Cyklisk temperaturvariation vid högt RH"	63
22	Provningsresultat enl. moment 4.2.2.12 "Cyklisk variation av temperatur och RH"	64
23	Provningsresultat enl. moment 4.2.2.13 "Saltdimma"	65
24	Provningsresultat enl. moment 4.2.2.14 "Saltdimma"	66
25	Provningsresultat enl. moment 4.2.2.15 "Vattenbad"	67

## DIAGRAMFÖRTECKNING

1	Depth profile 5:0	68
2	Depth profile 5:8	69
3	Depth profile 8:0	70
4	Depth profile 8:12	71
5	Depth profile 10:0	72
6	Depth profile 10:8	73
7	Depth profile 13:0	74
8	Depth profile 13:12	75



## FÖRORD

Föreliggande skrift utgör en delrapport till Byggforskningsrådet för projekt 780152-9 avseende kontraktstiden 780701 - 821231. Rapporten behandlar inledande försök avseende accelererad provning av plana termiska solfångares absorbatörer. Dessutom görs en genomgång av de vanligaste ingående materialen samt orsakerna till materialsönderfall. Projektet har finansierats av BFR genom projektanslag till projekt 780152-9 samt av Statens provningsanstalt.

För sina insatser för projektets genomförande vill författaren rikta ett speciellt tack till projektmedarbetaren ingenjör Jan Victor. Vidare tackas Karin Karlsson för maskinskrivningsarbetet.

## SAMMANFATTNING

Rapporten behandlar undersökningar och provningar inom BFR-projektet "Utveckling av metoder för provning av solfångares åldrings- och korrosionsegenskaper" projekt nr 780152-9 under kontraktstiden 780701 - 821231 vid Statens provningsanstalts laboratorium för ytskydd och korrosion.

Projektet avser att bidra med underlag som har relevans för utveckling av accelererade åldrings- och korrosionsprovningmetoder för komponenter och material i plana termiska solfångare. Avsikten är att de färdiga metoderna skall kunna användas som provningsstandarder inom solfångarindustrin samt vid typgodkännanden av solfångare.

Uppgiftens svårighetsgrad och omfattning har under projektetidens gång visat sig vara större än vad som förutsågs. Därför har projektet avgränsats i mindre bitar. Föreliggande delrapport behandlar inledande undersökningar och provningar avseende absorbatörers hållbarhet i olika miljöer.

En utomhusexponerad solfångare utsätts för en mångfald nedbrytningsprocesser som orsakas av den omgivande miljön. De viktigaste sönderfallsfaktorerna som förstör organiska och metalliska material är:

- solstrålning
- temperatur
- fuktighet
- syre, ozon
- luftföroreningar, som SO<sub>2</sub>

Av dessa torde höga temperaturer orsakade av stagnation, fuktighet och svaveldioxid orsaka de största skadorna på absorbatörer.

Den vanligen förekommande absorbatörsubstraten är:

- stål
- rostfritt stål
- koppar
- aluminium

Av dessa torde rostfritt stål vara det substrat som är bäst ur beständighetssynpunkt.

I solfångarlitteraturen finns ett stort antal selektiva beläggningar beskrivna. De vanligast förekommande är:

- black nickel
- black chrome
- black copper
- black iron

Vad gäller kombinationen beständighet och optiska egenskaper är black chrome överlägsen de övriga.

På solfångarmarknaden finns idag många målade absorbatörer. Många färgtyper förekommer som t ex:

- akryl
- alkyd
- epoxi
- polyester
- polyuretan
- silikon

Beroende på varierande beständighetsegenskaper och mekaniska egenskaper inom de olika färgtyperna kan de ej rangordnas för användning i solfångare.

Metodiken som använts vid framtagning av de accelererade provningsmetoderna bygger huvudsakligen på ANSI/ASTM E 632-78 "Standard recommended practice for developing short-term accelerated tests for prediction of the service life of building components and materials"

Inledningsvis specificeras de driftkrav en absorbatör bör uppfylla. Därefter räknas aktuella substrat och beläggningar upp. Sedan uppräknas några synliga eller mätbara förändringar i material och kontaktytor. Dessa förändringar kan användas vid bedömning av material-sönderfall. Dessutom inverkar de vanligen negativt på absorbatörens funktion. Därefter kommer alla de nedbrytande sönderfallsfaktorerna. De olika materialens och kontaktyornas reaktioner på sönderfallsfaktorerna beskrivs sedan. Med hänsyn till sönderfallsmekanismerna föreslås därefter lämpliga provningar eller provningsmiljöer. Vad som ännu återstår är att slutligen specificera provningsbetingelser och provningsmiljöer och bestämma vilka krav som skall gälla.

Med hänsyn till resultatet från ANSI/ASTM E 632-78 har följande primära sönderfallsfaktorer utvalts:

- hög temperatur
- temperaturcykling
- UV-strålning
- fukt
- luftföroreningar

Vid provningarna förekommer ofta kombinationer av dessa.

Av provningsresultaten framgår bl a följande:

- de flesta färger tålde ej temperaturer  $\geq 200$  °C
- rostfria selektiva absorbatörer klarade alla provningar
- emalj på stål klarade alla provningar
- målade stål- och aluminiumabsorbatörer är vanligen känsliga för temperaturcykling och högt RH
- black chrome klarade 250 °C

Dessutom redovisas undersökningar av fyra absorbatörstyper som studerats med Auger-elektron-spektroskopi och djupprofilsputterteknik, utförda vid Institut für Allgemeine Physik, Technical University i Wien.

## 1 INLEDNING

### 1.1 Bakgrund

Absorbatorbeläggningsens syfte i en solfångare är att omvandla solenergi till termisk energi. Av största intresse är absorbatorbeläggningsens optiska egenskaper som absorptions ( $\alpha$ ) och emissivitet ( $\epsilon$ ) och dessa egenskapers hållbarhet under solfångarsystemets livslängd.

Under de år solfångarsystem varit i drift i Sverige har det visat sig att absorbatormaterial och andra komponentmaterial i solfångare är behäftade med många svagheter. Många av problemen anses orsakade av långvarig exponering för stagnationstemperaturer. Sådana tillstånd kan normalt förväntas uppstå ett antal gånger under en solfångares livstid, antingen vid installationen innan systemet tagits i drift eller vid driftuppehåll p.g.a. underhåll eller liknande.

Försök att utveckla provningsmetoder för material i solfångare har hittills försvårats p.g.a. brist på data från materialsönderfall under drift och accelererat materialsönderfall. Dessa svårigheter påvisar behovet av att utveckla accelererade provningsmetoder för utvärdering av hållbarhet och tillförlitlighet hos solfångarmaterial. Dessa metoder bör sedan utvecklas till provningsstandarder för användning inom solfångarindustrin.

### 1.2 Övergripande mål

Denna undersökning, som genomförts med ekonomiskt stöd från Byggnadsnämnden, är ett led i utvecklandet av accelererade åldrings- och korrosionsprovningsmetoder för absorbatorer i plana termiska solfångare. Avsikten är att de färdiga metoderna skall kunna användas som provningsstandarder inom solfångarindustrin samt vid typgodkännanden av solfångare.

### 1.3 Delmål

För att uppnå det övergripande målet har projektet indelats i följande delprojekt:

- 1) identifiering av önskvärda driftegenskaper för absorbatorer
- 2) utveckling av provningsmetoder som utvärderar absorbatorers hållbarhet och driftsegenskaper
- 3) genomförande av laboratorieprovningar och fältundersökningar som säkerställer att sönderfallsmekanismerna vid de accelererade provningarna är de samma som sker under drift
- 4) fastställande av provningsstandarder

Laboratorie- och fältundersökningarna omfattade både pläterade selektiva absorbatorbeläggningar och målade

icke-selektiva beläggningar. De plana termiska solfångarna var avsedda för installation i anläggningar för uppvärmning av luft och tappvatten. Absorbatorernas optiska egenskaper mättes på provbitar i samband med förstörande laboratorieprovningar. Provningarna omfattade både accelererade laboratorieexponeringar och exponering utomhus i en solfångarliknande låda. För bedömning av sönderfall mättes optiska egenskaper och utfördes visuella besiktningar före och efter provning. I de accelererade laboratorieprovningarna intensifierades temperatur, termisk cykling, UV-strålning, fukt och luftföroreningar.

## 2 PROBLEMBESKRIVNING

### 2.1 Önskvärda driftsegenskaper

En absorbators primära funktion är att samtidigt absorbera och överföra solstrålning till värme och leda denna värme till ett värmelagringsmedium. Ett effektivt utnyttjande av solenergi kräver absorbatorytor med följande optiska och fysikaliska egenskaper:

- hög absorption över solspektrum 0,3-3,5  $\mu\text{m}$
- låg emissivitet för våglängder  $>2,0 \mu\text{m}$
- den spektrala övergången mellan området med hög absorption till området med låg emissivitet skall vara så skarp som möjligt
- absorbatobeläggningsens vidhäftning till substratet skall vara god
- absorbatormaterialet skall vara kemiskt och fysikaliskt kombinerbart med solfångarens övriga material
- de optiska och fysikaliska egenskaperna skall förbli oförändrade vid användning vid höga temperaturer, temperaturcykling, UV-strålning fukt och luftföroreningar
- eventuella sönderfallsprodukter får ej påverka övriga komponenters funktion

### 2.2 Väsentliga egenskaper

En absorbatobeläggnings nycklegenskaper är absorptans ( $\alpha$ ) och emissivitet ( $\epsilon$ ). Andra viktiga egenskaper är vidhäftning och visuellt utseende.

### 2.3 Sönderfallsfaktorer

De viktigaste sönderfallsfaktorerna som kan nedsätta absorbatorns funktion är höga temperaturer, temperaturcykling, UV-strålning och fukt. Andra faktorer att ta hänsyn till är frysning, oxygen, ozon och luftföroreningar.

Vid utveckling av accelererade provningsmetoder måste först klargöras i vilken miljö produkten skall användas. Därefter identifieras de faktorer i den miljön som påverkar materialet. Vid provningen accelereras dessa faktorer, t ex temperaturen, ljusintensiteten och luftfuktigheten ökas över den nivå som råder i användningsmiljön. I nedanstående tabell ges en översikt över de vanligaste miljöfaktorerna som orsakar nedbrytning av material.

Tabell 1

Solstrålning  
 UV-strålning  
 Värme  
 Kyla  
 Temperaturväxlingar  
 Fuktighet, vatten (+ lösta ämnen)  
 Syre, ozon  
 Luftföroreningar (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, salter, kemiskt aggressiva partikulära föreningar)  
 Icke kemiskt aggressiva partikulära luftföroreningar (sand, damm och dylikt)  
 Statiska belastningar (snö-, vindlast)  
 Slag från yttre påverkan (vid transport, hantering)  
 Biologiska faktorer (svamp, bakterier, alger)

Beroende på vilken miljö produkten skall fungera i, exempelvis nedgrävd i jorden, inbyggd i inomhusvägg eller uppe på tak, försöker man sedan skala bort så många faktorer som möjligt för att reducera antalet parametrar. Om produkten är en solfångare kan inte en enda strykning göras i tabellen. Solfångare måste tåla en utomordentligt tuff miljö, och utformandet av provningsmetoder blir därför komplicerat. I inomhusväggen finns rimligtvis varken ljus, kyla, vatten eller biologisk aktivitet vilket förenklar situationen betydligt. Långt ned i jorden reduceras antalet faktorer i tabellen ytterligare, men antalet kemiska faktorer (i vatten lösta ämnen) växer lavinartat.

Sedan man reducerat antalet parametrar så långt man vågar i miljöbeskrivningen, kan ytterligare nedskärningar göras med ledning av de kunskaper som föreligger om det aktuella materialet. Vid provningen förstärks de kvarvarande faktorerna till en högre nivå för att förkorta provningstiderna. Dock får inte förstärkning vara så kraftig att helt nya sönderfallsreaktioner inträffar. Vid utveckling av provningsmetoder jämförs provningsresultaten fortlöpande med naturligt sönderfall under driftsbetingelser.

### 2.3.1 Solstrålning

Solen är källan till strålningsenergi vid exponering utomhus. Plastens sönderfall utomhus beror huvudsakligen på solljuset, i första hand UV-strålningen, vanligen i kombination med oxygen, luftfuktighet, nöttningar och andra faktorer.

Solljuset är sammansatt av UV-strålning (10-400 nm), synligt ljus (400-700 nm) och IR-strålning (770-2500 nm) Strålning med våglängder mindre än 300 nm absorberas så gott som fullständigt av de högre luftlagren, varför endast 1-5 % av solstrålningsenergin har en våglängd inom UV-området 270-400 nm.

Ljusets energi är en funktion av våglängden. Vid 350 nm är energin 344 kJ. Denna energi är tillräcklig för att spjälka ett flertal bindningar i polymera material vars

bindningsenergierna ligger inom området 210-420 kJ·mol<sup>-1</sup>. Detta är en av orsakerna till UV-strålningens nedbrytande verkan på polymerer.

Reaktioner som uppstår p.g.a. ljus orsakar bildning av radikaler genom dissociation, molekylomfördelning eller spjälkning till molekyler, fotoisomerisation och fotojonisation. Bland de olika fotokemiska reaktioner som kan äga rum är spjälkning och tvärbinding av största intresse för nedbrytning av polymerer. Spjälkning innebär förkortning av huvudkedjan och leder till molekylviktsreducering. Vid tvärbinding reagerar två monomerer som från början tillhör olika kedjor. Tvärbinding leder alltså till en ökning av polymerens medelmolekylvikt. En utpräglad tvärbinding hos polymeren kan förorsaka gelatering. Förändringen i molekylvikt och molekylviktsfördelning inverkar på materialets mekaniska egenskaper.

### 2.3.2 Temperatur

Värme och kyla är faktorer som har både fysikalisk och kemisk effekt på många material. Dimensionsändring är den kanske viktigaste fysikaliska effekten. Kompositer kan innehålla flera olika material med olika värmeutvidgningskoefficienter, varför temperaturvariationer kan orsaka omfattande mekanisk nedbrytning. Vid lokala temperaturvariationer i ett material kan inre spänningar uppstå som kan orsaka fasseparatorer, krackelering, lossning eller annan mekanisk nedbrytning.

Värme kan orsaka irreversibla eller permanenta kemiska förändringar i material. Värmestabilitet hos polymera material i frånvaro av andra aktiva substanser står i relation till dissociationsenergierna för dess olika bindningar. Kulören och selektiviteten hos ett material har stor betydelse för skillnaden mellan omgivningens temperatur och yttemperaturen.

Som enkel regel gäller vanligtvis att tio graders temperaturstegring fördubblar reaktionshastigheten hos kemiska reaktioner som hydrolysreaktioner, korrosionsreaktioner och andra redoxreaktioner. Stål rostar inte vid temperaturer lägre än -2 °C. Vid denna temperatur fryser nämligen en mättad lösning av de salter som bildas vid den primära rostprocessen och de hinner inte bortförskaffas p.g.a. långsam vidarereaktion till slutprodukten rost. När temperaturen ökas från låga värden och uppåt kommer korrosionsprocessen igång så snart temperaturen passerat -2 °C. I temperaturintervallet -2 till +5 °C har temperaturen ingen större inverkan på korrosionshastigheten som är konstant. Vid ytterligare ökning av temperaturen ökar korrosionshastigheten kraftigt med temperaturen. Detta gäller om stålet hela tiden är vått.



### 2.3.3 Fuktighet

#### 2.3.3.1 Plasters sönderfall i fukt

Alla plaster absorberar eller avger fukt beroende på temperatur och relativ luftfuktighet. Plaster har i regel låg vattenabsorptionsförmåga. De är snarare hydrofoba än hydrofila. Därför skadas de ej så lätt under perioder då temperaturen understiger 0 °C, såsom är fallet med många oorganiska material. Dessutom är de flesta polymerer resistent mot svaga syror och baser. Undantag utgör de polymerer vilka innehåller hydrolyserbara grupper som amider, estrar, acetaler, nitriler och vissa ketoner. Exempel på sådana polymerer är glasfiberarmerad polyester (GRP), polykarbonat (PC) och nylon. Om dessa molekyler befinner sig på molekyllens huvudkedja, kan hydrolysen medföra minskning av molekyllängden och därmed minskad hållfasthet.

I tillräcklig mängd tvättar vatten bort vattenlösliga produkter från ytan. Om dessa produkter har en sådan sammansättning att de katalyserar nedbrytningsprocessen har vatten en positiv inverkan på materialet. Tvätteffekten är dock till nackdel för exempelvis tunna filmer som innehåller UV-stabilisatorer och antioxidanter som "utsvettas" på ytan.

#### 2.3.3.2 Atmosfärisk korrosion

Vid utomhusexponering är en metallyta under en större eller mindre del av tiden belagd med en fuktfilm, innehållande lösta ämnen, t ex svavelföreningar eller natriumklorid, som absorberas från atmosfären.

Man kan grovt särskilja följande tre typer av atmosfärisk korrosion. Indelningen är mera av praktisk än av principell betydelse.

##### 2.3.3.2.1 Torr atmosfärisk korrosion

Metallytan är fri från fuktighet. Vattenånga tycks vara av underordnad betydelse för reaktionsförloppet. Denna typ innefattar uppkomsten av oxidfilmer i torra gaser och anlöpning av metaller i luft, som innehåller spår av föroreningar.

##### 2.3.3.2.2 Fuktig atmosfärisk korrosion

Metallytan är täckt av ett mycket tunt, osynligt skikt av fukt, vilket kondenserats på ytan genom kapillari- tet, adsorption eller hygroskopisk inverkan. Fuktig- heten spelar en avgörande roll för korrosionsförloppet. Korrosionshastigheten ökar kraftigt då den relativa fuktigheten överstiger ett visst värde, den kritiska relativa fuktigheten, vilken ligger vid ca 70 %. Kon-

densation av vattenånga underlättas genom kapillärverkan och sker därför vid lägre RH i spalter mellan olika metalldelar och i sprickor, repor och porer i metallytan. Fukt absorberas också på avsättningar av hygroskopiska salter, korrosionsprodukter och fasta partiklar som damm, sot m m som kan förekomma på metallytan.

#### 2.3.3.2.3 Våt atmosfärisk korrosion

Kondensation av fukt sker droppvis på metallytan, och det bildade fuktskiktet är synligt för blotta ögat. Denna typ föreligger även, då metallen utsätts direkt för regn eller vatten av annat ursprung. Korrosionsmekanismen är liknande den som sker, då metallen är neddoppad i en elektrolyt.

I praktiken kan en av de ovan nämnda korrosionstyperna gå över i en annan. Korrosionshastigheten beror i stor utsträckning på tjockleken hos fuktskiktet på metallytan. Vid en mycket tunn fuktfilm (~10 - 100 Å och ännu ej kontinuerlig) skiljer sig korrosionshastigheten inte mycket från den, som föreligger vid torr atmosfärisk korrosion. Med stigande filmtjocklek (~1 µm) börjar korrosionshastigheten att öka snabbt, emedan filmen tjänstgör som elektrolyt. Detta sker inom området för fuktig atmosfärisk korrosion, då fuktfilmen ännu är så tunn, att den icke påtagligt försvårar syretillförseln. Sedan korrosionshastigheten nått ett maximum, börjar den att falla vid en ytterligare ökning av tjockleken hos filmen (tjocklek ~1 mm) d v s inom området för våt atmosfärisk korrosion. Den synliga fuktfilmen är nu så tjock, att syretillförseln avsevärt nedsätts. Då metallen slutligen är nedsänkt i en elektrolyt, antar korrosionshastigheten ett konstant värde.

Den atmosfäriska korrosionen är beroende av ett stort antal variabler och har en rad specifika egenskaper i jämförelse med korrosion på metaller nedsänkta i vatten.

#### 2.3.4 Syre och ozon

Luft består till ca 20 vol-% av syre (O<sub>2</sub>). Halten ozon (O<sub>3</sub>) är 1-20 pphm i de nordiska länderna. Förekomsten av dubbel- och trippelbindningar ökar polymera materials känslighet för oxidation. Reaktionen mellan sådana polymerer och enbart syre eller ozon sker dock mycket långsamt.

#### 2.3.5 Luftföroreningar

Atmosfären kring vår jord får alltfler luftföroreningar; de flesta i ökande halter. Deras nedbrytande effekt på olika material är inte lika väl utforskad som andra skadliga faktorer, mycket beroende på att otill-

räckliga forskningsresurser ställts till förfogande. I detta sammanhang skall inverkan av svaveldioxid ( $\text{SO}_2$ ) och kväveoxider ( $\text{NO}_x$ ) något beröras. De har en skiftande inverkan på polymera material. De är vanligtvis mest skadliga i kombination med tidigare nämnda väderfaktorer. Kväveoxider angriper polymetylmakrylat (PMMA). Polyvinylklorid (PVC) avger klorväte (HCl) vid reaktion med  $\text{SO}_2$  och  $\text{NO}_x$ . Däremot tycks polyakrylonitril vara resistent mot  $\text{SO}_2$  och  $\text{NO}_x$ . Nylon (polyamidstruktur) angrips starkt av  $\text{NO}_x$  men mindre av  $\text{SO}_2$ . Elastomerer (gummi) angrips mycket starkt av  $\text{SO}_2$  och  $\text{NO}_x$ .

## 2.4 Material

### 2.4.1 Absorbatorssubstrat

Helt dominerande material som absorbatorssubstrat är metaller som stål, rostfritt stål, aluminium och koppar. I vissa typer och fabrikat förekommer även glas och plast. Användning av metall ger låga emissivitetvärden och samtidigt god värmeöverföring till värmebäraren.

### 2.4.2 Selektiva beläggningar

#### 2.4.2.1 Black nickel

Black nickel-beläggning är en Ni-Zn-S-legering som appliceras med elektrokemiska metoder på en högreflekterande metall yta som t ex stål, rostfritt stål eller förnicklat stål. Skiktjockleken är vanligen  $0,1 \mu\text{m}$  och skiktet skyddar inte underliggande metall yta mot korrosion. Tyvärr är black nickel-beläggningar känsliga för fukt och temperaturer  $>250 \text{ }^\circ\text{C}$ . Vid temperaturer över  $290 \text{ }^\circ\text{C}$  sönderfaller black nickel på förnicklat stål, varvid färgen övergår från svart till blått.

Black nickel var en av de första selektiva ytor som beskrivs i litteraturen (H. Tabor 1955). Black nickel anses allmänt ha mycket goda selektiva egenskaper;  $\alpha = 0,96$  och  $\epsilon (100 \text{ }^\circ\text{C}) = 0,07$ .

#### 2.4.2.2 Black copper

Selektiva skikt av koppar kan framställas på två sätt. Dels kan koppar(II)nitrat sprayas på en plåt som därefter upphettas. Dels kan blank kopparplåt behandlas med t ex  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  -  $\text{KMnO}_4$  - lösning eller  $\text{NaOH}$  -  $\text{NaClO}_2$  - lösning.

Koppar(I)oxid och koppar(I)sulfid är båda halvledare, och en tunn film av dessa kemiska föreningar på blank metall ger en selektiv yta. Men om den blanka metallen reagerar med oxygen eller svavel så försvinner selek-

tiviteten. Selektiviteten är jämförelsevis låg; för koppar(I)oxid på koppar har som bäst erhållits  $\alpha = 0,90$  och  $\epsilon(20\text{ }^\circ\text{C}) = 0,14$ . Skiktthjockleken  $\approx 6\text{ }\mu\text{m}$  är ganska stor jämfört med andra typer av selektiva skikt där den vanligen är  $\approx 1\text{ }\mu\text{m}$ .

Koppar(I)oxid är känslig både för höga temperaturer och luftfuktighet. Maximitemperaturen uppges ligga vid c:a  $190\text{ }^\circ\text{C}$ .

#### 2.4.2.3 Black chrome

Svartkromatering är en vanlig dekorativ ytbehandlingsmetod som ger en relativt resistent djupsvart yta. Black chrome kan påläggas en metallyta genom elmetallisering. Den strömtäthet som erfordras är c:a 100 ggr större än den som erfordras för black nickel, vilket gör metoden ganska dyrbar, trots att  $\alpha$ - och  $\epsilon$ -värdena är ganska lika. De optiska egenskaperna är goda med  $\alpha = 0,95$  och  $\epsilon(100\text{ }^\circ\text{C}) = 0,09$  och hållbarheten är bättre än för black nickel. Optimala värden på  $\alpha$  och  $\epsilon$  fås vid en skiktthjocklek på  $1,5 - 1,8\text{ }\mu\text{m}$ . Skiktets egenskaper kan förbättras genom att variera strömtätheten vid appliceringen vilket ger en inhomogen film.

Undersökningar har visat att black chrome-skikt är stabila upp till  $350\text{ }^\circ\text{C}$ . Vid temperaturer över  $450\text{ }^\circ\text{C}$  övergår allt krom till krom(III)oxid.

#### 2.4.2.4 Black iron

Omfattande undersökningar har gjorts av järnoxidbeläggningar eftersom de är lätta och billiga att framställa. Black iron-beläggningar har låga  $\alpha$ -värden och sönderfaller vid provning i hög luftfuktighet. Låga  $\alpha$ -värden erhålles p g a höga refraktiva indices för järnoxider;  $n(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 2,42$ ,  $n(\text{FeO}) = 3,32$ , vilket orsakar stora reflexionsförluster från ytbeläggningen. Typiska värden för järnoxidbeläggningar är  $\alpha \approx 0,85$  och  $\epsilon \approx 0,10$ . Absorptansen kan ökas något genom en yttre beläggning av organiskt material, men p g a dessa materials absorptionsband i IR-området ökar också emissiviteten.

#### 2.4.3 Icke-selektiva beläggningar

Det finns tre typer av icke-selektiva svarta beläggningar

- färger
- emaljer
- konverterade metallbeläggningar

Färger kan vara antingen organiska eller oorganiska. Emaljer och konverterade metallbeläggningar är båda oorganiska. En väsentlig egenskap hos svarta färger för solfångarabsorbatorer är att de skall ha hög absorptansen för icke-vinkelrätt infallande strålning, dvs

de skall vara "optiskt plana". Färgerna skall också ha god vidhäftning och hållbarhet under drifts-  
tingelser.

#### 2.4.3.1 Färger och lacker

Ordet färg har i svenskan två betydelser. Dels avses det synintryck som uppstår då ljusstrålar från ett föremål träffar ögats näthinna, dels avses produkter som används vid målning eller färgning. För att undvika förväxling bör färg i den första bemärkelsen ersättas med kulör, färgton eller nyans; i den senare med pigment, målningsfärg och färgämne.

Målningsfärg är ett vanligtvis flytande ytbehandlingsmaterial som småningom torkar, så att ett vidhäftande skikt, en film, bildas på den behandlade ytan. Vanligen består den färdiga filmen av eller innehåller som väsentlig beståndsdel polymera organiska ämnen, som bildar en gel.

I för målning eller lackering avsedda produkter särskiljes följande fyra huvudkomponenter:

- bindemedel
- pigment
- flyktiga lösnings- och spädningsmedel
- mjukningsmedel

Bindemedlet svarar för sammanhållningen inom färgskiktet samt för vidhäftningen till underlaget. Efter konsistens kan bindemedlen indelas i flytande (t ex oljor), halvflytande och fasta (t ex natur- och konst-harts, celluloserivat, lim och asfalt).

Bindemedlen kan också indelas efter torkningssätt. Torkningen kan ske genom:

- huvudsakligen oxidation, t ex torkande oljor
- avdunstning av lösnings- och förtunningsmedel t ex i konsthartslacker och cellulosalacker
- kombinerad avdunstning och kemisk reaktion, t ex oljelacker
- polymerisation som uppstår exempelvis genom tillförsel av värme (ugnstorkning, ugnshärdning) eller genom speciella tillsatser, t ex syror (kallhärdning)

Pigmentet svarar i första hand för kulör och täckförmåga, men spelar även en stor roll för färgens konsistens, mekaniska egenskaper, kemikalietålighet m m.

Bland viktigare egenskaper som bestämmer pigmentens användning märks bl a

- Färgstyrka, som bestäms av den mängd kulört pigment som behöver tillsättas vid standardpigment för att ge en viss nyans

- Rivbarhet, som anger det rivningsarbete som behövs för att få fram fullgod färg. Pigmentpulver fås nämligen genom att man "river" (mal) kulört mineral, bergart, vissa organiska ämnen el dyl
- Bindemedelsbehov, som bestämmer mängden bindemedel som behövs för att fullständigt väta pigmentet. Detta påverkas av bl a partikelyta, partikelform och vissa ytkemiska egenskaper
- Äkthet, som är förmågan att tåla inverkan av ljus, värme, kemikalier o dyl

Det ideala pigmentet för användning i färg för solfångarabsorbatorer skall ha följande egenskaper:

- hög absorptans
- transparent i IR-området
- lågt refraktivt index
- termisk stabilitet
- resistent mot väderfaktorer
- lätt att tillverka färger av
- billigt

Tabellerna 2 och 3 upptar data för några olika absorbatorfärger.

Lösnings- och förtunningsmedel är färglösa vätskor som vid torkningen bör avdunsta utan att efterlämna någon återstod. Av stor vikt är lösningsförmågan som är mycket olika för olika lösningsmedel. Av stor betydelse är också mängden lösningsmedel som måste tillsättas för att ge önskad viskositet. Denna egenskap sammanhänger ofta med lösningsförmågan och anger färgens fyllighet (body), d v s den mängd fast produkt som kvarstannar efter appliceringen

Mjukningsmedel utgör en viktig grupp ämnen som tillsätts för att öka elasticiteten hos vissa lacktyper som cellulosalacker, klorkautschucklacker, konsthartslacker m fl. De kan indelas i

- naturliga, t ex linolja och ricinolja
- syntetiska, t ex fosforsyraestrar och klorerade produkter. Vissa typer av alkydhartser kan tjänsöra som mjukningsmedel.

Tabell 2

## Svarta färger

Produktnamn	Tillverkare	Högsta användnings-temperatur (°C)	Färgtyp
Pyromark 2800	Tempil	1371	järnoxid + silikon
Novamet 150	Erigenics	815	oorg. pigment, vattenbaserad
Black Paint	Exxon	>700	silikon + silikatbaserad
VHT Flameproof SP 102	Sperex	650 (815)	oorg. pigment + mod silikon
Heat Proof Coating 8029	Cal Custom Hawk	649	järnoxid + mod silikon
G-3113 HT Black	Ball	649	
Inorganic Paint	Martin Marietta	>550	
S-31 Black Paint	Rockwell	>550	
Thurmalox 270	Dampney	537 (615)	silikonbaserad
Pyromark 800	Tempil	427	silikon-polyesterbaserad
4279 Heat Resist Black	Rust-Oleum	427	kol + silikon-alkyd
G-3858 HT Black	Ball	315	
Stack Paint B68	Sherwin-Williams	260	
Syncryl Enamel	Mass & Wahlstein	232	
37 J-4 Paint	Mobil	204	akrylbaserad
719 Heat Resist	Gavlon	204	gilsonite + olja
5779 Midnight Black	Rust-Oleum	177	silikon - akrylbaserad
Durachem	Mass & Wahlstein	177	kol + akrylemulsion
Nextel Black Velvet	3 M	149	epoxibaserad
Black Paint	Parsons	130	kol + SiO <sub>2</sub>
412 Flat Black	Rust-Oleum	121 (177)	kol + olja - alkydbaserad

Temperaturer inom parentes anger högsta användningstemperatur för korta perioder.  
Alla data är tagna från tillverkarnas produktkataloger.

Tabell 3

Optiska egenskaper för några färger med silikonbindemedel

Tillverkare	Pigment	Produktnamn	Sammansättning	Silikon- binde- medel	$\alpha_s$	$\epsilon$
Ferro	F-6331	(Std Matl)	FeMnCuOx	SR-125	0,91	0,10
	F-6331	(01-114-8)	FeMnCuOx	DC-808	0,90	0,11
	F-6331	(01-114-8)	FeMnCuOx	SR-125	0,90	0,08
	F-6331	(IP-671 A)	FeMnCuOx	SR-125	0,92	0,09
	F-6331	(IP-671 B)	FeMnCuOx	SR-125	0,90	0,07
	V-302		CrCuO <sub>x</sub>	DC-808	0,81	0,12
	V-717		MnCuFeOx	DC-808	0,57	0,10
Harshaw	L-4815-12-2		CuFeMnOx	DC-808	0,70	0,18
	L-4815-12-3		CuFeMnOx	DC-808	0,73	0,15
	L-5814-12-4		CuFeMnOx	DC-808	0,86	0,29
	Meteor 7890		CuCrOx	DC-808	0,88	0,16
	Meteor 7890		CuCrOx	SR-125	0,87	0,16



#### 2.4.3.1.1 Akryllacker

Akryllacker är förenliga (kompatibla) med ett flertal olika material och har mycket god vidhäftning till glas, keramik, metaller och plaster. Akryllackerna har mycket god väderbeständighet och flexibilitet och dessutom är vattenabsorptionen liten.

Temperaturområde vid kontinuerlig drift  $-55^{\circ}\text{C}$  till  $+90^{\circ}\text{C}$ .

Till akryllackernas nackdelar hör deras mindre goda mekaniska hållfasthet och nötningsbeständighet.

Akryllackerna är av enkomponenttyp. Lackerna säljs ofta i aerosolförpackningar och hållbarhets- och brukstid är då 6 månader eller mer.

Lacken torkar vid rumstemperatur eller förhöjd temperatur ( $\approx 75^{\circ}\text{C}$ ). Optimala egenskaper erhålls vid rumstemperatur efter ca 24 h.

#### 2.4.3.1.2 Alkydlacker

Alkydlackerna står oljelackerna nära, då de också delvis innehåller oljor. En alkyd är en kondensationsprodukt av två- eller flerbasisiska organiska syror med flervärda alkoholer. Kondensationen utförs oftast tillsammans med enbasiska fettsyror eller glycerider av dessa. Om fettsyror härrör från torkade oljor erhålls lufttorkande alkyder. Andra fettsyror ger alkyder som enbart är ugnstorkande eller icke-torkande. Lösningar av lufttorkande alkyder med eller utan tillsats av hårdhartser är de egentliga alkydlackerna, ofta endast kallade "syntetiska lacker". Alkyder används som ensamt bindemedel i alkydbrännlacker, som torkar vid  $100 - 150^{\circ}\text{C}$ . Ofta kombineras alkyder med aminohartser, t ex karbamidformaldehyd- eller melamin-formaldehydharts. Dessa typer av brännlacker är de dominerande för lackering av industriartiklar som t ex bilar, kylskåp och tvättmaskiner. Vissa lacker på basis av alkyd- och karbamidhartser kan göras lufttorkande genom tillsats av starka organiska eller oorganiska syror. Sådana lacker kallas ofta för "härdlacker" eller "plastlacker".

#### 2.4.3.1.3 Epoxilacker

Dessa lacker kännetecknas av utmärkt vidhäftning till många olika material. Den termiska stabiliteten är bättre än polyuretanlackernas men sämre än silikonlackernas. Nötningsbeständigheten är god och lackerna har även god beständighet mot fukt, saltdimma, organiska lösningsmedel och kemikalier.

Epoxilacker med aminhärdare uppvisar en mycket god beständighet mot lösningsmedel och kemikalier. Anhydridhärdade epoxilacker uppvisar, i jämförelse med de aminhärdade lackerna, större temperaturbeständighet.

Temperaturområde vid kontinuerlig drift: -60 till 130 °C.

Vid polymerisation sker en viss krympning av lacken vilket resulterar i spänningar och inbyggda krafter. Denna krympning är störst hos de lågmolekylära lackerna. Till epoxilackernas nackdelar hör också deras korta brukstid och att de är mindre flexibla än andra lacktyper, t ex polyuretanlacker.

I lösningsmedelsfria epoxilacker är sannolikheten för att porer skall uppstå mindre jämfört med lösningsmedelshaltiga epoxilacker. De har däremot större sprödhet och den mekaniska hållfastheten är sämre. Dessutom är viskositeten högre, vilket försvårar appliceringen.

Epoxilacker är normalt av tvåkomponenttyp. Hållbarhetstiden är 6 månader eller mer och brukstiden är i vissa fall endast ett par timmar.

Lackerna härdar vanligen vid förhöjd temperatur (60 - 90 °C) och optimala egenskaper erhålls i vissa fall först efter flera dagars efterhärdning vid rumstemperatur.

#### 2.4.3.1.4 Polyuretanlack

Till härdplasterna hör även polyuretanerna, som bildas genom polyaddition mellan isocyanater (RNCO) och flervärda alkoholer. Genom lämpligt val av alkohol och mängdförhållande kan man variera filmegenskaperna inom vida gränser: från höglastiska lacker till bakelit-hårda. På grund av rikedom på polära grupper erhålles beläggningar med mycket god nötningshållfasthet och vidhäftning. Kemiska resistensen mot vatten syror och alkalier är också god, mot organiska lösningsmedel mycket god. Permeabiliteten för vatten och gaser är låg på grund av att en porfri, tät film bildas, eftersom ingen mindre molekyl avspjälkas vid polyadditionen. Följande nackdelar måste dock beaktas. Appliceringen fordrar en viss yrkeskunnighet, då de två komponenterna oftast skall blandas i rätta proportioner strax före användandet. Vatten ger med isocyanater koldioxid, varför det behandlade föremålet måste vara absolut torrt. Detta ger också lagringsproblem.

Vid applicering av polyuretanlacker måste också observeras, att isocyanater har en viss flyktighet och angriper andningsorganen. Detta riskmoment motverkas av att använda isocyanater med hög molekylvikt och därmed lågt ångtryck eller att omsätta isocyanaterna med exempelvis fenol till reaktiva addukter med lågt ångtryck, vilka återger isocyanaterna in situ, t ex vid upphettning.

Karakteristiskt för polyuretanlacker är framförallt deras mycket goda nötningsbeständighet. Dessutom är flexibiliteten och beständigheten mot fukt och kemikalier god.

Temperaturområde vid kontinuerlig drift -65 till +120 °C.

Polyuretanlacker finns som en- och tvåkomponenttyp. Tvåkomponentlackerna uppvisar vanligen bättre beständighet mot fukt och kemikalier än enkomponenttyperna. Lackerna av enkomponenttyp är vanligen oxidativt lufttorkande eller fukttorkande, dvs de reagerar med luftens syre eller luftens fuktighet. En nackdel med fukttorkande lacker är att härdningstiden är beroende av luftfuktigheten, vilken kan variera avsevärt från dag till dag. En annan nackdel är att vissa polyuretanlacker kan bli instabila vid hög temperatur och hög fuktighet (vid i storleksordningen 100 °C och 95 % RH), varvid den härdade lacken återgår till vätskeform.

Hållbarhetstiden är normalt 6 månader eller mer. Brukstiden för enkomponentlacker varierar från några timmar upp till flera månader medan den för tvåkomponentlacker är begränsad till några timmar.

Polyuretanlackerna härdar vid rumstemperatur eller vid förhöjd temperatur och erhåller vid rumstemperatur optimala egenskaper efter ca 1 vecka.

#### 2.4.3.1.5 Silikonlack

Bland silikonlack avsedda för skyddslackering kan följande tre olika typer särskiljas: lacker med en vaxliknande yta, RTV-lacker (Room-Temperature-Vulcanizing) med en gummiliknande struktur (silikongummi) samt silikonhartser med en relativt hård yta.

Silikonhartserna har betydligt bättre beständighet mot mekaniska påkänningar jämfört med de två övriga. Gemensamt för silikonlackerna är deras mycket goda beständighet mot höga temperaturer och ozon. De uppvisar också god väderbeständighet och beständighet mot korrosiva miljöer och mögelangrepp.

Temperaturområde vid kontinuerlig drift: -50 till 200 °C.

Till silikonlackernas nackdelar hör deras ofta dåliga vidhäftning, vilket ställer speciella krav på tvättningen. Eventuellt måste primer användas. De har också en hög permeabilitet för vattenånga. Detta kan ge problem om vidhäftningen är dålig och vatten därmed kan samlas i ytan mellan lacken och underlaget.

Vissa komponenter i silikonlackerna kan migrera till andra delar av en konstruktion och därmed försämra vidhäftningen för andra lacker, inkapslingsmaterial och fogmassor.

Silikonlack finns som en- eller tvåkomponenttyp. Hållbarhetstiden varierar från ett par veckor till något år. Brukstiden varierar från ett par timmar till ett par veckor.

Silikonlackar av RTV-typ vulkaniseras vid rumstemperatur och erhåller optimala egenskaper efter ca en vecka, övriga silikonlackar härdar vid rumstemperatur eller förhöjd temperatur ( $\approx 75^{\circ}\text{C}$ ).

#### 5.4.3.1.6 Egenskaper hos lackerade metallytor

De egenskaper man kräver av en lackerad absorptor är följande:

- Godtagbart utseende avseende: glans, täckförmåga och kulör
- Hållbarhet mot mekanisk påverkan avseende: hårdhet, slitstyrka, slagfasthet, repningshårdighet, formbarhet, vilka alla mer eller mindre beror av lackskiktets vidhäftning
- Hållbarhet mot fysikalisk påverkan avseende: ljus, temperatur, fuktighet
- Hållbarhet mot kemisk påverkan avseende: kemikalier, gaser, salter

Den mekaniska påverkan kan förutom den påverkan lackskiktet utsätts för vid eventuell bearbetning efter lackeringen (böckning, djuppressning, klippning) bestå av nötning, repning och slagpåkänningar.

De yttre fysikaliska faktorer som inverkar är främst temperatur, luftfuktighet, vatten samt strålning. Temperaturändringar resulterar i förändringar i lackskiktets mekaniska egenskaper. Hög luftfuktighet och vattenkontakt resulterar i att lackskiktet absorberar vatten och sväller. Svällningen är i sin tur beroende på lackskiktets inre fysikaliska egenskaper som vattenlöslighet och permeabilitet. Temperaturens och luftfuktighetens inverkan är reversibel. Solstrålning orsakar skador på ett lackskikt. Den infraröda strålningen ger ett energitillskott i form av värme som påskyndar kemiska reaktioner och därmed lackskiktets åldring. Det synliga ljuset resulterar framförallt i att lackskiktets kulör ändras, medan UV-ljuset resulterar i nedbrytning av lackskiktets långa molekylkedjor. Följden av strålningen blir att lackskiktet åldras vilket resulterar i glansförlust, missfärgning, kritning och erosion.

Till de kemiska faktorer som inverkar på en lackerad ytas hållbarhet brukar man räkna aggressiva gaser som svaveldioxid, kväveoxider, saltsyra samt salter, vatten och vattenånga. Dessa faktorer ger upphov till kemiska och elektrokemiska reaktioner som bl a orsakar korrosion på metallunderlaget. På ett lackerat material ger korrosionen upphov till rostbildning, blåsbildning, krypkorrosion och avflagnig av lackskiktet.

Vid bedömningen av en lackerad ytas hållfasthet mot fysikalisk/kemisk påverkan använder man sig av olika accelererade provningsmetoder. Problemet att efterlikna det naturliga korrosiva skeendet gäller vid bedömning av resistensen mot salter, svaveldioxid, fuktighet och krypkorrosion. De faktorer som inverkar på korrosionsprovningens resultaten framgår av tabell 4, som visar de vanligaste yttre faktorer som påverkar ett lackskiktets egenskaper. Förutom dessa faktorer inverkar även lacktypens sammansättning.

Lackskiktets tjocklek har tillsammans med bl a underlagets tillstånd och lacktyp stor betydelse för ytas korrosionshärdighet, härdighet mot mekanisk påverkan, utseende och finish.

En ytas glans beror av det sätt på vilket infallande ljus reflekteras av ytan. Enligt definitionen är glansen en egenskap som beror på lackskiktets ytstruktur, d v s det allra yttersta skiktets egenskaper. De faktorer som påverkar detta gränsskiktets egenskaper är bl a följande:

- metallytans ytfinhet
- lacktyp och pigmentkoncentration
- lackskiktets tjocklek
- torkningsbetingelserna
- åldringen

Lackskiktets yttersta lager bryts efter en tid ner genom mekanisk, kemisk eller fysikalisk påverkan. Kemisk påverkan kan orsakas av aggressiva ämnens angrepp och fysikalisk påverkan av nedbrytning vid hög temperatur eller nedbrytning av ljus. Alla lacktyper är mer eller mindre känsliga för starkt solljus, UV-ljus. Bestrålningen resulterar i att bindemedlets långa molekyllängder bryts ner. Lackskiktet kritar.

Med vidhäftning eller adhesion avses här lackskiktets sammanhållning till metallunderlaget genom attraktionskrafter i gränsytan lack-underlag. Lackskiktets inre sammanhållning orsakad av attraktionskrafter mellan molekylerna benämns kohesion. De inverkanse faktorerna kan uppdelas i två huvudgrupper. Dels påverkas vidhäftningen av ett antal faktorer som kan störa de teoretiskt tänkbara attraktionskrafterna, d v s den sanna vidhäftningen, dels varierar den sanna vidhäftningen p g a ett antal orsaker. Till den första gruppen av faktorer hör bl a :

Tabell 4

Faktorer som påverkar lackskiktets egenskaper

Egenskap	Skikt-tjocklek	Temperatur	Luft-fuktighet	Ljus	Härdnings-betingelser	Aldring	Underlagets ytstruktur	Underlagets tillstånd
Vidhäftning	1	1	2	0	1	1	1	2
Hårdhet	2	2	2	0	2	2	1	0
Nötnings-härdighet	2	2	2	0	2	2	0	0
Formbarhet	1	2	1	0	1	2	0	2
Slagfasthet	1	2	1	0	1	2	1	-
Korrosions-härdighet	2	2	2	0	1	2	2	2
Vätske-härdighet	2	1	(2)	0	1	1	2	2
Utomhus-härdighet	2	1	2	2	1	2	2	2
Glans	1	0	0	2	1	2	2	0

0 ringa betydelse  
 1 märkbar inverkan  
 2 stor inverkan

- Metallytans tillstånd, d v s dess renhet och ytfinhet. Genom närvaro av oxidlager, olja, fett, absorberade gaser och ångor m m förhindras lacken att tillräckligt väta underlaget. Vidhäftningen är direkt beroende av rengöring och kemisk förbehandling.
- Applikationsförfarandet och härdningsbetingelserna. Genom uppkomst av inre spänningar i lacken kan vidhäftningen försämrast.
- Temperaturen där vidhäftningen som regel avtar med ökande temperatur.
- Relativa luftfuktigheten där vidhäftningen för de flesta lacker avtar med ökande luftfuktighet. Det indiffunderade vattnet resulterar efter en tid i underkorrosion vilket i sin tur medför avflagning av lackskiktet.

Till den andra gruppen av faktorer hör bl a

- Typ av lack där vidhäftningen varierar mellan lacktyperna p g a bindemedlets molekyllära egenskaper, dels inom lacktyperna p g a tillsatta kemikalier som mjukningsmedel m m.
- Lackskiktets åldring. Genom förändringar i lackskiktet p g a kemiska reaktioner, molekyelförflyttningar inom lackskiktet m m förändras vidhäftningen.
- Typ av underlag, där vidhäftningen varierar beroende på metallunderlaget.

Korrosion på lackerade metallytor orsakas av följande faktorer:

- Ogynnsam funktionsmiljö, som kan bero på närvaro av salter, gaser, vatten eller vattenånga samt hög luftfuktighet och hög temperatur. Dessa förhållanden varierar med luft- och klimatförhållandena.
- Lackskiktets porighet. Lackskikt som innehåller porer släpper igenom vatten, salter och aggressiva gaser.
- Lackskiktets permeabilitet. Man skiljer på ett lackskikts porighet och dess permeabilitet. Med ett lackskikts permeabilitet menas dess förmåga att släppa igenom vattenmolekyler, aggressiva gaser och saltjoner.
- Dålig rengöring av metallytan
- Felaktigt vald skiktjocklek och lacksystem

Korrosionen yttrar sig som minskad vidhäftning, blåsbildning och rostfläckar på den lackerade metallytan.

Med utomhushärdighet eller väderbeständighet avses ett lackskikts förmåga att motstå nedbrytning av klimatiska förhållanden. De faktorer i klimatet som i första hand bidrar till nedbrytningen är solljus (UV-strålning), fuktpåverkan som regn, dag, snö m m, temperaturvariationer, syre, ozon samt sura gaser. Utomhushärdigheten är en egenskap som främst är beroende av lackbindemedlets förmåga att motstå nedbrytning. Nedbrytningen är av fysikalisk karaktär till skillnad mot korrosionsangreppen som främst orsakas av kemiska faktorer. Till skillnad från korrosionen som sker vid metallytan uppträder nedbrytningen i detta fall i lackskiktet. Den viktigaste faktor som påverkar en lackerad ytas utomhushärdighet är därför helt naturligt typen av lack.

Nedbrytningsprocessen kan indelas i tre steg. I början av nedbrytningen skyddas lackskiktet av ett närmast pigmentfritt yttre skikt som bildats genom att pigmenten till viss grad sedimenterat. När detta skikt bryts ned inleds nedbrytningsprocessens andra skede och glansen avtar kraftigt i och med att pigmentkornen börjar blottas (kritning). Den tredje och sista fasen, erosionsfasen inleds när kritningen uppnått ett visst värde. Glansen har då sjunkit till sitt lägsta värde och nedbrytningen sker därefter med konstant hastighet mer eller mindre cykliskt med ständigt avtagande skikt-tjocklek. Cykeln består i bildandet av ett kritande skikt följt av en inaktiv period till dess kritningsprodukterna avlägsnats genom påverkan av regn och blåst.

#### 2.4.3.1.7

#### Sammanfattning av egenskaperna

I tabellerna 5 och 6 ges en sammanfattning av egenskaperna hos sju olika lacktyper.



Tabell 5

Sammanfattning av olika lackers miljöbetingade egenskaper

Lacktyp	Miljöbetingade egenskaper		
	Maximal kont temp °C	Fukt- beständig- het	Kemisk beständighet lösningsm -"-
Akryl	90	God	Svaga syror: god Svaga alkalier: god Angrrips av klorerade kolväten
Alkyd	95	Dålig	Svaga syror: dålig - - tillfredsställande Alkalier: dålig Lösning medel: dålig
Epoxi	130	God	Svaga syror: till- fredsställande Alkalier: god Lösning medel: god - - utmärkt
Fenol	130	God	Svaga syror: god - - utmärkt Alkalier: dålig Lösning medel: dålig
Polyamid	60	God	Lösning medel: dålig
Polyuretan	120	Mycket god	Svaga syror: god Svaga alkalier: till- fredsställande Lösning medel: god
Silikon	200	Mycket god	Svaga syror: god Alkalier: dålig - god Lösning medel: dålig

Tabell 6

## Sammanfattning av olika lackers fysikaliska egenskaper

Lacktyp	Fysiska egenskaper		
	Böjlighet	Vidhäftning till metaller	Nötnings- beständighet
Akryl	God	God	Tillfreds- ställande
Alkyd	Tillfreds- ställande - god Låga tempera- turer: dålig	Utmärkt	Tillfreds- ställande
Epoxi	God - utmärkt Låga tempera- turer: dålig	Utmärkt	God - utmärkt
Fenol	God Låga tempera- turer: till- fredsställande	Utmärkt	Dålig - till- fredsstäl- lande
Polyamid	God	Utmärkt	Tillfreds- ställande
Polyuretan	God - utmärkt	Ofta dålig till metaller Utmärkt till de flesta andra mate- rial	Utmärkt
Silikon	Utmärkt	Varierar, primer ofta nödvändig för god vidhäft- ning	Tillfreds- ställande

Att utveckla accelererade åldrings- och korrosionsprovningssmetoder som kan användas för livslängdsuppskattning av material och komponenter i drift, är förenat med stora svårigheter. Orsakerna är följande:

- Sönderfallsmekanismerna för olika material är komplexa, svårbegripliga och sällan helt utredda.
- Dom yttre faktorer som påverkar ett material under användningsbetingelser är mångfaldiga och svåra att kvantifiera. I många accelererade provningssmetoder ingår inte alla viktiga sönderfallsfaktorer och av dom som ingår har få samma intensitet som under drift.
- Materialprover testas vanligen i former och utföranden som helt avviker från utformningen i drift.

Trots ovanstående brister används accelererade tester för att uppskatta livslängd, hållbarhet och tillförlitlighet. Provningssmetoder för livslängdsuppskattningar kan indelas i två typer:

- Accelererade kort-tidsmetoder
- Kort-tidsmetoder där små egenskapsförändringar mätes på komponenter och material under användningsbetingelser (drift).

I tabell 7 visas summariskt en metodik för framtagning av accelererade provningssmetoder. Metoden bygger huvudsakligen på ANSI/ASTM E 632-78 "Standard recommended practice for developing short-term accelerated tests for prediction of the service life of building components and materials".

Inledningsvis specificeras de driftkrav en absorbator bör uppfylla. En kompletterande lista på driftkrav finns i moment 2.1. Föreliggande undersökning avser solfångarabsorbatorer som är selektiva och målade metallsubstrat. Vid rubriken komponent kallas substratet för A, selektiv ytbeläggning B och färgbeläggning C. Kontaktytan substrat - selektiv ytbeläggning kallas A - B, och kontaktytan substrat - färg kallas A - C. Därefter räknas aktuella material upp. De flesta beskrivs närmare i moment 2.4. Sedan uppräknas några synliga eller mätbara förändringar i material och kontaktytor. Dessa förändringar kan användas vid bedömning av materialsönderfall. Dessutom inverkar de vanligen negativt på absorbatorns funktion.

En absorbator är utsatt för en mångfald nedbrytande faktorer. De flesta är uppräknade under rubriken Sönderfallsfaktorer. En närmare beskrivning av de viktigaste faktorerna finns i moment 2.3.

De olika materialens och kontaktytornas reaktioner på sönderfallsfaktorerna beskrivs sedan, där reaktion är aktuell. Listan gör inte anspråk på att vara komplett. Med hänsyn till sönderfallsmekanismerna föreslås där-  
efter lämpliga provningar eller provningsmiljöer.

Vad som sedan återstår är att specificera provningsbe-  
tingelser och provningsmiljöer och bestämma vilka god-  
kännandekrav som skall gälla. Detta är slutmålet för  
projektet och på nuvarande stadium är mer exakta mil-  
jöer och krav ej fullt klarlagda.

Tabell 7

Driftkrav Att absorbera solenergi och samtidigt överföra den till värme

Komponent	Substrat A	Kontakttyta A - B	Kontakttyta A - C	Selektiv beläggning B	Färg C
Material	stål galvaniserat stål rostfritt stål aluminium koppar m fl			black nickel black copper black chrome black iron m fl	vinyl alkyd epoxi akryl uretan silikon m fl

Synliga eller mätbara förändringar	visuellt utseende korrosionsprodukter termiska egenskaper flagning	fysikaliskt sönderfall	fysikaliskt sönderfall	visuellt utseende nötningshållfasthet vidhäftning flagning absorptions emissivitet	visuellt utseende nötningshållfasthet vidhäftning flagning kritning krackelering mikrokrackelering blåbildning delaminering punktfrätning outgassing absorptions emissivitet
------------------------------------	---	---------------------------	---------------------------	---	--

Tabell 7 (forts)

Identifiering av möjliga sönderfallsmekanismer

Sönderfallsfaktorer	Substrat A	Kontaktyta A - B	Kontaktyta A - C	Selektiv ytbelägg. B	Färg C
UV-strålning					sönderfall
Temperatur, stagnation	temniska rörelser	dålig vidhäftn	dålig vidhäftn	sönderdelning	outgassing
låga temperaturer	"-	"-	"-	dålig vidhäftn	dålig vidhäftn
temperaturcykling	"-	"-	"-	"-	"-
Vatten, fast (snö, is)					
Flytande (regn, kondens)	korrosion				hydrolys
ånga, (höga RH)	"-				"-
Luft (syre, ozon)	redox reaktioner			redox reaktioner	redox reaktion
Luftföreningar, svaveldioxid	korrosion			"-	"-
kväveoxider				"-	"-
saltämna	korrosion			kemiska reaktioner	hydrolys
sand, damm, smuts	erosion			erosion	erosion
Frysning - upptining					
Vind					
Biologiska faktorer, svamp					
bakterier					
mikroorganismer					
Spänningar, kvarstående	spänningskorrosion				
periodiska, slagregn					
periodiska, vind					
från byggnader och fordon					
Icke-kombinerbart, kemisk	galvanisk korrosion				
fysikalisk	mekaniska spänningar				
Användningsfaktorer, utformning					
installation och underhåll					
normalt slitage					
viss misskötsel					

Tabell 7 (forts)

Förslag till provningar	Substrat A	Kontakttyta A - B	Kontakttyta A - C	Selektiv ytbelägn. B	Färg C
exponering vid högt RH fuktcondensation	temperaturcykling tape test böjningsprovning	temperaturcykling tape test böjningsprovning	exponering i ugn temperaturcykling exponering vid högt RH fuktcondensation stagnationsprovning nöttningsprovning	exponering för UV exponering i ugn temperaturcykling exponering vid högt RH fuktcondensation outgassing test stagnationsprovning nöttningsprovning	

Specifikation av  
provningssmiljöer  
och godkännande-  
krav

#### 4.1 Material

Absorbatorbeläggningar som undersökts är:

- black chrome
- nickel på anodiserat aluminium
- alkyd - färg
- akrylat - färg
- polyester - färg
- ftalimid - färg
- silikon - färg
- emalj

Undersökta absorbatorssubstrat omfattar:

- stål
- rostfritt stål
- aluminium
- koppar

Av tabell 8 framgår solfångarbeteckning, kombination substrat/ytbeläggning, skiktjocklek samt  $\alpha$  och  $\epsilon$ . För absorbator 6, 9 och 15 är inga  $\alpha$ - och  $\epsilon$ -värden uppmätta p.g.a. absorbatorernas konstruktion, aluminiumflansar på kopparrör.

Enkelprov användes vid samtliga laboratorieundersökningar.

#### 4.2 Provningsmetoder

##### 4.2.1 Egenskapsbestämningar

Absorptansen  $\alpha$  bestämdes genom att mäta reflektansen ( $\alpha = 1 - P$ ) i våglängdsområdet 380 - 2500 nm med spektrometer Zeiss MM 12 med en klottillsats på detektorsidan av monokromatorn. Provföremålen bestrålades vid  $0^\circ$  infallsvinkel och reflekterande strålning uppsamlades i klotet. En bariumsulfattablett användes som referens. Korrektioner för provens påverkan av totala klotreflektansen samt för strölnivå från klottillsatsens linser gjordes vid varje våglängd. De erhållna absorptansvärdena viktades med spektralfördelning för solstrålning efter passage av två luftmassor (airmass - 2) och integrerades till ett medelvärde. Onoggrannhet:  $\pm 1$  % av angivet värde.

Emissiviteten  $\epsilon$  bestämdes genom att jämföra strålningen från en svartkropp med strålningen från provet vid samma temperatur ( $100^\circ\text{C}$ ). Med kännedom om den detekterade strålningens nivå samt emissiviteten hos referensen (svartkroppen) kan emissiviteten hos provet beräknas. Hänsyn är också tagen till omgivningstemperatur, detektorns temperatur m m.



Förutom optiska mätningar utfördes visuella besiktningar av proverna.

För bestämning av absorbatobeläggningarnas skikt tjocklek användes där så var möjligt ett Permascope som kalibrerades mot aktuellt underlag. Den angivna skikt tjockleken är medelvärdet från 30 st jämnt fördelade mätpunkter. Där ovan angiven metod ej varit användbar bestämdes skikt tjockleken med hjälp av ingjutning och mätning i mikroskop på 1 st prov.

#### 4.2.2 Laboratorieprovningar

De accelererade laboratorieprovningarna valdes med hänsyn till antagandet att de primära sönderfallsfaktorerna för absorbatormaterial utgöres av hög temperatur, termisk cykling, ultraviolet strålning, luftföroreningar och fukt.

Temperaturerna 150, 200 och 250 °C för värmeåldring valdes med hänsyn till uppmätta stagnationstemperaturer och beräknade värden på förväntade maximala temperaturer.

##### 4.2.2.1 Hög temperatur

Prover exponerades i ugn för temperaturerna 150, 200 och 250 °C i 4 veckor. Endast ett fåtal solfångare torde uppnå temperaturer över 175 °C vid stagnation, men högre provningstemperaturer valdes för att accelerera sönderfallsreaktionerna. Efter provning gjordes visuell besiktning. Se tabell 9, 10 och 11.

##### 4.2.2.2 Temperaturcykling

Prover exponerades för temperaturcykling, där varje delcykel innebar förljande:

- 1 Upphettning vid 200 °C i 5 h
- 2 Avsvalning till rumstemperatur i 30 min
- 3 Kylning vid -10 °C i 18 h
- 4 Uppvärmning till rumstemperatur i 30 min

Besiktning utfördes efter sista cykeln. Se tabell 12. Total provningstid 15 cykler.

##### 4.2.2.3 Ultraviolet strålning

Ljusbestrålning enligt ASTM G26-77 under 1000 h. Proverna exponerades i en Atlas weatherometer med en xenonlampa (6500 W) som belysningskälla. Temperaturen på en svart panel var ca 63 °C.

Absorbatorproverna skyddades ej av glastäckskivor. Detta för att simulera de förhållanden som råder då täckskivematerial med hög UV-transmission används, som t ex fluorplaster och akrylplaster.

Efter 1000 h skedde utvärdering genom visuellt besiktning. Se tabell 13.

#### 4.2.2.4 Ultraviolett strålning och vatten

Ljusbestrålning och cyklisk vattenbesprutning enligt ASTM G26-77 under 1000 h. Proven exponerades i en Atlas weatherometer med en xenonlampa (6500 W) som belysningskälla. Använd provningscykel var 102/18 som innebär 102 minuters belysning följt av 18 minuters belysning plus besprutning med avjoniserat vatten. Temperaturen på en svart panel var ca 63 °C vid perioder utan vattenbesprutning.

Proven från absorbatorytorna var försedda med täckskivor på avståndet 20 mm från absorbatorytan. Täcks- skivorna bestod av 3 mm tjockt fönsterglas för absor- batorer vars originaltäckskivor bestod av glas. För solfångare med täckskivor av plast skyddades absorba- torproverna med en bit från originaltäckskivan.

Utvärdering skedde genom visuell besiktning efter 1000 h. Se tabell 14

#### 4.2.2.5 Ultraviolett strålning och ozon

Ljusbestrålning enligt ASTM G26-77 under 500 h. Proven exponerades i en Atlas weatherometer med en xenonlampa (6500 W) som belysningskälla. Luften i weatherometern hade en halt av ozon på 0,5 ppm. Tem- peraturen på en svart panel var ca 63 °C. Absorbator- proverna var ej försedda med täckskiva. Relativa luft- fuktigheten var 30 ±5 %.

Utvärdering skedde genom visuell besiktning efter 200 och 500 h, samt genom mätning av  $\alpha$  och  $\epsilon$  efter 500 h. Se tabell 15.

#### 4.2.2.6 Ultraviolett strålning och svavel- dioxid

Provning enligt 4.2.2.5 dock utan ozon men med en sva- veldioxidhalt på 0,5 ppm.

Utvärdering skedde genom visuell besiktning efter 200 och 500 h, samt genom mätning av  $\alpha$  och  $\epsilon$  efter 500 h. Se tabell 16.

#### 4.2.2.7 Konstant temperatur och RH

Prover exponerades i ett klimatskåp vid 90 °C och 95 % RH i 10 veckor. Visuella besiktning samt bestämning av  $\alpha$  och  $\epsilon$  utfördes vid provningens slut. Se tabell 17.

## 4.2.2.8 Konstant temperatur och RH

I Cleveland kondensationsskåp exponerades prover enligt ASTM D2247-68(73) vid 38 °C och 100 % RH. På a att absorbatorprovernas baksidor vid denna provning är vända ut mot laboratoriet och dess rumstemperatur på ca 20 °C sker ständig och kraftig kondensation på provernas framsidor.

Provningen pågick i 4 veckor och efteråt utfördes visuell besiktning. Se tabell 18.

## 4.2.2.9 Konstant temperatur och RH

I autoklav exponerades prover vid 100 °C och 100 % RH.

Provningen pågick i 3 dygn och efteråt utfördes visuell besiktning. Se tabell 19.

## 4.2.2.10 Cyklisk temperaturvariation vid högt RH

I klimatskåp exponerades prover vid cyklisk variation av temperaturen i 10 veckor. Följande cykler utfördes

- |   |                            |
|---|----------------------------|
| 1 | 10 h vid 20 °C och 96 % RH |
| 2 | 11 h vid 70 °C och 96 % RH |

Vid temperaturändringarna var RH >80 %

Vid provningens slut utfördes visuell besiktning. Se tabell 20.

## 4.2.2.11 Cyklisk temperaturvariation vid högt RH

I klimatskåp exponerades prover vid cyklisk variation av temperaturen i 10 veckor.

Provpanelerna placerades i klimatskåpet vid 25 °C. Temperaturen höjdes under 6 h till 95 ±2 °C vid RH >95 %. Under denna tid utfälldes inget kondensat på proverna. Ett krav på kondensation innebär att provföremålets yttre temperatur skall vara lägre än omgivningsluftens daggpunktstemperatur. Temperaturen i klimatskåpet bibehölls vid 95 ±2 °C i 6 h varvid RH var >95 %. Under 12 h fick därefter temperaturen svalna till 25 °C vid RH >95 %. Ovanstående operationer utgör en behandlingscykel och omfattar 24 h.

Vid provningens slut utfördes visuell besiktning och bestämning av  $\alpha$  och  $\epsilon$ . Se tabell 21.

## 4.2.2.12 Cyklisk variation av temperatur och RH

I Cleveland kondensationsskåp exponerades prover enligt ASTM D2247-68(73) vid följande cykler:

- |   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| 1 | 2 h vid 50 °C, 100 % RH               |
| 2 | 2 h vid 45 °C, lufttorkning med fläkt |

Provningen pågick i 3 veckor och efteråt utfördes visuell besiktning. Se tabell 22.

#### 4.2.2.13 Saltdimma

Prover exponerades i saltdimskåp enligt SIS 18 41 90 (ASTM B117-64) i 300 h.

Visuell besiktning utfördes vid provningens slut. Se tabell 23.

#### 4.2.2.14 Saltdimma

Prover exponerades i saltdimskåp enligt SIS 18 41 90 (ASTM B117-64) i 336 h.

Visuell besiktning utfördes efter 24, 48, 96, 144, 192 och 336 h. Se tabell 24.

#### 4.2.2.15 Vattenbad

Prover exponerades för destillerat vatten vid 23 °C i 4 veckor.

Visuell besiktning och mätning av  $\alpha$  och  $\epsilon$  utfördes vid provningens slut. Se tabell 25.

### 4.3 Provningens resultat

#### 4.3.1

##### Absorbator 1: Svart färg på aluminium

Högtemperaturprovning vid 150 °C var utan anmärkning, medan provning vid 200 °C gav en matt yta och ganska kraftig kritning. Vid 250 °C erhöles en vitfläckig matt yta och kraftig kritning. Temperaturcykling enligt 4.2.2.2 gav en matt yta utan kritning. Enbart UV-strålning gav en gråflammig yta. Provning med täckskiva och UV-strålning + vattenbesprutning klarades utan anmärkning. Provning med UV-strålning plus ozon och UV-strålning plus svaveldioxid orsakade inga synliga förändringar. Provning enligt 4.2.2.7 orsakade att färgen sprack och delvis flagnade längs värmebärarkanalernas kanter. "Konstant temperatur och RH" enligt 4.2.2.8 klarades utan anmärkning medan en variant av denna provning enligt 4.2.2.9 medförde att färgen flagnade av på stora partier. 4.2.2.10 - 12 medförde inga synliga förändringar medan 4.2.2.13 orsakade blåsor och områden med vit beläggning. Detta framgår än tydligare av resultaten från 4.2.2.14. Provet i vattenbad var utan anmärkning.

## 4.3.2

Absorbator 2: Selektiv beläggning på rostfritt stål

Denna absorbatorstyp klarade samtliga provningar utan någon väsentlig anmärkning.

## 4.3.3

Absorbator 3: Svartmålad aluminium

Absorbatorn klarade 150 °C, men inte 200 och 250 °C varvid färgen övergick från svart till rödbrun med åtföljande kraftig kritning. Vid temperaturcykling enligt 4.2.2.2 blev ytan något matt men ingen kritning inträffade. UV-ljus medförde ingen förändring, inte ens vid tillsats av ozon eller svaveldioxidgas. Konstant temperatur och RH enligt 4.2.2.8 medförde att ytan blev något gråaktig. I övrigt finns inget att anmärka.

## 4.3.4

Absorbator 4: Svartmålad aluminium

Absorbatorn klarade 150 °C, men blev matt vid 200 °C och grå vid 250 °C. Temperaturcykling enligt 4.2.2.2 gav en matt yta utan kritning. UV-ljus gav en gråflammig yta, och UV-ljus plus ozon medförde att ytan blev fläckvis ljusare. Samma för UV-ljus plus svaveldioxid. I övrigt inget att anmärka utom för saltdimprovningen där ytan blev något vitflammig med inslag av blåsor.

## 4.3.5

Absorbator 5: Black chrome på nickel på stål

Absorbatorn klarade temperaturer upp till 250 °C utan anmärkning men fick prickar vid temperaturcykling enligt 4.2.2.2. Ultraviolett strålning orsakade i stort sett inga synliga förändringar liksom ej heller ultraviolett strålning plus vatten. Här är att märka att täckskivor skyddade absorbatorproverna från direkt vattenbesprutning. UV-ljus plus ozon eller UV-ljus plus svaveldioxid, orsakade inget sönderfall. Konstant temperatur och RH enligt momenten 4.2.2.7 - 9 klarades utan anmärkning liksom cyklisk temperaturvariation enligt 4.2.2.10. Provning enligt 4.2.2.11 orsakade små ljusa fläckar. Vid denna provning är RH >95 % hela tiden vilket torde vara förklaringen till provningsresultatet. Provning enligt 4.2.2.12 orsakade tydliga rostfläckar. Saltdimprovningen orsakade rostfläckar främst där värmebärarrören är fastlödda till absorbatorn. Vattenbadprovningen var utan anmärkning.

## 4.3.6

Absorbator 6: Svartmålade aluminiumflänsar på kopparrör

Vid högtemperaturprovning vid 200 och 250 °C övergick färgen från svart till violett. Vid temperaturcyklning enligt 4.2.2.2 blev kulören något vitare men någon kritning inträffade inte. UV-ljus gjorde absorbatorn ljusare. UV-ljus plus vattenbestralning på täckskivan medförde ingen anmärkning, ej heller UV-ljus plus ozon eller svaveldioxid. I övrigt utan anmärkning utom salt-dimprovning 4.2.2.13 där vit beläggning bildades på värmebärarkanalerna, troligen bestående av natriumklorid.

## 4.3.7

Absorbator 7: Svart emalj på stålplåt

Denna absorbatorytp har klarat samtliga provningar utan någon väsentlig anmärkning.

## 4.3.8

Absorbator 8: Nickel på anodiserat aluminium

Högtemperaturprovningarna klarades utan anmärkning liksom temperaturcyklning enligt 4.2.2.2. Efter provning i UV-ljus konstaterades att ytan var svagt flammig. Provning i UV-ljus med vattenbesprutning på täckskiva och provning i UV-ljus i ozon och svaveldioxidatmosfär medförde inga anmärkningar. Provning vid konstant temperatur och RH enligt 4.2.2.7 gav en svagt fläckig yta, 4.2.2.8 en kraftigt gråflammig yta och 4.2.2.9 gav ett fläckigt selektivt skikt. 4.2.2.10 - 11 medförde inga anmärkningar. Cyklisk variation av temperatur och RH enligt 4.2.2.12 medförde en gråflammig yta. Saltdimprovningarna gav en vit flammig beläggning och det selektiva skiktet flagnade delvis bort. Provning i vattenbad gav en matt yta.

## 4.3.9

Absorbator 9: Svartmålade aluminiumflänsar på kopparrör

Högtemperaturprovningarna vid 150, 200 och 250 °C klarades utan anmärkning. Likaså provningarna 4.2.2.2 - 6. Vid provning 4.2.2.7 "konstant temperatur och RH" erhöles en fläckig yta där färgen delvis hade flagnat. Övriga provningar utan anmärkning utom saltdimprovningarna där galvanisk korrosion kunde konstateras mellan aluminiumflänsar och kopparrör. Aluminiumet hade korroderat. Dessutom delvis vit beläggning på flänsarna, förmodligen bestående av natriumklorid från saltdimman.

## 4.3.10

Absorbator 10: Black chrome på koppar

Högtemperaturprovningarna vid 150, 200 och 250 °C klarades utan anmärkning. Likaså provningarna 4.2.2.2 - 6. Vid provning 4.2.2.7 "Konstant temperatur och RH" erhöles fläckar i selektiva skiktet med kopparkorrosion i vissa av fläckarna. Övriga provningar utan anmärkning.

## 4.3.11

Absorbator 11: Svart färg på stål

Högtemperaturprovning vid 150 °C klarades utan anmärkning, men vid 200 °C blev ytan matt, och vid 250 °C matt och vitfläckig. Vid temperaturcykling enligt 4.2.2.2 blev också ytan matt. Provningar med inslag av UV-strålning var i stort sett utan anmärkning. Vid provning 4.2.2.7 "Konstant temperatur och RH" erhöles små tätt sittande blåsor med korrosion under de största blåsorna. Även vid 4.2.2.8 - 9 erhöles små blåsor. 4.2.2.10 var utan anmärkning, medan 4.2.2.11 återigen gav små blåsor. Vid saltdimprovningarna flagnade färgen och absorbatorssubstratet blev rostigt.

## 4.3.12

Absorbator 12: Selektivt skikt på aluminium

I stort sett klarades provningarna 4.2.2.1 - 6 utan anmärkning. Vid 4.2.2.7 "Konstant temperatur och RH" erhöles små fläckar i det selektiva skiktet där aluminium frilagts. Vid 4.2.2.8 blev ytan gråflammig, likaså vid 4.2.2.9. 4.2.2.10 klarades utan anmärkning, men 4.2.2.11 gav en något flammig yta liksom 4.2.2.12. Den första saltdimprovningen 4.2.2.13 gav en vitflammig yta där det selektiva skiktet delvis var borta efter 300 h (= 12,5 dygn). Samma resultat erhöles vid den andra saltdimprovningen. Vid provning i vattenbad erhöles en matt yta.

## 4.3.13

Absorbator 13: Black chrome på rotsfritt stål

Samtliga provningar klarades utan anmärkning.

## 4.3.14

Absorbator 14: Svartmålat anodiserat aluminium

I de provningar där denna absorbator typ ingick noterades inga väsentliga förändringar.

## 4.3.15

Absorbator 15. Svartmålade aluminiumflänsar på kopparrör

I de provningar där denna absorbator typ ingick noterades inga förändringar, utom vad gäller den andra saltdimprovingen där blåsbildningsgraden 4M noterades efter 14 dygns provning.

## 4.3.16

Absorbator 16. Selektiv tape på rostfritt stål

Vid högtemperaturprovning vid 200 °C lossnade tejpen ca 5 mm från kanterna och vid 250 °C lossnade ca 80 %. Även vid temperaturcykling enligt 4.2.2.2 lossnade tejpen ca 5 mm från kanterna. Vid övriga provningar där denna absorbator typ ingick noterades inga anmärkningar.

## 4.3.17

Absorbator 17. Svart polyesterfärg på aluminium

Vid högtemperaturprovning vid 200 och 250 °C blev färgen matt, likaså vid temperaturcyklingen enligt 4.2.2.2. I övrigt ingick denna absorbator typ endast i 4.2.2.14 - 15 där inga anmärkningar noterades.

## 4.4 Undersökningar med Auger-elektron-spektroskopi

Fyra olika absorbator typer studerades med Auger-elektron-spektroskopi (AES) och djupprofilsputterteknik. Undersökningarna utfördes av P. Braun och H. Störi vid Institut för Allgemeine Physik, Technical University i Wien. Absorbatorerna hade först provats med olika metoder vid Statens provningsanstalt i Borås. Syftet var att undersöka hur olika provningsmetoder påverkade de selektiva skiktens kemiska sammansättning.

Följande absorbator typer ingick i undersökningen:

- 5 Black chrome på stål
- 8 Nickel på anodiserat aluminium
- 10 Black chrome på koppar
- 13 Black Chrome på stål

Tre olika provningar genomfördes, nämligen:

- 8 ASTM D2247 enligt 4.2.2.8
- 12 Cyklisk variation av temperatur och RH enligt 4.2.2.10
- 13 ASTM B117 enligt 4.2.2.13

Dessutom fanns icke provade referensexemplar av samtliga absorbator typer, med beteckningen 0



#### 4.4.1 Resultat och diskussion

##### 4.4.1.1 Absorbator 5

Den selektiva beläggningen består av kromoxid på nickel på stål. Beläggningen är i stort sett oförändrad efter alla provningar. Den består av krom som delvis övergått till krom(III)oxid samt låga halter av svavel och klor i ytskiktet.

Skiktjocklekarna bestämdes till:

5:0	200 nm
5:8	130 nm
5:12	200 nm
5:13	170 nm

Noteras kan att efter provning 8 kunde en lägre och efter provning 13 kunde en högre järnhalt uppmätas. Det verkar troligt att rost från icke täckta delar av stålytan vid provning 13 har förorenat den selektiva beläggningen. Efter provning 8 var skiktjockleken lägre vilket också framgår av beläggningens färg.

Djupprofiler för 5:0 och 5:8 framgår av diagram 1 och 2.

##### 4.4.1.2 Absorbator 8

Den selektiva beläggningen består av aluminiumoxid på aluminium. Skiktjockleken överstiger några  $\mu\text{m}$  och kan ej penetreras med djupprofilsputtring (uppmätt djup 675 nm). I aluminium(III)oxiden finns spår av nickel, svavel, fosfor och kol som torde härröra från färgningsprocessen. Provningarna 8 och 13 förstör den ursprungliga kemiska sammansättningen på beläggningen. Å andra sidan ändras inte alls sammansättningen vid provning 12.

Djupprofiler för 8:0 och 8:12 framgår av diagram 3 och 4.

##### 4.4.1.3 Absorbator 10

Den selektiva beläggningen består av kromoxid på nickel på koppar. Beläggningen ändras mycket lite vid provningarna 12 och 8 (panel från provning 13 ingick inte i undersökningen). Beläggningens skiktjocklek uppgick till ca 775 nm. Analys av den kemiska sammansättningen visar att skiktet består av nästan ren krom(III)oxid, även efter provning 8. Beläggningen verkar mycket stabil och hållbar.

Djupprofilen för 10:0 och 10:8 framgår av diagram 5 och 6.

## 4.4.1.4 Absorbator 13

Det selektiva skiktet består av järn och kromoxid på korrugerad, punktsvetsad stålplåt. Endast provning 12 gav färgförändring. Dubbeloxidlagrets skiktjocklek ca 150 nm ändrades mycket lite vid provningarna. Även den kemiska sammansättningen förblev oförändrad.

Djupprofiler för 13:0 och 13:12 framgår av diagram 7 och 8.

## LITTERATURFÖRTECKNING

IVF-resultat 73655, "Provningsmetoder för bedömning av lackerade metallytors egenskaper"

IVF-resultat 77602, "Skyddslackering av kretskort"

N.D. Tomashov, "Theory of corrosion and protection of metals", The Macmillan Company, New York

S.W. Moore, "Status report on solar absorber paint coatings", Los Alamos Scientific Laboratory, LA-8897-SR

W.D. Mc Kelvey, P.B. Zimmer, R.J.H. Lin  
"Solar-selective paint coating development"  
DOE/CS/34287-T1

TABELL 8

Översikt över provade absorbatörer

Absor- bator nr	Substrat	Ytbeläggning	Skikt- tjocklek $\mu\text{m}$	$\alpha$	$\varepsilon$
1	Aluminium	Ftalimid-färg	17	0,95	0,90
2	Rostfritt stål			0,92	0,18
3	Aluminium	Akrylat-färg	41	0,96	0,93
4	Aluminium	Silikon-färg	21	0,94	0,89
5	Stål	Black-chrome	<1	0,98	0,23
6	Aluminium	Alkyd-färg	0-150	-	-
7	Stål	Emaljfärg	210	0,97	0,91
8	Aluminium	Anodisering+Ni	<1	0,98	0,14
9	Aluminium	Ftalimid-färg	0-150	-	-
10	Koppar	Black-chrome	2	0,97	0,44 0,50 0,70
11	Stål	Alkyd-färg	26	0,96	0,92
12	Aluminium		<1	0,99	0,17
13	Rostfritt stål	Black chrome		0,93	0,15
14	Aluminium	Anodisering	7	0,99	0,95
15	Aluminium	Polyester-färg	10	-	-
16	Rostfritt stål	Anodisering + Ni	18	0,98	0,11
17	Aluminium	Polyester-färg		0,96	0,89

TABELL 9

Provningsresultat enligt moment 4.2.2.1 "Hög temperatur", 150 °C

Absorbator nr	Provningsresultat Besiktning
1	Utan anmärkning
2	-"-
3	-"-
4	-"-
5	-"-
6	-"-
7	-"-
8	-"-
9	-"-
10	-"-
11	-"-
12	-"-
13	-"-

Tabell 10

Provningsresultat enligt moment 4.2.2.1, "Hög temperatur", 200 °C

Absorbator nr	Provningsresultat Glans, kulör	Kritning <sup>1)</sup>
1	Matt	4
2	Utan anmärkning	10
3	Rödbrun	4
4	Matt	6
5	Utan anmärkning	10
6	Violett	2
7	Utan anmärkning	10
8	Utan anmärkning	10
9	Utan anmärkning	6
10	Utan anmärkning	10
11	Matt	10
12	Utan anmärkning	10
13	Utan anmärkning	10
14	Utan anmärkning	10
15	Utan anmärkning	6
16	Tejpen har lossnat ~5 mm	10
17	Matt	10

1) Kritningsgrad enligt SIS 18 41 97 (ASTM D 659-80)  
2 = kraftig kritning, 10 = ingen kritning

TABELL 11

Provningsresultat enligt moment 4.2.2.1, "Hög temperatur", 250 °C

Absorbator nr	Provningsresultat Glans, kulör	Kritning <sup>1)</sup>
1	Matt, vitfläckig	2
2	Utan anmärkning	10
3	Rödbrun	2
4	Grå	2
5	Utan anmärkning	10
6	Violett	2
7	Utan anmärkning	10
8	Utan anmärkning	10
9	Utan anmärkning	2
10	Utan anmärkning	10
11	Matt vitfläckig	2
12	Utan anmärkning	10
13	Utan anmärkning	10
14	Utan anmärkning	10
15	Utan anmärkning	2
16	Tejpen lossnat, ~80 % av ytan	10
17	Matt	6

1) Kritningsgrad enligt SIS 18 41 97 (ASTM D 659-80)  
2 = kraftig kritning, 10 = ingen kritning

TABELL 12

Provningsresultat enligt moment 4.2.2.2, "Temperaturcykling"

Absorbator nr	Provningsresultat Glans, kulör	Kritning <sup>1)</sup>
1	Matt	10
2	Utan anmärkning	10
3	Matt	10
4	Matt	10
5	Prickar motsv. rsg 7	10
6	Något vitare	10
7	Utan anmärkning	10
8	Utan anmärkning	10
9	Utan anmärkning	10
10	Utan anmärkning	10
11	Matt	10
12	Utan anmärkning	10
13	Utan anmärkning	10
14	Utan anmärkning	10
15	Utan anmärkning	10
16	Tejpen lossnade ~5 mm	10
17	Matt	10

1) Kritningsgrad enligt SIS 18 41 97 (ASTM D 659-80)  
10 = ingen kritning



TABELL 13

Provningresultat enligt moment 4.2.2.3, "Ultra-  
violett strålning"

Absorbator nr	Provningresultat Besiktning
1	Gråflammig
2	Utan anmärkning
3	Utan anmärkning
4	Gråflammig
5	Mycket svagt flammig
6	Ljusare
7	Utan anmärkning
8	Svagt flammig
9	Utan anmärkning
10	Utan anmärkning
11	Mycket svagt flammig
12	Mycket svagt flammig
13	Utan anmärkning

TABELL 14

Provningsresultat enligt moment 4.2.2.4, "Ultra-  
violett strålning och vatten"

Absorbator nr	Provningsresultat Besiktning
1	Utan anmärkning
2	Utan anmärkning
3	Utan anmärkning
4	Utan anmärkning
5	Utan anmärkning
6	Utan anmärkning
7	Utan anmärkning
8	Utan anmärkning
9	Utan anmärkning
10	Utan anmärkning
11	Utan anmärkning
12	Utan något flammig
13	Utan anmärkning
14	Utan anmärkning
15	Utan anmärkning
16	Utan anmärkning

TABELL 15

Provningsresultat enligt moment 4.2.2.5, "Ultra-  
violett strålning och ozon"

Absorbator nr	Besiktning	Provningsresultat	
		$\alpha$	$\varepsilon$
1	Utan anmärkning	1)	2)
2		-	-
3	Utan anmärkning	1)	2)
4	Utan något ljusare med inslag av mörkare fläckar	1)	2)
5	Utan anmärkning	1)	2)
6	Utan anmärkning	-	-
7	Utan anmärkning	1)	2)
8	Utan anmärkning	1)	2)
9	Utan anmärkning	-	-
10	Utan anmärkning	1)	2)
11	Utan anmärkning	1)	2)
12	Utan anmärkning	1)	2)
13	-	-	-
14	Utan anmärkning	1)	2)
15	Utan anmärkning	-	-
16	Utan anmärkning	1)	2)

1) Ingen säkerställd ändring av  $\alpha$

2) Ingen säkerställd ändring av  $\varepsilon$

TABELL 16

Provningresultat enligt moment 4.2.2.6, "Ultra-  
violett strålning och svaveldioxid"

Absorbator nr	Besiktning	Provningresultat $\alpha$	$\epsilon$
1	Utan anmärkning	1)	2)
2	-	-	-
3	Utan anmärkning	1)	2)
4	Utan något ljusare med inslag av mörka fläckar	1)	2)
5	Utan anmärkning	1)	2)
6	Utan anmärkning	-	-
7	Utan anmärkning	1)	2)
8	Utan anmärkning	1)	2)
9	Utan anmärkning	-	-
10	Utan anmärkning	1)	2)
11	Utan anmärkning	1)	2)
12	Utan anmärkning	1)	2)
13	-	-	-
14	Utan anmärkning	1)	2)
15	Utan anmärkning	-	-
16	Utan anmärkning	1)	2)

1) Ingen säkerställd ändring av  $\alpha$

2) Ingen säkerställd ändring av  $\epsilon$

TABELL 17

Kritning <sup>1)</sup>		Flagning <sup>2)</sup>			$\alpha$	$\epsilon$
1	8	8	Mattare, något vitfläckig		0,96	0,90
2	10	10	Kulörförändring		0,77	0,24
3	10	10	Mattare		0,96	0,94
4	8	10	Svag kritning		0,95	0,92
5	-	10	Små fläckar, Rsg 8		0,98	0,18
6	8	10	Gråare		-	-
7	10	10	Något vitfläckig		0,95	0,90
8	10	10	Något ljusare och fläckig		0,92	0,23
9	8	6	Något vitfläckig		-	-
10	10	10	Utan anmärkning		0,97	0,50
11	10	10	Något mattare, Rsg 9		0,95	0,90
12	10	10	Något ljusare och fläckig		0,95	0,20
13	10	10	Kulörförändring		0,90	0,13
14	10	10	Utan anmärkning		0,98	0,97
15	8	10	Utan anmärkning		-	-
16	10	10	Ljusare		0,96	0,09
17	10	10	Blåsor 8F		0,97	0,89

1) ASTM D 659-80

2) ASTM D 772

TABELL 18

Provningsresultat enligt moment 4.2.2.8, "Konstant temperatur och RH"

Absorbator nr	Provningsresultat Besiktning
1	Utan anmärkning
2	Utan anmärkning
3	Ytan gråaktig
4	Utan anmärkning
5	Utan anmärkning
6	Utan anmärkning
7	Utan anmärkning
8	Ytan kraftigt gråflammig
9	Utan anmärkning
10	Utan anmärkning
11	Mycket små blåsor
12	Ytan kraftigt gråflammig
13	Utan anmärkning

TABELL 19

Provningsresultat enligt moment 4.2.2.9, "Konstant temperatur och RH"

Absorbator nr	Provningsresultat Besiktning
1	Färgen har flagnat av på stora partier
2	Ytan något flammig
3	Utan anmärkning
4	Utan anmärkning
5	Utan anmärkning
6	-
7	Utan anmärkning
8	Selektiva skiktet fläckigt
9	-
10	Utan anmärkning
11	Små blåsor. Färgen har delvis flagnat
12	Ytan gråflammig
13	Ytan något flammig

TABELL 20

Provningsresultat enligt moment 4.2.2.10, "Cyklisk temperaturvariation vid högt RH"

Absorbator nr	Provningsresultat Besiktning
1	Utan anmärkning
2	-"-
3	-"-
4	-"-
5	-"-
6	-"-
7	-"-
8	-"-
9	-"-
10	-"-
11	-"-
12	-"-
13	-"-



TABELL 21

Provningsresultat enligt moment 4.2.2.11, "Cyklisk temperatur vid högt RH"

Absorbator nr	Provningsresultat Besiktning	$\alpha$	$\epsilon$
1	Utan anmärkning	1)	2)
2	Utan anmärkning	1)	2)
3	Utan anmärkning	1)	2)
4	Utan anmärkning	1)	2)
5	Små ljusa fläckar	1)	2)
6	Utan anmärkning	-	-
7	Små ljusa fläckar	1)	2)
8	Utan anmärkning	1)	2)
9	Utan anmärkning	-	-
10	Utan anmärkning	1)	2)
11	Mycket små blåsor	1)	2)
12	Ytan något flammig	1)	2)
13	Utan anmärkning	1)	2)
14	Fläckvis svag kulörändring	1)	2)
15	Utan anmärkning	-	-
16	Utan anmärkning	1)	2)

1) Ingen säkerställd ändring av  $\alpha$

2) Ingen säkerställd ändring av  $\epsilon$

TABELL 22

Provningsresultat enligt moment 4.2.2.12, "Cyklisk variation av temperatur och RH"

Absorbator nr	Provningsresultat Besiktning
1	Utan anmärkning
2	Utan anmärkning
3	-
4	-
5	Rostfläckar
6	-
7	Utan anmärkning
8	Gråflammig
9	-
10	-
11	-
12	Gråflammig
13	Utan anmärkning

TABELL 23

Provningsresultat enligt moment 4.2.2.13, "Saltdimma"

Absorbator nr	Provningsresultat Besiktning
1	Blåsor. Områden med vit beläggning
2	Utan anmärkning
3	Utan anmärkning
4	Ytan vitflammig
5	Rost kring värmebärarrören
6	Vit beläggning på värmebärarkanalerna Flänsarna utan anmärkning
7	Utan anmärkning
8	Vit flammig beläggning. Selektiva skiktet har fläckvis flagnat bort
9	Galvanisk korrosion mellan aluminium- flänsar och kopparrör. Delvis vit be- läggning på flänsarna
10	-
11	Färgen har flagnat. Stålytan delvis rostig
12	Vitflammig. Selektiva skiktet delvis borta
13	Utan anmärkning

TABELL 24

Provningsresultat enligt moment 4.2.2.14, "Saltdimma"

Absorbator nr	Provningsresultat									
	1 dygn		2 dygn		4 dygn		7 dygn		14 dygn	
	rsg	bl	rsg	bl	rsg	bl	rsg	bl	rsg	bl
1	10	10	10	9M	10	8M	10	6MD	7	4D
2	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
4 <sup>1)</sup>	10	10	8	10	8	8F	8	8MD	8	6MD
5	9	8F	8	8F	7	8F	6	8M	5	8M
6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
7	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
8	10	8F	8	8F	7	8F	7	8F	6	8F
9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	4F
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	10	8F	9	8M	8	8MD	8	6MD	6	2MD
12	10	10	9	10	9	10	8	10	7	10
13	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
14	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
15	10	10	10	10	10	10	10	10	10	4M
16	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
17	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Rsg = rotskyddsgrad enligt SIS 18 51 11 (ISO 4628/1)  
(även korrosionsprodukter från aluminium och koppar)

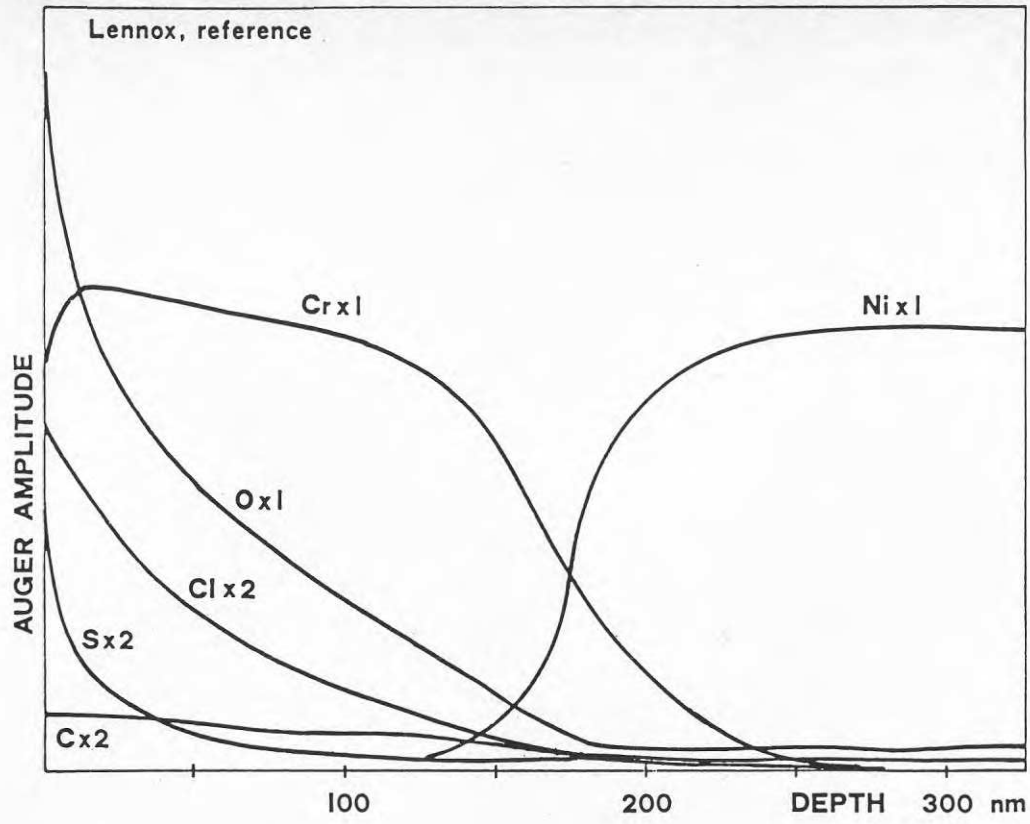
Bl = blåsbildningsgrad enligt SIS 18 41 93 (ASTM D714-56)

1) Endast röret. De plana ytorna 10/10

TABELL 25

Provningsresultat enligt moment 4.2.2.15, "Vattenbad"

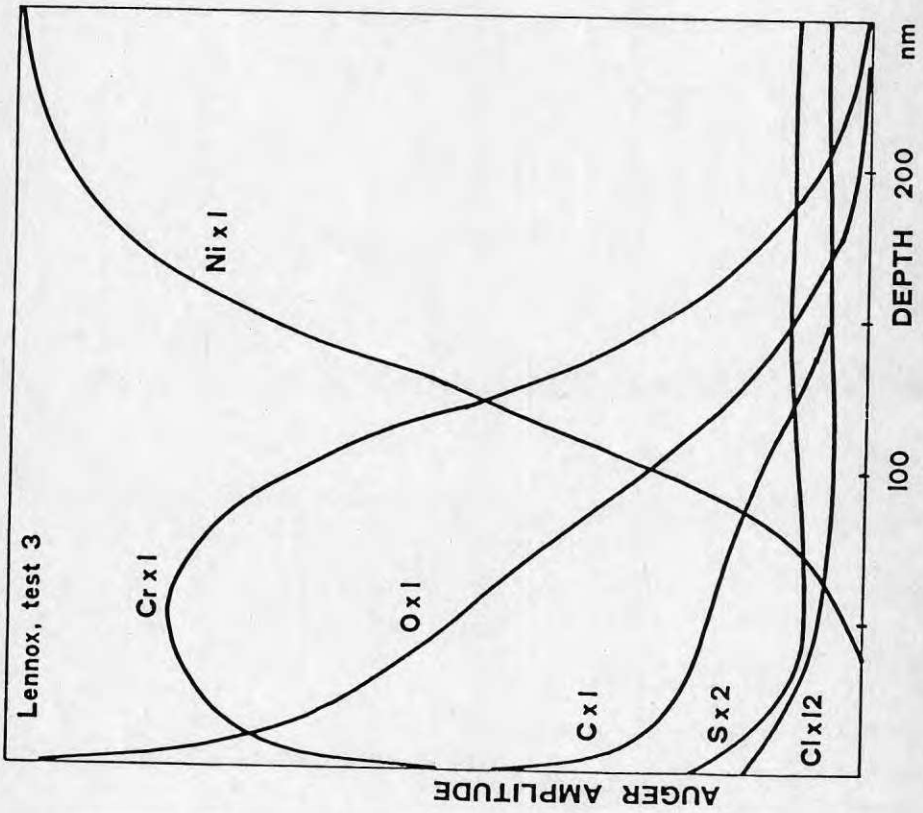
Absorbator nr	Provningsresultat Besiktning	Provningsresultat	
		$\alpha$	$\epsilon$
1	Utan anmärkning	0,95	0,89
2	Utan anmärkning	0,87	0,17
3	Utan anmärkning	0,96	0,93
4	Utan anmärkning	0,94	0,90
5	Utan anmärkning	0,97	0,21
6	-	-	-
7	Utan anmärkning	0,94	0,88
8	Matt yta	0,88	0,47
9	-	-	-
10	Utan anmärkning	0,97	0,56
11	Utan anmärkning	0,95	0,89
12	Matt yta	0,94	0,63
13	Utan anmärkning	0,91	0,13
14	Utan anmärkning	0,99	0,97
15	-	-	-
16	Utan anmärkning	0,97	0,08
17	Utan anmärkning	0,96	0,88



Depth profile 5:0

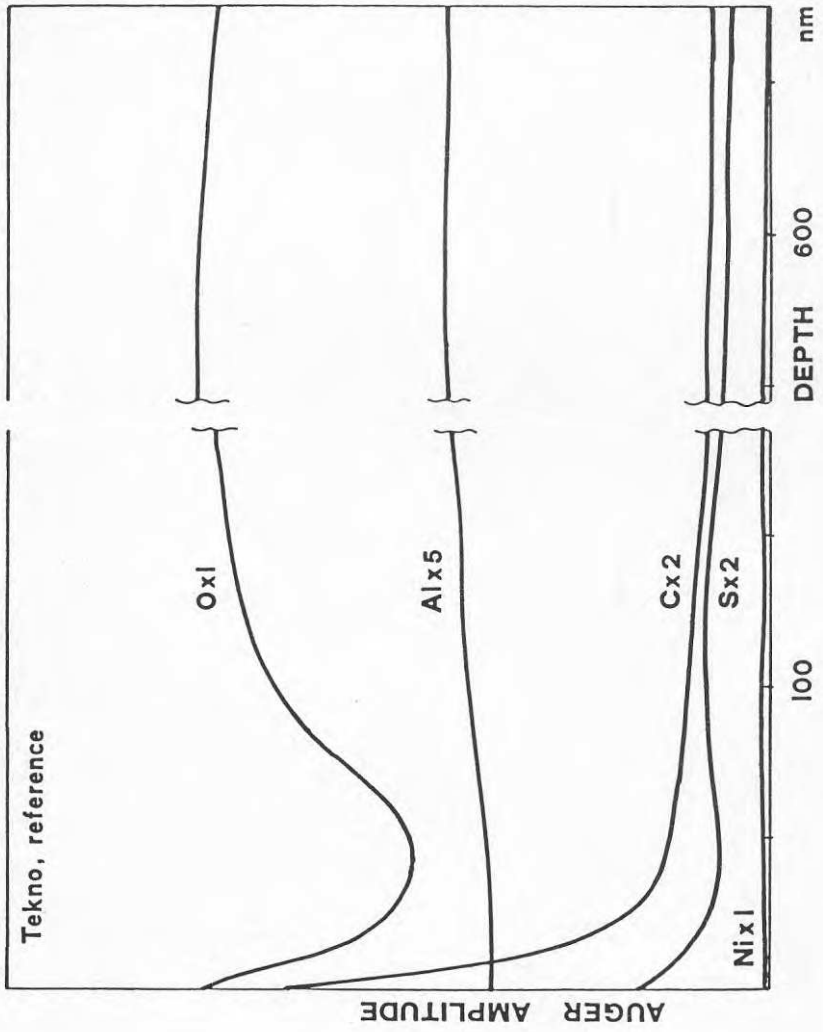
Diagram 1

Diagram 2



Depth profile 5:8

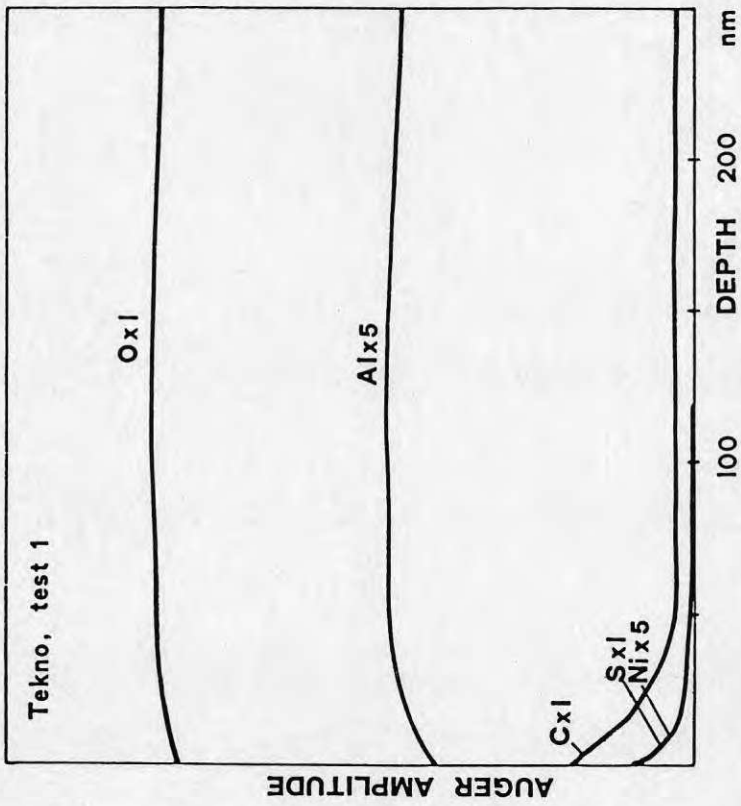
Diagram 3



Depth profile 8:0

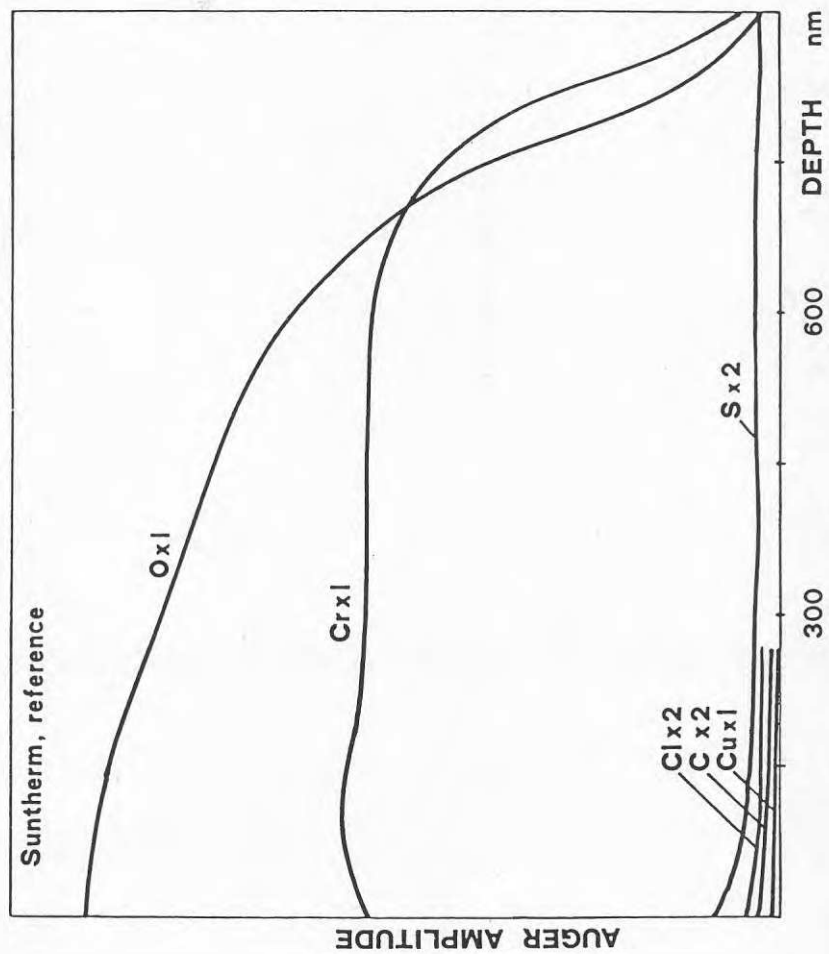


Diagram 4



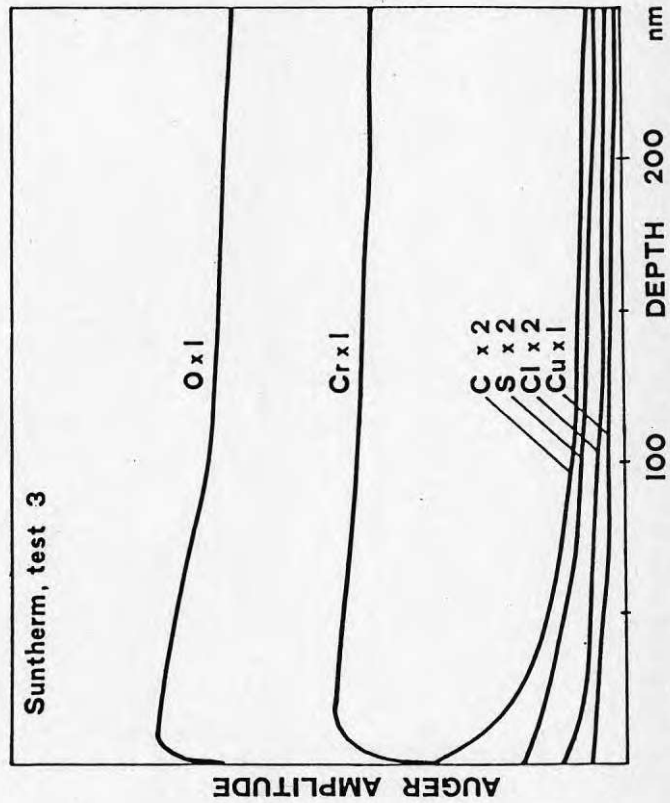
Depth profile 8:12

Diagram 5



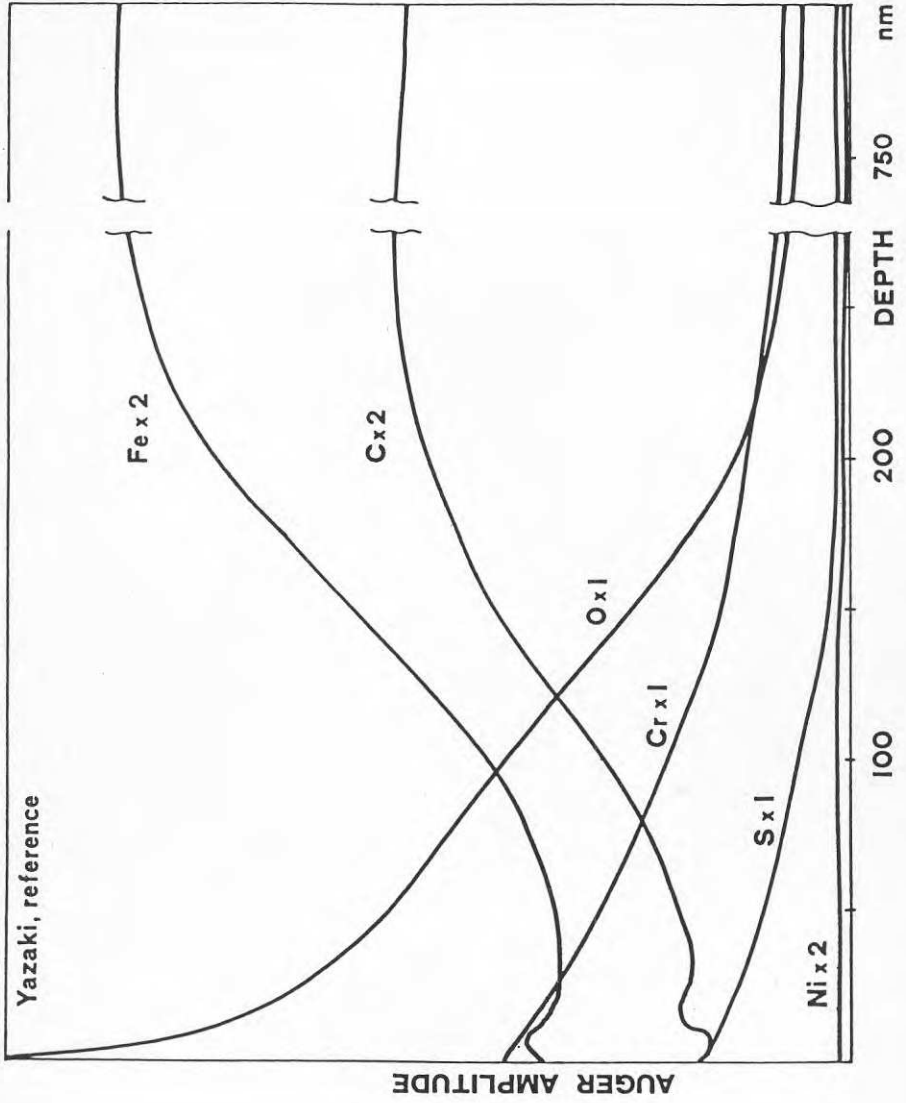
Depth profile 10:0

Diagram 6



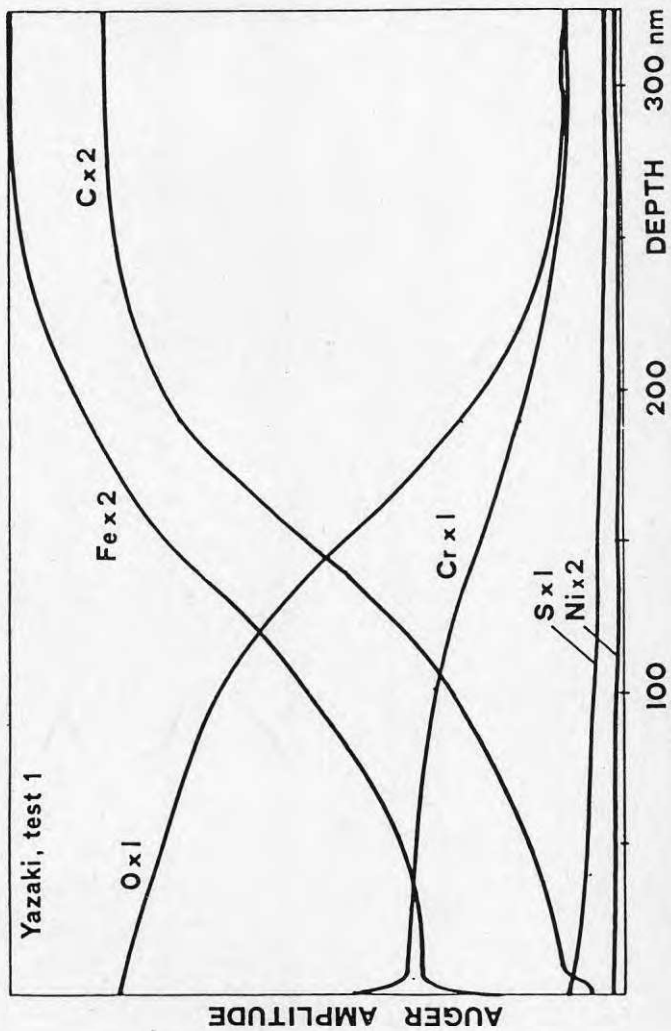
Depth profile 10:8

Diagram 7



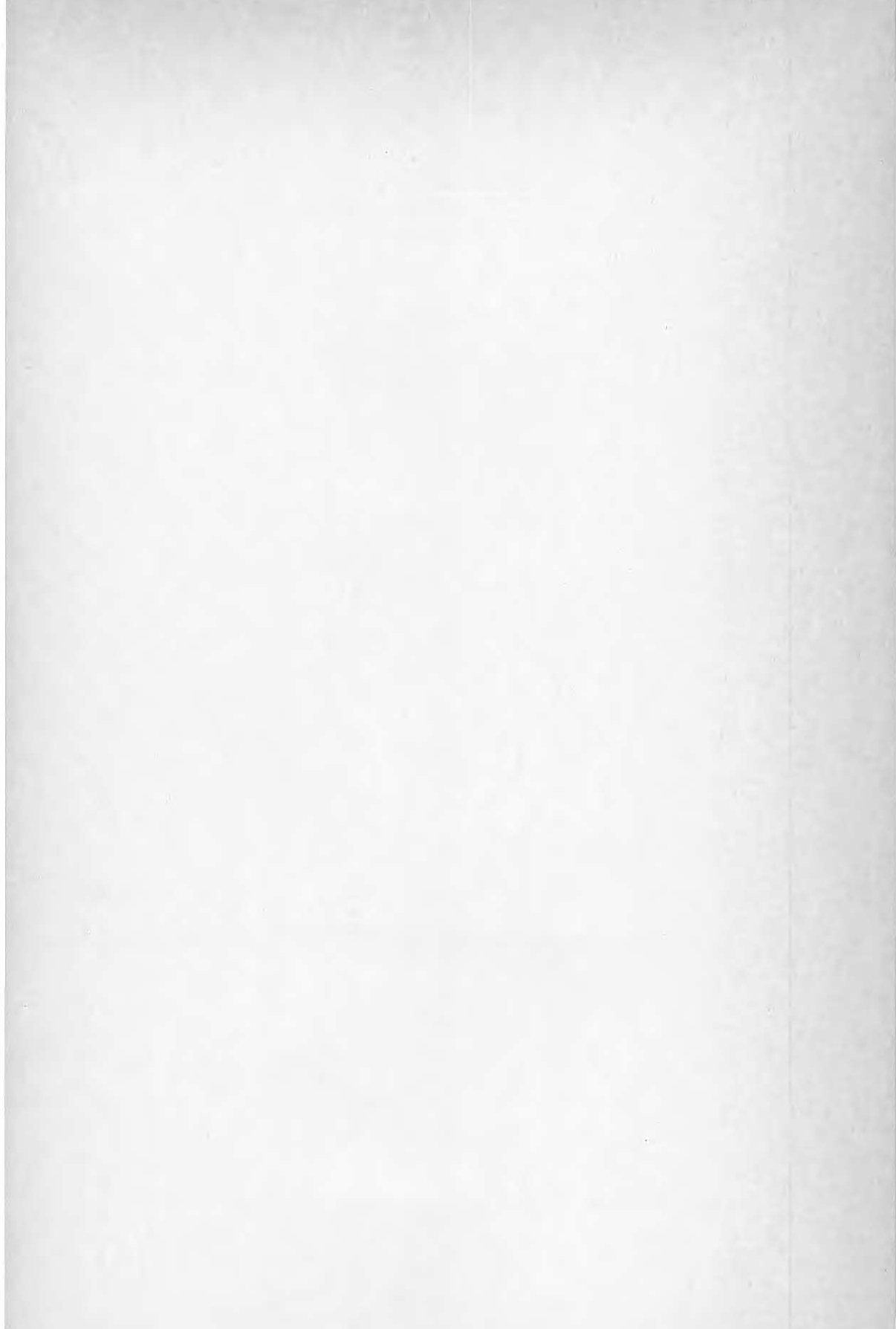
Depth profile 13:0

Diagram 8



Depth profile 13:12













**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
780152-9 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Statens provningsanstalt, Borås.**

**R85: 1983**

**ISBN 91-540-3984-3**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6700785**

**Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm**

**Cirka pris: 30 kr exkl moms**