



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

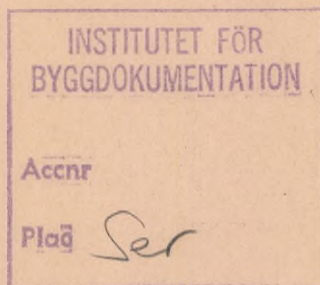
R51:1988

Plana termiska solfångare

Utveckling av metoder för provning av
åldrings- och korrosionsegenskaper
hos absorbatörer

Hans Wennerholm

R
Jull



BYGGDOK

Institutet för byggdokumentation
Hälsingegatan 49
113 31 Stockholm, Sweden
08-34 01 70 Telex 125 63

Byggeforskningsrådet

R51:1988

PLANA TERMISKA SOLFANGARE

Utveckling av metoder för provning
av åldrings- och korrosionsegenskaper
hos absorbatörer

Hans Wennerholm

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830108-0
från Statens råd för byggnadsforskning till Statens
provningsanstalt, Borås.

REFERAT

Detta projekt är ett led i utvecklandet av accelererade åldrings- och korrosionsprovningmetoder avsedda att användas vid utvärdering av absorbtorer i plana termiska solfångare. Absorbtorsubstrat som ingick i undersökningen var

- stål
- rostfritt stål
- koppar
- aluminium

Som absorbtorbeläggningar förekom

- black chrome
- black nickel på nickel
- anodiserat aluminium pigmenterat med nickel
- oxiderat rostfritt stål
- svarta färger, som t ex akrylat, alkyd, silikon, emalj, polyester

Enkelprov användes vid laboratorieprovningarna och utomhusexponering under stagnation i 2 år. Efter utomhusexponering under stagnation i 5 år av kompletta solfångare togs dubbelprov av absorbtorerna. Absorbans och emissivitet mättes på referensprov före provning, och på varje provat exemplar efter provning.

Två av absorbtorerna (anodiserat aluminium pigmenterat med nickel, samt black chrome på koppar) undersöktes dessutom med SEM, EDS samt genom upptagning av spektrala reflektansen i intervallet 380-2500 nm.

Efter undersökningarna kunde konstateras att de viktigaste sönderfallsfaktorerna var fukt, höga temperaturer och svaveldioxid.

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

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R51:1988

ISBN 91-540-4897-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1988

INNEHÅLL

Sida

FÖRORD

SAMMANFATTNING

1	INLEDNING	6
1.1	Bakgrund	6
1.2	Syfte	6
2	PROBLEMSKRIVNING	7
2.1	Absorbatormaterial	7
2.2	Sönderfallsfaktorer	8
2.3	Accelererade provningar	9
3	LABORATORIEPROVNINGAR	9
3.1	Fukt vid konstant låg temperatur	9
3.2	Fukt vid konstant hög temperatur	9
3.3	Hög temperatur	10
3.4	Svaveldioxid vid högt RH	10
3.5	UV-strålning och fukt	10
4	UTOMHUSEXPONERING VID STAGNATION	10
4.1	Utomhusexponering i 5 år	10
4.2	Utomhusexponering i 2 år	10
5	UTVÄRDERING AV SÖNDERFALL	11
	Tabeller 2-23	14-35

6	RESULTAT	36
6.1	Provningar	36
6.1.1	Svart färg på aluminium	36
6.1.2	Blue stainless steel	36
6.1.3	Svart akrylatfärg på aluminium	36
6.1.4	Svart silikonfärg på aluminium	36
6.1.5	Black chrome på stål	36
6.1.6	Svart emalj på stål	37
6.1.7	Anodiserat aluminium dopat med nickel	37
6.1.8	Black chrome på koppar	37
6.1.9	Svart alkydfärg på stål	37
6.1.10	Anodiserat aluminium med selektiv beläggning	38
6.1.11	Blue stainless steel	38
6.1.12	Aluminium med svart färg	38
6.1.13	Maxorb på rostfritt stål	38
6.1.14	Svart polyesterfärg på aluminium	38
6.1.15	Maxorb på stål	39
6.1.16	Maxorb på rostfritt stål	39
6.1.17	Maxorb på aluminium	39
6.1.18	Maxorb på koppar	39
6.1.19	Skysorb på rostfritt stål	39
6.1.20	Cusorb på koppar	39
6.1.21	Black chrome på koppar	39
6.2	SEM- och röntgenundersökningar	40
6.2.1	Anodiserat aluminium dopat med nickel	40
6.2.2	Black chrome på koppar	41
6.3	Mätning av spektral reflektans	42
	REFERENSER	43
	SEMFOTOGRAFIER 1-10	44
	RÖNTGENDIAGRAM 1-10	49
	DIAGRAM FÖR SPEKTRAL REFLEKTANS 11-25	59

FÖRORD

Föreliggande skrift utgör slutrapport till Byggnadsforskningsrådet för projekt 830108-0 avseende kontraktstiden 840215- 861231. Detta projekt utgör en fortsättning på projekt 780152-9 som finns publicerat i BFR-rapport R85:1983. Båda projekten har gemensamt finansierats av Byggnadsforskningsrådet och Statens provningsanstalt.

Rapporten behandlar accelererade provningar av absorbatörer för plana termiska solfångare.

För sina insatser för projektets genomförande vill författaren rikta ett speciellt tack till projektmedarbetarna ingenjör Jan Victor och avdelningsingenjör Bo-Lennart Andersson. Vidare tackas Karin Karlsson för maskinskrivningsarbetet.

SAMMANFATTNING

Detta projekt är ett led i utvecklandet av accelerade åldrings- och korrosionsprovningmetoder avsedda att användas vid utvärdering av absorbatörer i plana termiska solfångare. Absorbatorsubstrat som ingick i projektet var

- stål
- rostfritt stål
- koppar
- aluminium

Som absorbatorbeläggningar förekom

- black chrome
- black nickel på nickel
- anodiserat aluminium pigmenterat med nickel
- oxiderat rostfritt stål
- svarta färger, som t ex akrylat, alkyd, silikon, emalj, polyester

Enkelprov användes vid laboratorieprovningarna och utomhusexponering under stagnation i 2 år. Efter utomhusexponering under stagnation av kompletta solfångare i 5 år togs dubbelprov av absorbatörerna. Absorptans och emissivitet mättes på referensprov före provning, och på varje provat exemplar efter provning.

Två av absorbatörerna (anodiserat aluminium pigmenterat med nickel, samt black chrome på koppar) undersöktes dessutom med SEM, EDS samt genom upptagning av spektrala reflektanskurvan i intervallet 380-2500 nm.

Efter undersökningarna kunde konstateras att de viktigaste sönderfallsfaktorerna var fukt, höga temperaturer och svaveldioxid.

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 (α) och emissivitet (ϵ) och dessa egenskapers stabilitet under solfångarsystemets livslängd.

Under de knappt 10 år som solfångarsystem varit i drift i Sverige har det visat sig att absorbatormaterial, andra komponentmaterial och olika konstruktionslösningar i solfångare är behäftade med många svagheter. Detta gäller speciellt solfångare tillverkade i slutet av 1970-talet och början av 1980-talet. Dessa kallas solfångare av första och andra generationen [2, 3, 4, 5]. De solfångare som tillverkas idag kallas solfångare av tredje generationen. Dessa solfångare har bättre tillförlitlighet och hållbarhet men absorbatorsubstrat och absorbatorbeläggningar är ungefär desamma som hos första och andra generationens solfångare.

Många av de materialproblem som uppstår i solfångare anses orsakade av långvarig exponering för stagnationstemperaturer. Sådana tillstånd kan förväntas uppstå ett antal gånger under en solfångares livstid, antingen vid installationen innan systemet tagits i drift eller vid driftuppehåll p.g.a. el-avbrott, pumpstopp, underhåll eller liknande.

1.2 Syfte

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 samt vid typgodkännanden av solfångare.

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

- 1 Identifiering av önskvärda driftsegenskaper för absorbatörer
- 2 Utveckling av provningsmetoder som utvärderar absorbatörers hållbarhet och driftsegenskaper
- 3 Genomförande av laboratorieprovningar och fältundersökningar som säkerställer att sönderfallsmekanismerna vid de accelererade provningarna är desamma som sker under drift.
- 4 Fastställande av provningsstandarder

Punkt 1 och delar av punkterna 2 och 3 finns beskrivna i [1].

2 PROBLEMBESKRIVNING

2.1 Absorbatormaterial

Laboratorieprovningar, utomhusexponeringar under stagnation samt besiktningar av solfångare i drift omfattade både selektiva och icke-selektiva absorbatörbeläggningar. Laboratorieprovningar utfördes på 24 olika absorbatörer. Som referensmaterial användes 8 kompletta solfångare som utomhusexponerats under stagnation i 5 år, samt 17 absorbatörprover som utomhusexponerats under stagnation i 2 år i en solfångarliknande låda.

Förekommande absorbatörsubstrat var: stål, rostfritt stål, koppar och aluminium.

Absorbatorbeläggningar som ingick i projektet var

- black chrome
- black nickel på nickel
- anodiserat aluminium pigmenterat med nickel
- oxiderat rostfritt stål
- svarta färger, som t ex akrylat, alkyd,
- silikon, polyester, emalj

Av tabell 2 framgår solfångarbeteckning, substrat, ytbehandling samt uppmätta värden på α och ϵ (100 °C) före provning. För absorbatörerna 6, 9 och 15 gick det inte att bestämma α och ϵ p.g.a. deras konstruktion: aluminiumflänsar på kopparrör. Vid samtliga laboratorieprovningar användes enkelprov.

2.2 Sönderfallsfaktorer

Vid utveckling av accelererade provningsmetoder måste först klargöras i vilken miljö produkten skall användas. I nedanstående tabell ges en översikt över de vanligaste miljöfaktorerna som orsakar nedbrytning av material

Tabell 1

Solstrålning, UV-strålning
 Värme, kyla, temperaturväxlingar
 Fukt, vatten (+lösta ämnen)
 Oxygen, ozon
 Luftföroreningar (SO₂, NO_x, salter, kemiskt aggressiva partiklar i luften)
 Icke kemiskt aggressiva partiklar i luften (sand, damm och dylikt)
 Statiska laster (snö- och vindlaster)
 Slag från yttre påverkan (vid transport, hantering)
 Biologiska faktorer (svamp, bakterier, alger)
 Viss misskötsel

Av tidigare utförda provningar [1] framgår att de primära sönderfallsfaktorerna är fukt, höga temperaturer, svaveldioxid samt eventuellt UV-strålning. Utomhusmiljöns sönderfallsfaktorer verkar sällan separat, utan minst två, ofta flera faktorer samverkar. En kombinerad effekt förorsakar i allmänhet större skada än summan av de enskilda faktorernas inverkan (synergistisk effekt). Vid laboratorieprovningar kombineras vanligen två eller tre sönderfallsfaktorer.

I detta projekt har delvis den metodik använts som beskrivs i 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". Tillämpningen beskrivs i [1].

2.3 Accelererade provningar

Vid accelererade provningar förstärker man de sönderfallsfaktorer som identifierats till en högre nivå för att förkorta provningstiderna. Dock får inte förstärkningen vara så kraftig att helt nya sönderfallsreaktioner inträffar. Vid utveckling av accelererade provningsmetoder jämförs provningsresultaten fortlöpande med naturligt sönderfall under driftsbetingelser. I detta projekt har jämförelser gjorts med besiktningsresultaten som finns publicerade i [2, 3, 4, 5] samt absorbatörer som exponerats utomhus under stagnation.

Två typer av accelererade provningar har utförts i detta projekt. Dels accelererade laboratorieprovningar där några av sönderfallsfaktorerna nämnda i 2.2 intensifierades, dels utomhusexponering under stagnation av kompletta solfångare och dessutom av absorbatörprover i en solfångarliknande låda. Vid utomhusexponering under stagnation kan absorbatörns temperatur bli ca 200 °C för selektiva ytbeläggningar och ca 150 °C för icke-selektiva ytbeläggningar.

3 LABORATORIEPROVNINGAR

De accelererade laboratorieprovningarna valdes och utformades enligt 2.2 varav framgår att de primära sönderfallsfaktorerna är fukt, höga temperaturer, svaveldioxid samt eventuellt UV-strålning.

3.1 Fukt vid konstant låg temperatur

I Cleveland kondensationsskåp exponerades absorbatörprover enligt ASTM D 2247-68 (73) vid 25 °C i 4 veckor. P.g.a. att absorbatörprovernas baksidor vid denna provning är vända ut mot laboratoriet och dess temperatur på ca 20 °C sker ständig och kraftig kondensation på absorbatörprovernas ytbeläggning. Provningresultaten framgår av tabell 3.

3.2 Fukt vid konstant hög temperatur

Absorbatörprover exponerades i klimatskåp vid 90 °C och 95 % RH i 10 veckor. Provningresultaten framgår av tabell 4.

3.3 Hög temperatur

Absorbatorprover exponerades i ugn för temperaturerna 150, 200 och 250 °C i 4 veckor. Dessa temperaturer valdes med hänsyn till uppmätta stagnationstemperaturer. Provningsresultaten framgår av tabellerna 9, 10 och 11 i [1].

3.4 Svaveldioxid vid högt RH

Absorbatorprover exponerades för 0,5 ppm och 1 ppm svaveldioxidgas vid 23 °C och 95 % RH i 6 veckor. Provningsresultaten framgår av tabellerna 5 och 6.

3.5 UV-strålning och fukt

Absorbatorprover exponerades i 4 veckor i UV-CON-apparat med fluorescerande UV-lampor enligt ASTM G 53. Följande provningscykel användes:

1. 4 h UV-ljus, temperatur 60 °C på en svart panel
2. 4 h kondensation, lufttemperatur 40 °C

Provningsresultaten framgår av tabell 7.

4 UTOMHUSEXPONERING VID STAGNATION

Som referensprover användes absorbatorer som exponerats utomhus under stagnation i dels 5 dels 2 år. Ett av målen med laboratorieprovningarna var att få samma typ av sönderfallsprodukter och ungefärligen samma α och ϵ som i de utomhusexponerade absorbatorerna.

4.1 Utomhusexponering i 5 år

Kompleta solfångare utomhusexponerades under stagnation i 5 år. Efter exponeringens slut besiktigades solfångarna. Därefter demonterades solfångarna och provbitar av absorbatorerna kapades ut på vilka α och ϵ uppmättes. Provningsresultaten framgår av tabell 8.

4.2 Utomhusexponering i 2 år

Absorbatorprover utomhusexponerades under stagnation i en solfångarliknande låda i 2 år. Provningsresultaten framgår av tabell 9.

5 UTVÄRDERING AV SÖNDERFALL

Absorptansen α bestämdes genom att mäta reflektansen ($\alpha = 1-p$) i våglängdsområdet 380 - 2500 nm med en spektroradiometer Zeiss MM 12 med en klot-tillsats på detektorsidan av monokromatorn. Provföremålet bestrålades vid 0° infallsvinkel och reflekterad strålning uppsamlades i klotet. En barium-sulfattablett användes som referens. Korrektioner för provens påverkan av totala klotreflektansen samt för ströljusnivå från klottillsatsens linser gjordes vid varje våglängd. De erhållna absorptansvärdena viktades med spektralfördelningen för solstrålning efter passage av två luftmassor (airmass -2) och integrerades till ett medelvärde. Onoggrannhet $\pm 0,01$ av angivet mätvärde.

Emissiviteten ϵ bestämdes genom att jämföra strålningen från en svartkropp med strålningen från provet vid samma temperatur (100°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. Onoggrannhet $\pm 0,03$ av angivet mätvärde.

Som komplement till α - och ϵ -mätningarna har absorbatörerna 8 och 10 undersökts med svepelektronmikroskop (SEM) kopplat till energidispersiv röntgenanalysator (EDS). För samma absorbatörer redovisas också den spektrala reflektansen, efter vissa provningar, i våglängdsintervallet 380-2500 nm. Den undre kurvan i dessa diagram är spektralfördelningen för solstrålning efter passage av två luftmassor (airmass -2).

Många selektiva absorbatörer har absorptansvärden, α , större än 0,94. Dessa höga värden förutsätter vanligtvis att mikrostrukturen hos de selektiva skikten har en ytråhet med dimensioner av samma storleksordning som den infallande solstrålningen. Ett sådant selektivt skikt innehåller hålrum, och absorptionen förbättras genom otaliga reflektioner i hålrummen, resonansspridning och minskning av effektiva luftfilm-brytningsindex, vilket medför att Fresnel-reflektionen minskar [8].

Emissiviteten är ett mått på absorbatorns strålningsförluster och beror av skikt tjockleken, substratets IR-reflektans och det selektiva skiktets IR-absorptans. Betydelsen av låg emissivitet ökar med ökande drifttemperatur och minskande solinstrålning.

Ändringen av en absorbatorns absorptans och emissivitet avslöjar inte direkt några sönderfallsmekanismer. Som komplement behövs bl.a. mikroskopiska undersökningar som ger information om sprickor, blåsor, ytbeläggningens vidhäftning och skikt tjocklek, frekvens av hålrum och mikrostrukturella förändringar. Kemiska förändringar kan analyseras med t ex EDS kopplad till SEM eller med SAM (scanning Auger microprobe).

Den idag vanligaste metoden att mäta optiska förändringar hos absorbatormaterial är att mäta absorptans och emissivitet. Nyligen utförda undersökningar har emellertid visat att avsevärt absorbatrorsönderfall vanligen ger små minskningar i absorptansvärdena. Absorptansmätningar är alltså en relativt okänslig indikator på absorbatrorsönderfall. Emissivitetsvärdena däremot ökar väsentligt för selektiva absorbatorer även vid måttligt sönderfall.

Känsligheten hos en solfångares effektverkningsgrad för ändringar av absorptans (α) och emissivitet (ϵ) beror av ett antal faktorer, särskilt systemkoncentrationsförhållandet och arbetstemperaturen. I system med höga koncentrationsförhållanden, blir strålningsförlusterna (även om de varierar med T^4 K) vanligen en bråkdel av absorberad energi, och α är en mycket viktigare parameter än ϵ (6). Enligt en matematisk modell framtagen 1978 kunde konstateras att en plan solfångares prestanda ökade från 48 till 55 % när ϵ minskade från 0,9 till 0,15. Solfångaren hade en enkel täckskiva och representativa värden för isoleringens k-värde, värmebärandens flödes hastighet och andra parametrar. Ökning av α från 0,90 till 0,98 ökade solfångarens effektverkningsgrad nästan lika mycket, från 48 till 53 % (7). Modellen antog en konstant instrålning på 500 W/m^2 . Vid perioder med låg instrålning, tidigt eller sent på dagen, eller vid molnigt väder, får låga ϵ -värden allt större betydelse. Sammanfattningsvis medför en ökning av α med 0,1 att effektverkningsgraden ökar 1 till 7 gånger mer än en minskning av ϵ med 0,1 skulle göra.

Av tabellerna 3-23 framgår att α vanligen är oförändrad eller att en minskning skett. men i några få fall har α ökat något efter provning. Beträffande ϵ har provningen vanligen medfört en ökning, men i enstaka fall har minskning inträffat. Onoggrannheterna för mätvärdena är som tidigare nämnts $\pm 0,01$ för α och $\pm 0,03$ för ϵ .

De i tabellerna uppgivna Δ -värdena är beräknade utifrån uppmätta α - och ϵ -värden på ett enda referensprov från respektive absorbatortyp. Δ -värdena är alltså inte ev. ändring i α och ϵ på ett och samma provexemplar före och efter provning. Det har konstaterats att vissa absorbatorfabrikat (speciellt några med selektiv beläggning) håller ojämn kvalitet, med varierande α - och ϵ -värden som följd. Värdena varierar ibland i olika punkter på absorbatoren i en och samma solfångare. Förutom onoggrannheten i mätningarna kan alltså ett provat absorbatörprov haft bättre α - och ϵ -värden före provning, än vad referensprovet har haft. Men i några fall kan nog en viss provningsmiljö medfört att de optiska egenskaperna förbättrats hos någon absorbatortyp.

Tabell 2

Förteckning över absorbatörer som ingick i undersökningen

Nr	Substrat	Ytbeläggning
1	Aluminium	Svart färg
2	Rostfritt stål	Blue stainless steel
3	Aluminium	Svart färg (akrylat)
4	Aluminium	Svart färg (silikon)
5	Stål	Black chrome
7	Stål	Svart emalj-färg
8	Aluminium	Anodisering + nickel
10	Koppar	Black chrome
11	Stål	Svart färg (alkyd)
12	Aluminium	Anodisering
13	Rostfritt stål	Blue stainless steel
14	Aluminium	Svart färg
16	Rostfritt stål	Maxorb-tape*
17	Aluminium	Svart färg (polyester)
18	Stål	Maxorb-tape*
19	Rostfritt stål	Maxorb-tape*
20	Aluminium	Maxorb-tape*
21	Koppar	Maxorb-tape*
22	Rostfritt stål	Skysorb**
23	Koppar	Cusorb***
24	Koppar	Black chrome

*) Black nickel på Ni-folie

**) Oxiderat rostfritt stål

***) Black nickel på Ni på Cu

Tabell 3

Absorbator nr 1
 Substrat Aluminium
 Ytbeläggning Svart färg

Före provning (referensexemplar):

$\alpha = 0,95$

$\epsilon (100 \text{ }^\circ\text{C}) = 0,90$

Provning	α	$\Delta \alpha$	ϵ (100 °C)	$\Delta \epsilon$ (100 °C)
ASTM D 2247 Kondens, 25 °C, 4 v	0,95	0	0,89	-0,01
90 °C, 95 % RH, 10 v	0,96	+0,01	0,90	0
23 °C, 95 % RH, 0,5 ppm SO ₂ , 6 v	0,96	+0,01	0,91	+0,01
23 °C, 95 % RH, 1 ppm SO ₂ , 6 v	0,95	0	0,92	+0,02
ASTM G 53, UV, fukt, 4 v	0,94	-0,01	0,91	+0,01
Stagnation utomhus, 2 år	0,94	-0,01	0,88	-0,02

Tabell 4

Absorbator nr 2
 Substrat Rostfritt stål
 Ytbeläggning Blue stainless steel

Före provning (referensexemplar):

$\alpha = 0,92$

$\epsilon (100 \text{ }^\circ\text{C}) = 0,18$

Provning	α	$\Delta \alpha$	ϵ (100 $^\circ\text{C}$)	$\Delta \epsilon$ (100 $^\circ\text{C}$)
ASTM D 2247 Kondens, 25 $^\circ\text{C}$, 4 v	0,91	-0,01	0,24	+0,06
90 $^\circ\text{C}$, 95 % RH, 10 v	0,77	-0,15	0,24	+0,06
23 $^\circ\text{C}$, 95 % RH, 0,5 ppm SO_2 , 6 v	0,89	-0,03	0,21	+0,03
23 $^\circ\text{C}$, 95 % RH, 1 ppm SO_2 , 6 v	0,87	-0,05	0,23	+0,05
ASTM G 53, UV, fukt, 4 v	0,87	-0,05	0,21	+0,03
Stagnation utomhus, 5 år	0,86 0,86	-0,06 -0,06	0,21 0,21	+0,03 +0,03
Stagnation utomhus, 2 år	0,84	-0,08	0,29	+0,11

Tabell 5

Absorbator nr 3
 Substrat Aluminium
 Ytbeläggning Svart färg (akrylat)

Före provning (referensexemplar):

α = 0,96

ϵ (100 °C) = 0,93

Provning	α	$\Delta \alpha$	ϵ (100 °C)	$\Delta \epsilon$ (100 °C)
ASTM D 2247 Kondens, 25 °C, 4 v	0,96	0	0,94	+0,01
90 °C, 95 % RH, 10 v	0,96	0	0,94	+0,01
23 °C, 95 % RH, 0,5 ppm SO ₂ , 6 v	0,96	0	0,94	+0,01
23 °C, 95 % RH, 1 ppm SO ₂ , 6 v	0,96	0	0,94	+0,01
ASTM G 53, UV, fukt, 4 v	0,96	0	0,93	0
Stagnation utomhus, 2 år	0,95	-0,01	0,95	+0,02

Tabell 6

Absorbator nr 4
 Substrat Aluminium
 Ytbeläggning Svart färg (silikon)

Före provning (referensexemplar):

α = 0,94

ϵ (100 °C) = 0,89

Provning	α	$\Delta \alpha$	ϵ (100 °C)	$\Delta \epsilon$ (100 °C)
ASTM D 2247 Kondens, 25 °C, 4 v	0,95	+0,01	0,92	+0,03
90 °C, 95 % RH, 10 v	0,95	+0,01	0,92	+0,03
23 °C, 95 % RH, 0,5 ppm SO ₂ , 6 v	0,95	+0,01	0,91	+0,02
23 °C, 95 % RH, 1 ppm SO ₂ , 6 v	0,95	+0,01	0,92	+0,03
ASTM G 53, UV, fukt, 4 v	0,96	+0,02	0,89	0
Stagnation utomhus, 5 år	0,95 0,95	+0,01 +0,01	0,90 0,89	+0,01 0
Stagnation utomhus, 2 år	0,94	0	0,87	-0,02

Tabell 7

Absorbator nr 5
 Substrat Stål
 Ytbeläggning Black Chrome

Före provning (referensexemplar):

$\alpha = 0,98$

$\epsilon (100 \text{ }^\circ\text{C}) = 0,23$

Provning	α	$\Delta \alpha$	ϵ (100 °C)	$\Delta \epsilon$ (100 °C)
ASTM D 2247 Kondens, 25 °C, 4 v	0,97	-0,01	0,20	-0,03
90 °C, 95 % RH, 10 v	0,98	0	0,18	-0,05
23 °C, 95 % RH, 0,5 ppm SO ₂ , 6 v	0,98	0	0,20	-0,03
23 °C, 95 % RH, 1 ppm SO ₂ , 6 v	0,87	-0,12	0,21	-0,02
ASTM G 53, UV, fukt, 4 v	0,98	0	0,22	-0,01
Stagnation utomhus, 5 år	0,96 0,96	-0,02 -0,02	0,12 0,10	-0,11 -0,13
Stagnation utomhus, 2 år	0,97	-0,01	0,18	-0,05

Tabell 8

Absorbator nr 7
 Substrat Stål
 Ytbeläggning Svart emaljfärg

Före provning (referensexemplar):

$\alpha = 0,97$

$\epsilon (100 \text{ }^\circ\text{C}) = 0,91$

Provning	α	$\Delta \alpha$	ϵ (100 $^\circ\text{C}$)	$\Delta \epsilon$ (100 $^\circ\text{C}$)
ASTM D 2247 Kondens, 25 $^\circ\text{C}$, 4 v	0,95	-0,02	0,95	+0,04
90 $^\circ\text{C}$, 95 % RH, 10 v	0,95	-0,02	0,90	-0,01
23 $^\circ\text{C}$, 95 % RH, 0,5 ppm SO_2 , 6 v	0,94	-0,03	0,90	-0,01
23 $^\circ\text{C}$, 95 % RH, 1 ppm SO_2 , 6 v	0,96	-0,01	0,85	-0,06
ASTM G 53, UV, fukt, 4 v	0,95	-0,02	0,90	-0,01
Stagnation utomhus, 5 år	0,95 0,94	-0,02 -0,03	0,91 0,93	0 +0,02
Stagnation utomhus, 2 år	0,94	-0,03	0,90	-0,01

Tabell 9

Absorbator nr 8
 Substrat Aluminium
 Ytbeläggning Anodisering pigmenterad med nickel

Före provning (referensexemplar):

α = 0,98

ϵ (100 °C) = 0,14

Provning	α	$\Delta \alpha$	ϵ (100 °C)	$\Delta \epsilon$ (100 °C)	
ASTM D 2247	0,91	-0,07	0,12	-0,02	
Kondens, 25 °C, 4 v					
90 °C, 95 % RH, 10 v	0,92	-0,06	0,23	+0,09	
23 °C, 95 % RH, 0.5 ppm SO ₂ , 6 v	0,94	-0,04	0,26	+0,12	
23 °C, 95 % RH, 1 ppm SO ₂ , 6 v	0,87	-0,11	0,15	+0,01	
ASTM G 53, UV, fukt, 4 v	0,91	-0,07	0,21	+0,07	
Stagnation utomhus, 5 år	*	0,93	-0,05	0,11	-0,03
	*	0,95	-0,03	0,12	-0,02
	**	0,91	-0,07	0,58	+0,44
	**	0,93	-0,05	0,51	+0,37
Stagnation utomhus, 2 år		0,96	-0,02	0,25	+0,11

* Prover från absorbatorns
 övre del

** Prover från absorbatorns
 nedre del

Tabell 10

Absorbator nr 10
 Substrat Koppar
 Ytbeläggning Black chrome

Före provning (referensexemplar):

$\alpha = 0,97$

$\epsilon (100 \text{ }^\circ\text{C}) = 0,44$

Provning	α	$\Delta \alpha$	ϵ (100 $^\circ\text{C}$)	$\Delta \epsilon$ (100 $^\circ\text{C}$)
ASTM D 2247 Kondens, 25 $^\circ\text{C}$, 4 v	0,97	0	0,39	-0,05
90 $^\circ\text{C}$, 95 % RH, 10 v	0,97	0	0,50	+0,06
23 $^\circ\text{C}$, 95 % RH, 0,5 ppm SO_2 , 6 v	0,96	-0,01	0,61	+0,17
23 $^\circ\text{C}$, 95 % RH, 1 ppm SO_2 , 6 v	0,95	-0,02	0,66	+0,22
ASTM G 53, UV, fukt, 4 v	0,97	0	0,45	+0,01
Stagnation utomhus, 5 år	0,84 0,85	-0,13 -0,12	0,44 0,45	0 +0,01

Tabell 11

Absorbator nr 11
 Substrat Stål
 Ytbeläggning Svart färg (alkyd)

Före provning (referensexemplar):

α = 0,96

ϵ (100 °C) = 0,92

Provning	α	$\Delta \alpha$	ϵ (100 °C)	$\Delta \epsilon$ (100 °C)
ASTM D 2247 Kondens, 25 °C, 4 v	0,95	-0,01	0,89	-0,03
90 °C, 95 % RH, 10 v	0,95	-0,01	0,90	-0,02
23 °C, 95 % RH, 0,5 ppm SO ₂ , 6 v	0,96	0	0,92	0
23 °C, 95 % RH, 1 ppm SO ₂ , 6 v	0,96	0	0,94	+0,02
ASTM G 53, UV, fukt, 4 v	0,96	0	0,92	0
Stagnation utomhus, 5 år	0,96 0,95	0 -0,01	0,92 0,90	0 -0,02
Stagnation utomhus, 2 år	0,95	-0,01	0,90	-0,02

Tabell 12

Absorbator nr 12
 Substrat Aluminium
 Ytbeläggning Anodisering (svartpigmenterad)

Före provning (referensexemplar):

α = 0,99

ϵ (100 °C) = 0,17

Provning	α	$\Delta \alpha$	ϵ (100 °C)	$\Delta \epsilon$ (100 °C)
ASTM D 2247 Kondens, 25 °C, 4 v	0,95	-0,04	0,18	+0,01
90 °C, 95 % RH, 10 v	0,95	-0,04	0,20	+0,03
23 °C, 95 % RH, 0,5 ppm SO ₂ , 6 v	0,92	-0,07	0,17	0
23 °C, 95 % RH, 1 ppm SO ₂ , 6 v	0,85	-0,14	0,18	+0,01
ASTM G 53, UV, fukt, 4 v	0,94	-0,05	0,34	+0,17
Stagnation utomhus, 2 år	0,92	-0,07	0,19	+0,02

Tabell 13

Absorbator nr 13
 Substrat Rostfritt stål
 Ytbeläggning Blue stainless steel

Före provning (referensexemplar):

α = 0,93

ϵ (100 °C) = 0,15

Provning	α	$\Delta \alpha$	ϵ (100 °C)	$\Delta \epsilon$ (100 °C)
ASTM D 2247 Kondens, 25 °C, 4 v	0,93	0	0,16	+0,01
90 °C, 95 % RH, 10 v	0,90	-0,03	0,13	-0,02
23 °C, 95 % RH, 0,5 ppm SO ₂ , 6 v	0,94	+0,01	0,17	+0,02
23 °C, 95 % RH, 1 ppm SO ₂ , 6 v	0,88	-0,05	0,16	+0,01
ASTM G 53, UV, fukt, 4 v	0,92	-0,01	0,17	+0,02
Stagnation utomhus, 2 år	0,91	-0,02	0,16	+0,01

Tabell 14

Absorbator nr 14
 Substrat Aluminium
 Ytbeläggning Svart färg

Före provning (referensexemplar):

$\alpha = 0,99$

$\epsilon (100 \text{ }^\circ\text{C}) = 0,95$

Provning	α	$\Delta \alpha$	ϵ (100 °C)	$\Delta \epsilon$ (100 °C)
ASTM D 2247 Kondens, 25 °C, 4 v	0,98	-0,01	0,96	+0,01
90 °C, 95 % RH, 10 v	0,98	-0,01	0,97	+0,02
23 °C, 95 % RH, 0,5 ppm SO ₂ , 6 v	0,98	-0,01	0,97	+0,02
23 °C, 95 % RH, 1 ppm SO ₂ , 6 v	0,98	-0,01	0,95	0
ASTM G 53, UV, fukt, 4 v	0,98	-0,01	0,97	+0,02
Stagnation utomhus, 2 år	0,94	-0,05	0,85	-0,10

Tabell 15

Absorbator nr 16
 Substrat Rostfritt stål
 Ytbeläggning Maxorb

Före provning (referensexemplar):

α = 0,98

ϵ (100 °C) = 0,11

Provning	α	$\Delta \alpha$	ϵ (100 °C)	$\Delta \epsilon$ (100 °C)
ASTM D 2247 Kondens, 25 °C, 4 v	0,97	-0,01	0,08	-0,03
90 °C, 95 % RH, 10 v	0,96	-0,02	0,09	-0,02
23 °C, 95 % RH, 0,5 ppm SO ₂ , 6 v	0,73	-0,25	0,66	+0,55
23 °C, 95 % RH, 1 ppm SO ₂ , 6 v	0,83	-0,15	0,79	+0,68
ASTM G 53, UV, fukt, 4 v	0,96	-0,02	0,10	-0,01
Stagnation utomhus, 2 år	0,95	-0,03	0,12	+0,01

Tabell 16

Absorbator nr 17
 Substrat Aluminium
 Ytbeläggning Svart färg (polyester)

Före provning (referensexemplar):

α = 0,96

ϵ (100 °C) = 0,89

Provning	α	$\Delta \alpha$	ϵ (100 °C)	$\Delta \epsilon$ (100 °C)
ASTM D 2247 Kondens, 25 °C, 4 v	0,96	0	0,90	+0,01
90 °C, 95 % RH, 10 v	0,97	+0,01	0,89	0
23 °C, 95 % RH, 0,5 ppm SO ₂ , 6 v	0,96	0	0,90	+0,01
23 °C, 95 % RH, 1 ppm SO ₂ , 6 v	0,91	-0,05	0,93	+0,04
ASTM G 53, UV, fukt, 4 v	0,95	-0,01	0,84	-0,05
Stagnation utomhus, 2 år	0,98	+0,02	0,95	+0,06

Tabell 17

Absorbator nr 18
 Substrat Stål
 Ytbeläggning Maxorb

Före provning (referensexemplar):

α = 0,96
 ϵ (100 °C) = 0,08

Provning	α	$\Delta \alpha$	ϵ (100 °C)	$\Delta \epsilon$ (100 °C)
ASTM D 2247 Kondens, 25 °C, 4 v	0,96	0	0,11	+0,03
90 °C, 95 % RH, 10 v	0,93	-0,03	0,07	-0,01
23 °C, 95 % RH, 0,5 ppm SO ₂ , 6 v	0,88	-0,08	0,49	+0,41
23 °C, 95 % RH, 1 ppm SO ₂ , 6 v	0,85	-0,11	0,82	+0,74
ASTM G 53, UV, fukt, 4 v	0,96	0	0,10	+0,02

Tabell 18

Absorbator nr 19
 Substrat Rostfritt stål
 Ytbeläggning Maxorb

Före provning (referensexemplar):

$\alpha = 0,96$

$\epsilon (100 \text{ }^\circ\text{C}) = 0,07$

Provning	α	$\Delta \alpha$	ϵ (100 °C)	$\Delta \epsilon$ (100 °C)
ASTM D 2247 Kondens, 25 °C, 4 v	0,96	0	0,10	+0,03
90 °C, 95 % RH, 10 v	0,94	-0,02	0,07	0
23 °C, 95 % RH, 0,5 ppm SO ₂ , 6 v	0,87	-0,09	0,50	+0,43
23 °C, 95 % RH, 1 ppm SO ₂ , 6 v	0,83	-0,13	0,65	+0,58
ASTM G 53, UV, fukt, 4 v	0,96	0	0,10	+0,03

Tabell 19

Absorbator nr 20
 Substrat Aluminium
 Ytbeläggning Maxorb

Före provning (referensexemplar):

$\alpha = 0,97$
 $\epsilon (100 \text{ }^\circ\text{C}) = 0,11$

Provning	α	$\Delta \alpha$	ϵ (100 $^\circ\text{C}$)	$\Delta \epsilon$ (100 $^\circ\text{C}$)
ASTM D 2247 Kondens, 25 $^\circ\text{C}$, 4 v	0,96	-0,01	0,13	+0,02
90 $^\circ\text{C}$, 95 % RH, 10 v	0,95	-0,02	0,10	-0,01
23 $^\circ\text{C}$, 95 % RH, 0,5 ppm SO_2 , 6 v	0,90	-0,07	0,58	+0,47
23 $^\circ\text{C}$, 95 % RH, 1 ppm SO_2 , 6 v	0,85	-0,12	0,78	+0,67
ASTM G 53, UV, fukt, 4 v	0,96	-0,01	0,13	+0,02

Tabell 20

Absorbator nr 21
 Substrat Koppar
 Ytbeläggning Maxorb

Före provning (referensexemplar):

$\alpha = 0,96$

$\epsilon (100 \text{ }^\circ\text{C}) = 0,08$

Provning	α	$\Delta \alpha$	ϵ (100 $^\circ\text{C}$)	$\Delta \epsilon$ (100 $^\circ\text{C}$)
ASTM D 2247 Kondens, 25 $^\circ\text{C}$, 4 v	0,95	-0,01	0,09	+0,01
90 $^\circ\text{C}$, 95 % RH, 10 v	0,93	-0,03	0,08	0
23 $^\circ\text{C}$, 95 % RH, 0,5 ppm SO_2 , 6 v	0,90	-0,06	0,62	+0,54
23 $^\circ\text{C}$, 95 % RH, 1 ppm SO_2 , 6 v	0,88	-0,08	0,16	+0,08
ASTM G 53, UV, fukt, 4 v	0,95	-0,01	0,10	+0,02

Tabell 21

Absorbator nr 22
 Substrat Rostfritt stål
 Ytbeläggning Skysorb

Före provning (referensexemplar):

$\alpha = 0,92$

$\epsilon (100 \text{ } ^\circ\text{C}) = 0,11$

Provning	α	$\Delta \alpha$	ϵ (100 $^\circ\text{C}$)	$\Delta \epsilon$ (100 $^\circ\text{C}$)
ASTM D 2247 Kondens, 25 $^\circ\text{C}$, 4 v	0,91	-0,01	0,13	+0,02
90 $^\circ\text{C}$, 95 % RH, 10 v	0,92	0	0,12	+0,01
23 $^\circ\text{C}$, 95 % RH, 0,5 ppm SO ₂ , 6 v	0,93	+0,01	0,15	+0,04
23 $^\circ\text{C}$, 95 % RH, 1 ppm SO ₂ , 6 v	0,91	-0,01	0,13	+0,02
ASTM G 53, UV, fukt, 4 v	0,91	-0,01	0,13	+0,02

Tabell 22

Absorbator nr 23
 Substrat Koppar
 Ytbeläggning Cusorb

Före provning (referensexemplar):

α = 0,99

ϵ (100 °C) = 0,11

Provning	α	$\Delta \alpha$	ϵ (100 °C)	$\Delta \epsilon$ (100 °C)
ASTM D 2247 Kondens, 25 °C, 4 v	0,98	-0,01	0,11	0
90 °C, 95 % RH, 10 v	0,98	-0,01	0,13	+0,02
23 °C, 95 % RH, 0,5 ppm SO ₂ , 6 v	0,94	-0,05	0,37	+0,26
23 °C, 95 % RH, 1 ppm SO ₂ , 6 v	0,95	-0,04	0,19	+0,08
ASTM G 53, UV, fukt, 4 v	0,98	-0,01	0,14	+0,03

Tabell 23

Absorbator nr 24
 Substrat Koppär
 Ytbeläggning Black chrome

Före provning (referensexemplar):

α = 0,98

ϵ (100 °C) = 0,10

Provning	α	$\Delta \alpha$	ϵ (100 °C)	$\Delta \epsilon$ (100 °C)
ASTM D 2247 Kondens, 25 °C, 4 v	0,97	-0,01	0,09	-0,01
90 °C, 95 % RH, 10 v	0,97	-0,01	0,38	+0,28
23 °C, 95 % RH, 0,5 ppm SO ₂ , 6 v	0,96	-0,02	0,15	+0,05
23 °C, 95 % RH, 1 ppm SO ₂ , 6 v	0,95	-0,03	0,23	+0,13
ASTM G 53, UV, fukt, 4 v	0,96	-0,02	0,10	0

6 RESULTAT

6.1 Provningar

6.1.1 Svart färg på aluminium

Provning med fukt vid 25 och 90 °C orsakade inga ändringar i α och ϵ . Inte heller provning i 0,5 och 1 ppm SO₂ hade någon effekt. Vid 150 °C hände ingenting, men vid 200 och 250 °C kritade färgen. UV-strålning hade ingen effekt. Utomhusexponering under stagnation i 2 år orsakade inget sönderfall.

6.1.2 Blue stainless steel

Provning vid 25 °C med ständig kondensation i 4 veckor resulterade i en ökning av ϵ . Vid 90 °C och 95 % RH minskade α och ϵ ökade. Samma sak observerades efter provning i 0,5 och 1 ppm SO₂. Provning vid temperaturer upp till 250 °C hade ingen effekt. UV-strålning orsakade minskning av α och ökning av ϵ . Samma resultat erhöles efter utomhusexponering under stagnation i 2 respektive 5 år.

6.1.3 Svart akrylatfärg på aluminium

Fukt vid 25 och 90 °C hade ingen effekt. Inte heller 0,5 och 1 ppm SO₂. Vid 150 °C kunde ingen förändring observeras, men vid 200 och 250 °C ändrades färgen till brun och kraftig kritning inträffade. UV-strålning hade ingen effekt. Utomhusexponering under stagnation i 2 år orsakade inget sönderfall.

6.1.4 Svart silikonfärg på aluminium

Vid provning med fukt vid 25 och 90 °C ökade ϵ . Provning vid 0,5 ppm SO₂ orsakade inget sönderfall men vid 1 ppm SO₂ ökade ϵ en aning. Vid 150 °C hände ingenting, men vid 200 °C blev färgen matt och vid 250 °C övergick färgen till grått. UV-strålning hade ingen effekt. Inte heller utomhusexponering under stagnation i 2 respektive 5 år hade någon effekt.

6.1.5 Black chrome på stål

Fukt vid 25 och 90 °C hade ingen effekt. Inte heller 0,5 ppm SO₂. Men 1 ppm SO₂ orsakade en minskning i α från 0,98 till 0,87. Temperaturer upp till 250 °C ändrade inte de optiska egenskaperna. Inte heller UV-strålning. Utomhusexponering under stagnation i 2 respektive 5 år orsakade inget materialsönderfall.

6.1.6 Svart emalj på stål

Ständig kondens vid 25 °C i 4 veckor orsakade en ökning av ϵ . Fukt vid 90 °C hade ingen effekt. 0,5 ppm SO₂ gjorde att α minskade något. Men konstigt nog orsakade 1 ppm SO₂ ingen ändring av de optiska egenskaperna. Temperaturer upp till 250 °C var utan synbar effekt. Inte heller UV-strålning. Utomhusexponering under stagnation i 2 respektive 5 år resulterade i en liten minskning av α .

6.1.7 Anodiserat aluminium dopat med nickel

Ständig kondens vid 25 °C i 4 veckor resulterade i att α minskade. 90 °C och 95 % RH i 10 veckor orsakade minskning av α och ökning av ϵ . Samma effekt uppmättes efter provning i 0,5 ppm SO₂. Provning i 1 ppm SO₂ orsakade minskning i α . Temperaturer upp till 250 °C var utan effekt. UV-strålning med cyklisk kondensation orsakade minskning av α och ökning av ϵ . Detta torde bero på kondensationen enbart. Uppenbarligen är denna absorberator känslig för fukt. Utomhusexponering under stagnation i 5 år resulterade i att α minskade och att ϵ ökade från 0,14 till ca 0,55. Detta gäller ett absorberprov taget från absorberatorns nedersta del. Utomhusexponering i 2 år orsakade också minskning av α och ökning av ϵ .

6.1.8 Black chrome på koppar

Ständig kondens vid 25 °C i 4 veckor hade ingen effekt, men 95 % RH vid 90°C i 10 veckor gjorde att ϵ ökade. Provning i 0,5 och 1 ppm SO₂ orsakade att ϵ ökade. Temperaturer upp till 250 °C orsakade inga förändringar i de optiska egenskaperna. Utomhusexponering under stagnation i 5 år gjorde att α minskade.

6.1.9 Svart alkydfärg på stål

Fukt vid 25 och 90 °C hade ingen effekt, inte heller 0,5 och 1 ppm SO₂. 150 °C orsakade ingen visuell förändring, men vid 200 °C blev färgen matt och vid 250 °C blev färgen ännu mattare med inslag av vita fläckar. UV-strålning hade ingen effekt. Utomhusexponering under stagnation i 2 respektive 5 år orsakade inget sönderfall.

6.1.10 Anodiserat aluminium med selektiv beläggning

Fukt vid 25 °C orsakade minskning av α och 95 % RH vid 90 °C resulterade i minskning av α och ökning av ϵ . Provning i 0,5 och 1 ppm SO₂ gav minskningar av α . Temperaturer upp till 250 °C hade ingen effekt. UV-strålning med cyklisk kondensation orsakade minskning av α och ökning av ϵ . Detta torde bero på inverkan av kondensationscyklerna. Utomhusexponering under stagnation i 2 år gav en minskning av α .

6.1.11 Blue stainless steel

Ständig kondens vid 25 °C i 4 veckor hade ingen effekt men fukt vid 90 °C orsakade en liten minskning av α . 0,5 ppm SO₂ orsakade inga förändringar av de optiska egenskaperna, men 1 ppm SO₂ medförde en minskning av α . Höga temperaturer upp till 250 °C hade ingen effekt, ej heller UV-ljus med kondensation. Utomhusexponering vid stagnation i 2 år klarades utan förändringar av α och ϵ .

6.1.12 Aluminium med svart färg

Provning i fukt vid 25 och 90 °C orsakade inga förändringar, ej heller provning i SO₂-haltig atmosfär. Höga temperaturer upp till 250 °C hade ingen effekt, ej heller UV-ljus med kondensation. Utomhusexponering vid stagnation i 2 år resulterade i att α minskade.

6.1.13 Maxorb på rostfritt stål

Provning i fukt vid 25 och 90 °C hade ingen effekt. 0,5 och 1 ppm SO₂ orsakade minskning av α och avsevärd ökning av ϵ . Vid 200 och 250 °C lossnade Maxorb-tapen delvis. UV-ljus med kondensation klarades utan problem. Likaså utomhusexponering vid stagnation i 2 år.

6.1.14 Svart polyesterfärg på aluminium

Provning i fukt vid 25 och 90 °C orsakade inga ändringar i α och ϵ . 0,5 ppm SO₂ hade ingen effekt, men 1 ppm SO₂ gjorde att α minskade och ϵ ökade. Vid 200 och 250 °C blev färgen matt. UV-ljus med kondensation hade ingen effekt. Utomhusexponering vid stagnation i 2 år resulterade i en ökning av ϵ .

6.1.15 Maxorb på stål

Ständig kondens vid 25 °C orsakade en liten ökning av ϵ , men α ändrades inte. Å andra sidan orsakade fukt vid 90 °C en liten minskning av α , men ϵ ändrades inte. Provning i 0,5 och 1 ppm SO₂ orsakade minskningar av α och avsevärda ökningar av ϵ . UV-ljus med kondens hade ingen effekt.

6.1.16 Maxorb på rostfritt stål

Provning med ständig kondens vid 25 °C resulterade i en liten ökning av ϵ . Provning i fukt vid 90 °C hade ingen effekt. Vid 0,5 och 1 ppm SO₂ erhöjls minskningar i α och avsevärda ökningar av ϵ . UV-ljus med kondens gav en liten ökning av ϵ .

6.1.17 Maxorb på aluminium

Kondens vid 25 °C och hög luftfuktighet vid 90 °C hade ingen effekt. 0,5 och 1 ppm SO₂ orsakade minskningar av α och avsevärda ökningar av ϵ . UV-ljus med kondens åstadkom inga ändringar av α och ϵ .

6.1.18 Maxorb på koppar

Ständig kondens vid 25 °C hade ingen effekt. Fukt vid 90 °C orsakade en liten minskning av α . Provning i 0,5 och 1 ppm SO₂ resulterade i minskningar av α och ökningar av ϵ . UV-ljus med kondens hade ingen effekt.

6.1.19 Skysorb på rostfritt stål

Kondens vid 25 °C och hög relativ luftfuktighet vid 90 °C hade ingen effekt. 0,5 ppm SO₂ orsakade en liten ökning av ϵ , men vid 1 ppm SO₂ orsakades inga signifikanta ändringar av α och ϵ . UV-ljus med kondens hade ingen effekt.

6.1.20 Cusorb på koppar

Kondens vid 25 °C och hög fuktighet vid 90 °C hade ingen effekt, 0,5 och 1 ppm SO₂ orsakade minskningar av α och ökningar av ϵ . UV-ljus med kondens gav en liten ökning av ϵ .

6.1.21 Black chrome på koppar

Ständig kondens vid 25 °C hade ingen effekt. Högt luftfuktighet vid 90 °C orsakade en ökning av ϵ . Provning i 0,5 ppm SO₂ resulterade i en ökning av ϵ och 1 ppm SO₂ gav minskning av α och ökning av ϵ . UV-ljus med kondens hade ingen effekt.

6.2 SEM- och röntgenundersökningar

6.2.1 Anodiserat aluminium dopat med nickel.

Denna absorbator har nummer 8 i tabellerna 3-23.

Se röntgendiagram 1-5 och SEM-fotografier 1-5.

Diagram 1 visar en spritt ny absorbator, med dominerande toppar från Al (substratet) och Ni (ingår i ytbeläggningen) samt mindre toppar från Fe, Cu, Ni och Zn. Bild 1 visar ett SEM-fotografi av samma yta vid 5000 gångers förstoring.

Röntgendiagram 2 visar spektret från ett prov som är taget från absorbatoren i en solfångare som exponerats utomhus under stagnation i fem år. Provet är taget från absorbatorns nedre del som var matt gråaktig till färgen, medan övre delen (ca 4/5-delar av ytan) såg helt intakt ut. Som synes är topparna för Cu och Zn borta, medan Fe-toppen tycks vara kvar. EDS-analys gav följande resultat:

Tabell 11

Element och linje	Viktprocent	Atomprocent	Noggrannhet 2 sigma
Al, KA	99,99	89,69	1,06
P, KA	0,37	0,29	0,08
S, KA	0,68	0,52	0,10
Cl, KA	0,20	0,14	0,05
Ni, KA	22,74	9,37	0,68
Totalt	123,98		

Enligt EDS-analysen tycks spår av S finnas på absorATORYtan. Bild 2 visar ett SEM-fotografi av samma yta vid 2000 gångers förstoring. Ytans struktur är nu mycket kornig. α har minskat från 0,98 till 0,90 och ϵ har ökat från 0,14 till 0,58.

Röntgendiagram 3 är i stort sett identiskt med diagram 1, varför 10 veckors provning vid 90 °C och 95 % RH inte har medfört någon väsentlig ändring av absorbatorns kemiska sammansättning. α har dock minskat från 0,98 till 0,92 och ϵ har ökat från 0,14 till 0,23. SEM-bilderna 1 och 3 har samma förstoring, 5000 gånger, och här kan noteras att den ytstruktur med små gropar som finns på bild 1 nu blivit stora kratrar på bild 3.

Diagram 4 visar röntgenspektret för absorbatorprov som exponerats 6 veckor i atmosfär med 0,5 ppm SO₂ vid 23 °C och 95 % RH. Al- och Ni-topparna finns kvar, och i viss mån Fe-toppen, men Cu- och Zn-topparna är i stort sett borta. Men en skarp S-topp har tillkommit. EDS-analys gav följande resultat:

Tabell 12

Element- och linje	Vikt- procent	Atom- procent	Noggrannhet 2 sigma
Al, KA	99,99	93,37	0,83
P, KA	0,88	0,72	0,11
S, KA	3,35	2,63	0,18
Fe, KA	0,27	0,12	0,06
Ni, KA	7,36	3,16	0,33
Totalt	111,86		

SEM-bild 4 har förstoringen 5500. Vissa gropar i strukturen har blivit större och områdena mellan gropar och kratrar tycks ha blivit utslätade. Dessutom finns två sprickor uppifrån och ned i bildens mitt.

Efter exponering i 6 veckor i atmosfär med 1 ppm SO₂ vid 23 °C och 95 % RH upptogs röntgenspektrum nr 5. Nu återstår Al-toppen, endast en Ni-topp och en S-topp har tillkommit som är ungefär lika stor som Ni-toppen. Jämfört med den icke provade absorbatoren har α minskat från 0,98 till 0,87 och ϵ har ökat från 0,14 till 0,15. SEM-bild 5 tyder på en fullständig förvandling av absorbatoren. Den ursprungliga ytstrukturen från bild 1 är i stort sett utslätad och ytbeläggningen är nu genomkorsad av sprickor. Förstoring 5000.

6.2.2 Black chrome på koppar.

Denna absorbator har nummer 10 i tabellerna 3-23.

Se röntgendiagram 6-10 och SEM-fotografier 6-10.

Diagram 6 visar röntgenspektrum för en helt ny absorbator med toppar för Cr (2 st), Ni (2 st) och Cu (substratet). Kopparsubstratet har sannolikt ytbehandlats med ett tunt nickelskikt innan det selektiva black chrome-skiktet applicerats. Emissiviteten ϵ är anmärkningsvärt hög för att vara uppmätt på en spritt ny absorbator vilket tyder på att något moment vid tillverkningen har misslyckats. SEM-foto 6 visar ytans utseende vid 1500 gångers förstoring.

I diagram 7 ses röntgenspektrum för en absorbator som utomhusexponerats 5 år i en komplett solfångare under stagnation. α har minskat från 0,97 till 0,84, medan ϵ är oförändrat 0,44. En topp för S har tillkommit. SEM-foto 7 visar ytans utseende vid 1000 gångers förstoring. Ytstrukturen har blivit grovkornig.

Diagram 8 visar röntgenspektrum för absorbatorprov som exponerats i klimatskåp i 10 veckor vid 90 °C och 95 % RH. Det överensstämmer nästan exakt med spektrum för ny absorbator. α -värdena är också desamma medan ϵ ökat något. SEM-fotografi 8 är inte olik foto 6.

I diagram 9 ses röntgenspektrum efter provning 6 veckor i 0,5 ppm SO₂ vid 23 °C och 95 % RH. α är oförändrat medan ϵ har ökat. Spektrumet är nästan identiskt med spektrum från absorbatorn som utomhusexponerats i 5 år. Det finns t ex en topp för S. SEM-foto 9 visar absorbatorytan vid 270 gångers förstoring. Utspritt över ytan finns nu stora krustor.

Diagram 10 visar spektrum efter provning 6 veckor i 1 ppm SO₂ vid 23 °C och 95 % RH. Svaveltoppen är nu nästan lika stor som närmaste kromtopp till höger. Foto 10 visar ytans utseende vid 1500 gångers förstoring. Den verkar oskadad, men åtminstone 3 mörka blåsor finns på bilden. α är i stort sett oförändrat medan ϵ ökat något.

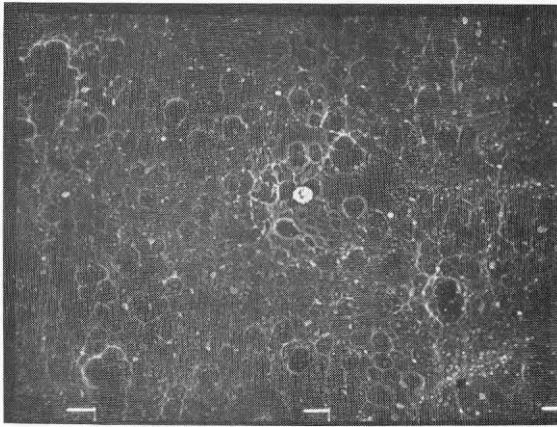
6.3 Mätning av spektral reflektans

För provade absorbatorer 8 och 10 visas spektrala reflektanskurvor i diagram 11-25. Mätningarna är gjorda i våglängdsområdet 380-2500 nm, och ligger till grund för tidigare redovisade α -värden. Mätmetodiken beskrivs i avsnitt 5.

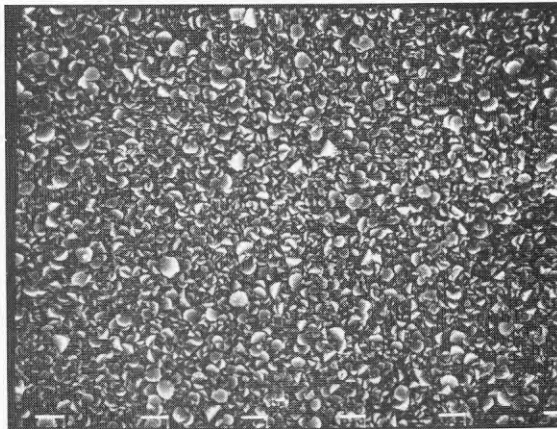
Någon systematik mellan reflektanskurvorna och materialsammansättning enligt EDS har inte gått att finna.

REFERENSER

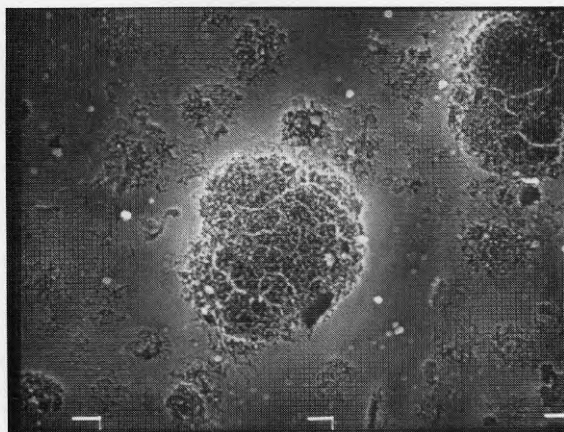
- 1 H. Wennerholm, Plana termiska solfångare. Utveckling av metoder för provning av åldrings- och korrosionsegenskaper, BFR-rapport R85:1983.
- 2 H. Wennerholm, K-O. Lagerkvist, Åldrings- och korrosionsproblem hos plana termiska solfångare, SP-RAPP 1979:4.
- 3 K-O. Lagerkvist, H. Wennerholm, Solfångares hållbarhet, BFR-rapport R127:1980.
- 4 K-O. Lagerkvist, H. Wennerholm, Solfångares hållbarhet och tillförlitlighet, SP-RAPP 1983:41.
- 5 H. Wennerholm, B. Andreasson, Besiktning av plana termiska solfångare 1984 och 1985, SP-RAPP 1986:02.
- 6 P. Call; National program plan for absorber surfaces R&D, SERI/TP-31-103, January 1979.
- 7 Arafa et al., in Sun: Mankind's future source of energy, Proceedings of the New Delhi, India, ISES Conference, Pergamon Press, New York, January 1978.
- 8 M.G. Hutchins, P.J. Wright, P.D. Grebenik, Proc. SPIE 653, pp 188-195, 1986.



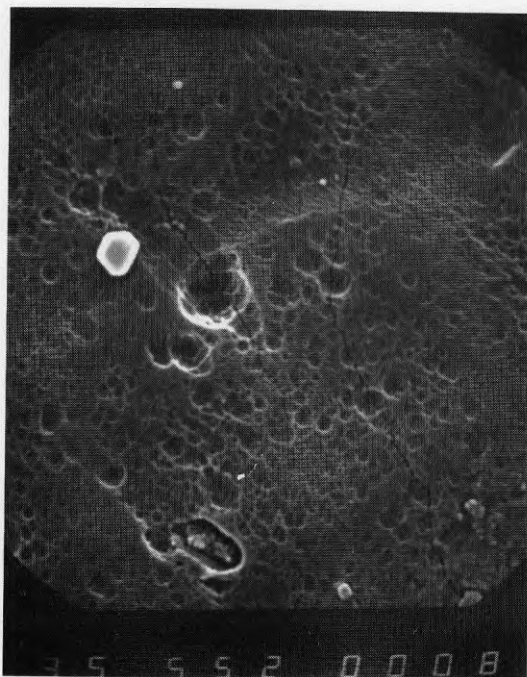
Fotografi 1.
Absorbator 8, före provning
Förstoring 5000 gånger



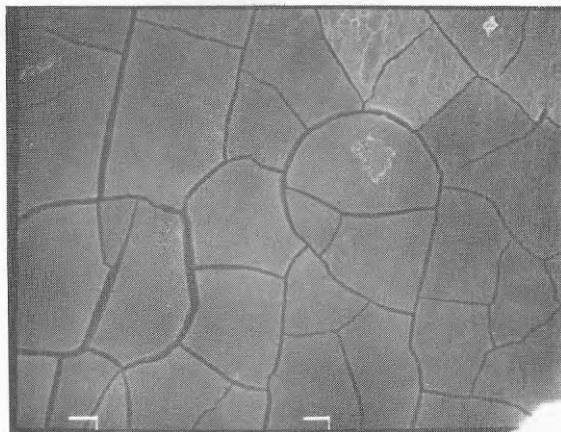
Fotografi 2.
Absorbator 8B, efter utomhusexponering
i 5 år under stagnation. Förstoring
2000 gånger



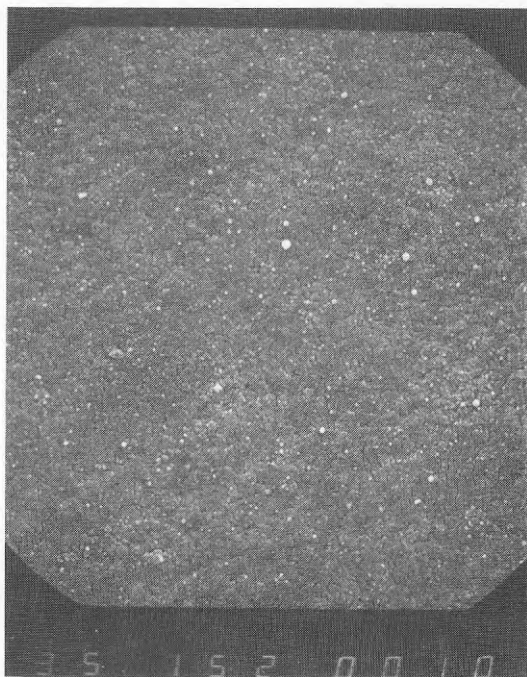
Fotografi 3.
Absorbator 8, efter provning vid 90 °C och
95 % RH i 10 veckor. Förstoring 5000 gånger



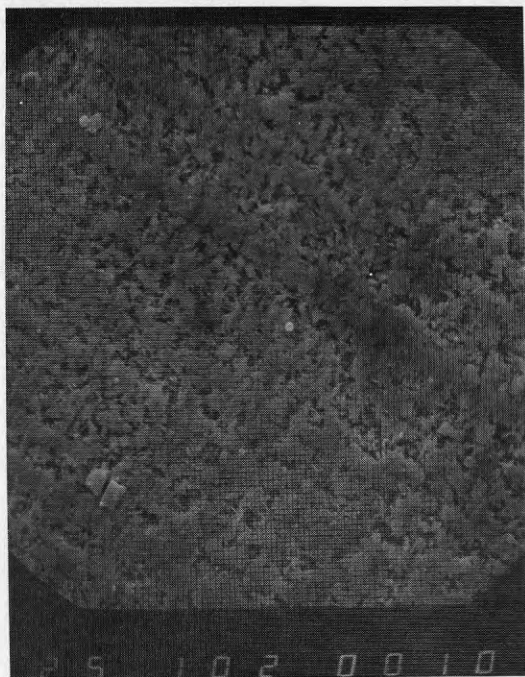
Fotografi 4.
Absorbator 8, efter provning i 0,5 ppm SO₂
vid 23 °C och 95 % RH i 6 veckor. Förstor-
ing 5500 gånger



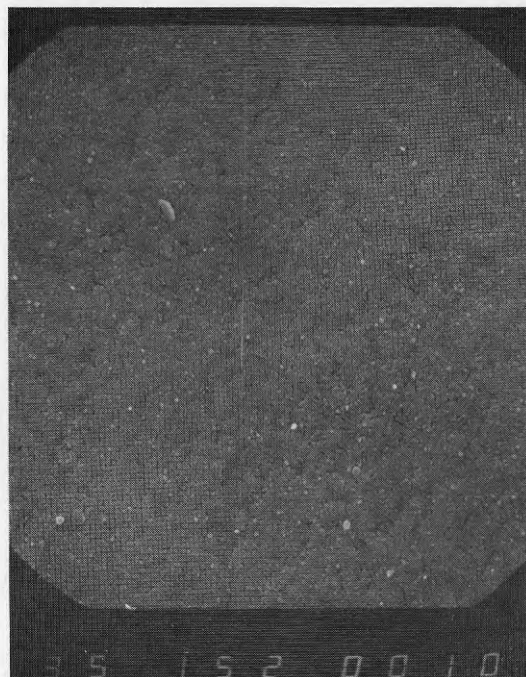
Fotografi 5.
Absorbator 8, efter provning i 1 ppm SO₂
vid 23 °C och 95 % RH i 6 veckor
Förstoring 5000 gånger



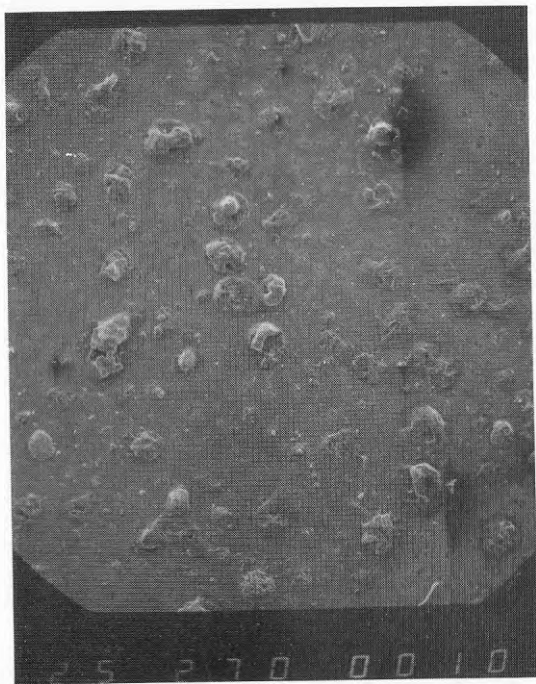
Fotografi 6.
Absorbator 10, före provning
Förstoring 1500 gånger



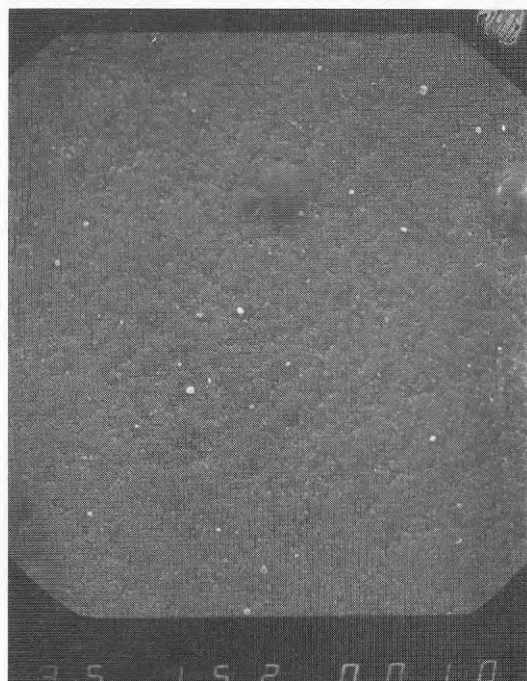
Fotografi 7.
Absorbator 10, efter utomhusexponering
i 5 år under stagnation
Förstoring 1000 gånger



Fotografi 8.
Absorbator 10, efter provning vid 90 °C
och 95 % RH i 10 veckor
Förstoring 1500 gånger

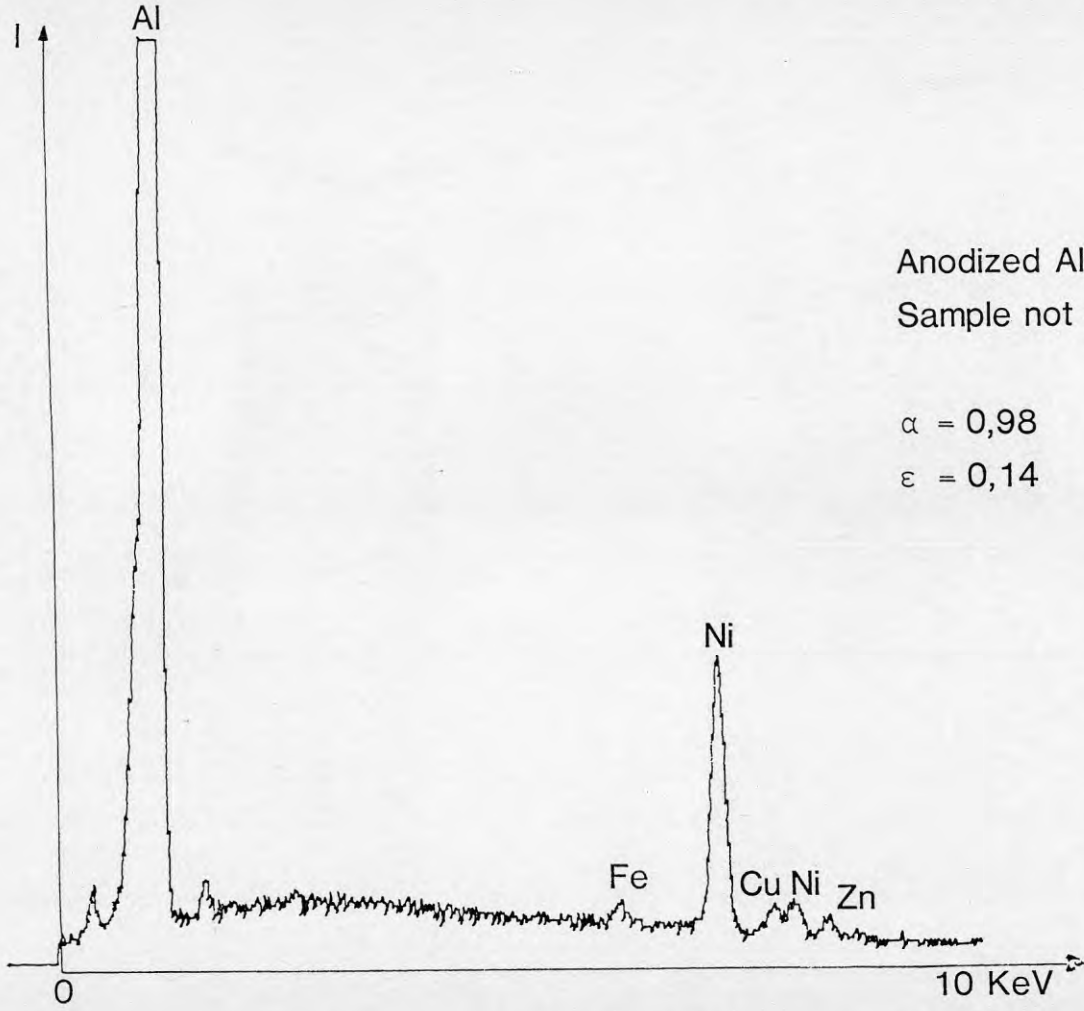


Fotografi 9.
Absorbator 10, efter provning
i 0,5 ppm SO₂ vid 23 °C och
95 % RH i 6 veckor
Förstoring 270 gånger



Fotografi 10.
Absorbator 10, efter provning
i 1 ppm SO₂ vid 23 °C och
95 % RH i 6 veckor
Förstoring 1500 gånger

Diagram 1



Anodized Al
Sample not aged

$\alpha = 0,98$
 $\epsilon = 0,14$

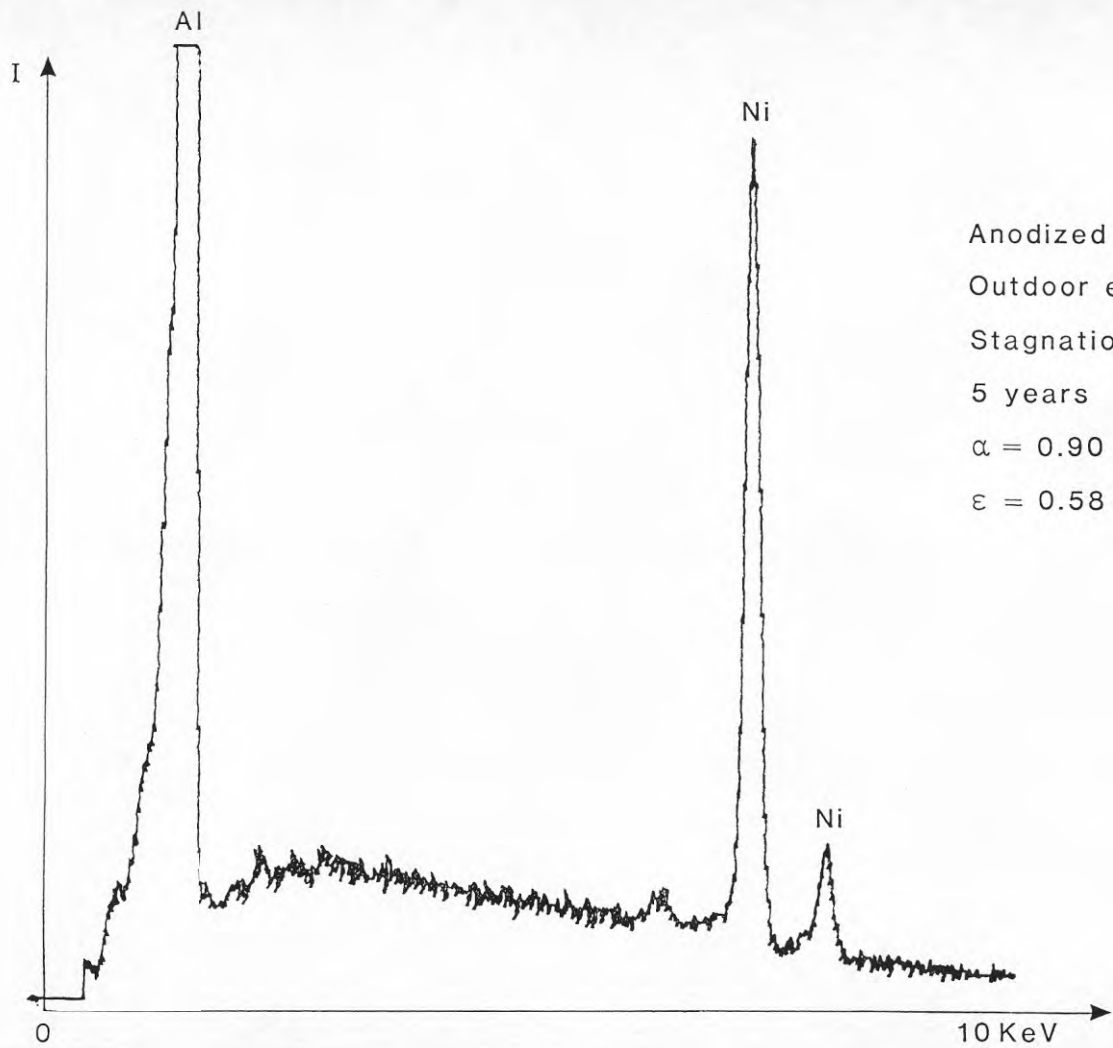
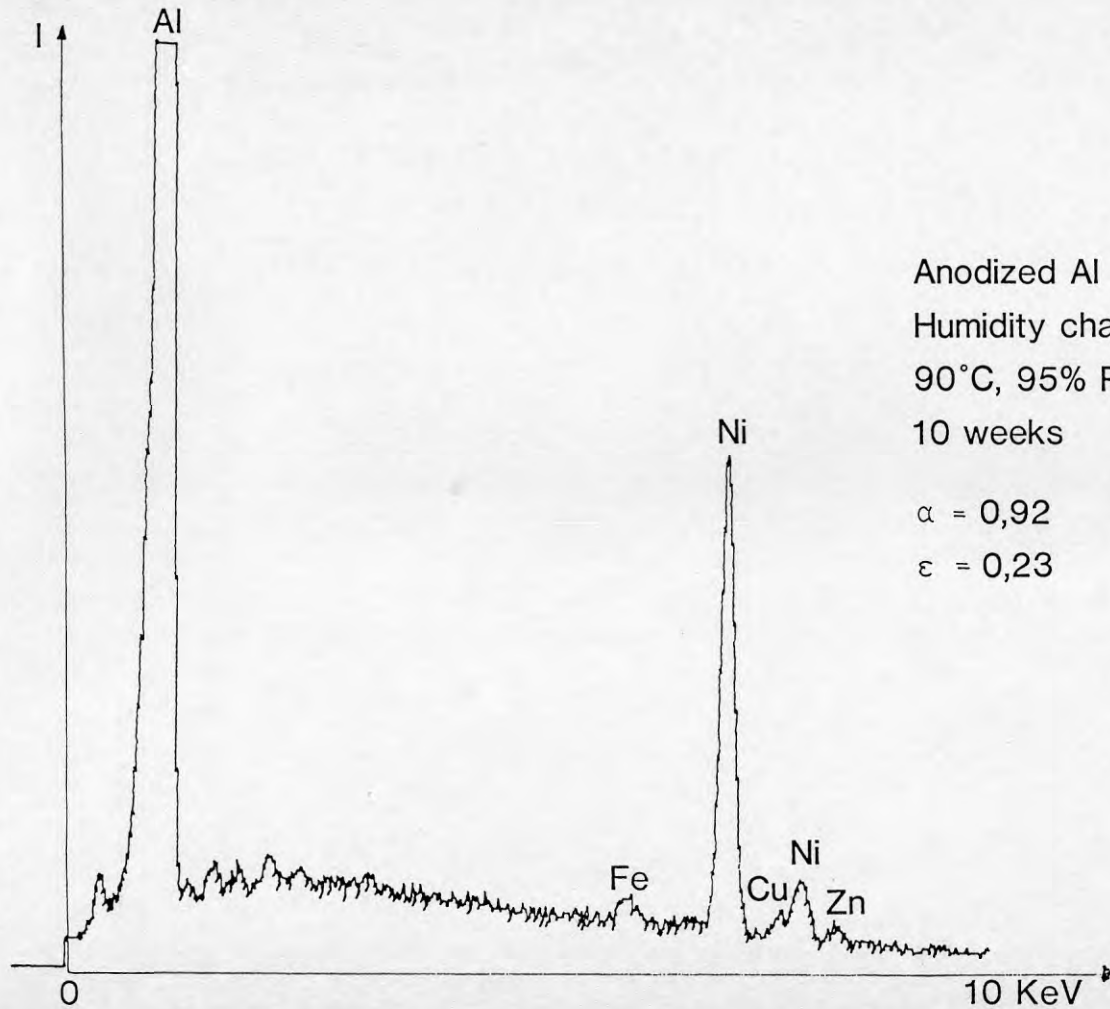


Diagram 2

Anodized Al
Outdoor exposure
Stagnation
5 years
 $\alpha = 0.90$
 $\epsilon = 0.58$

Diagram 3



Anodized Al
Humidity chamber
90°C, 95% RH
10 weeks

$$\alpha = 0,92$$

$$\varepsilon = 0,23$$

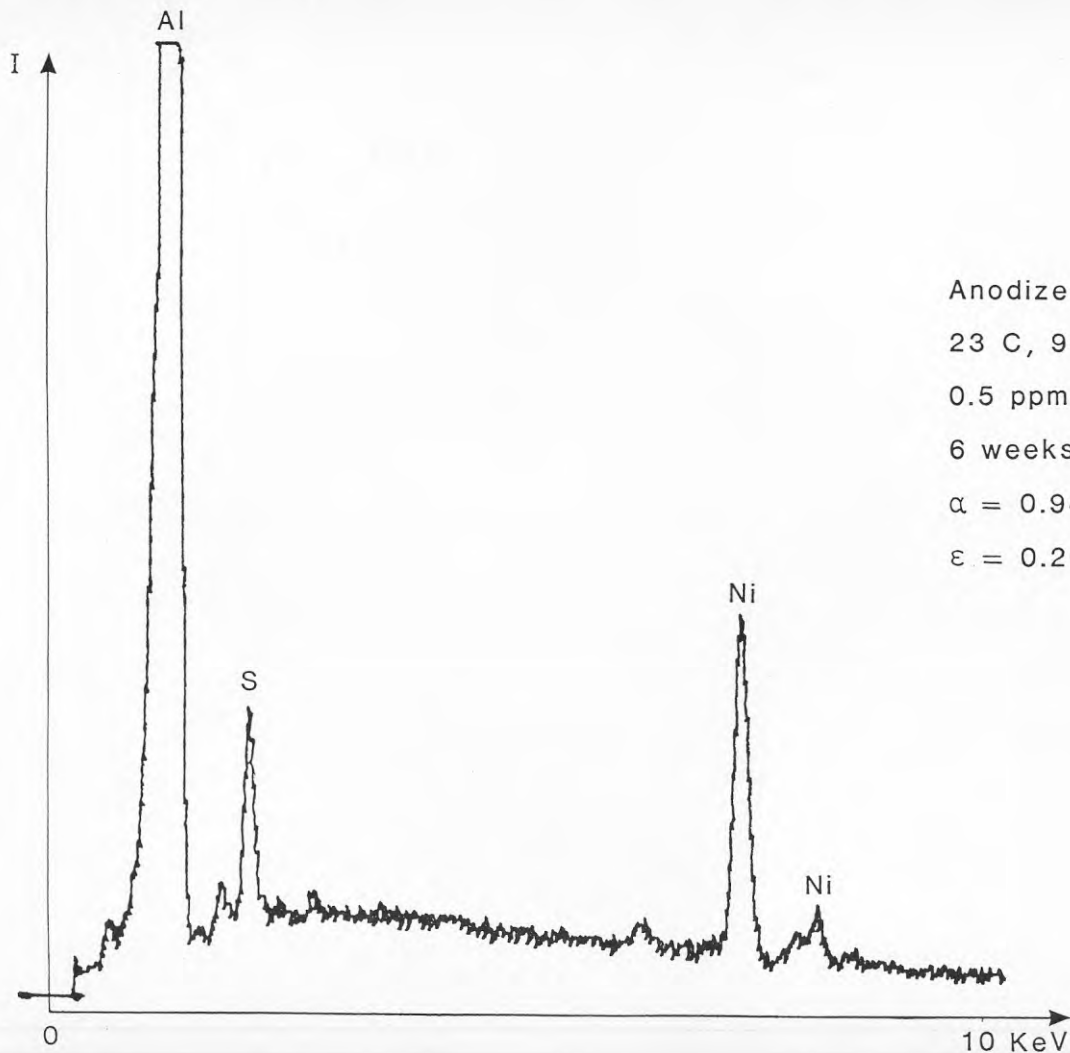


Diagram 4

Anodized Al

23 C, 95% RH

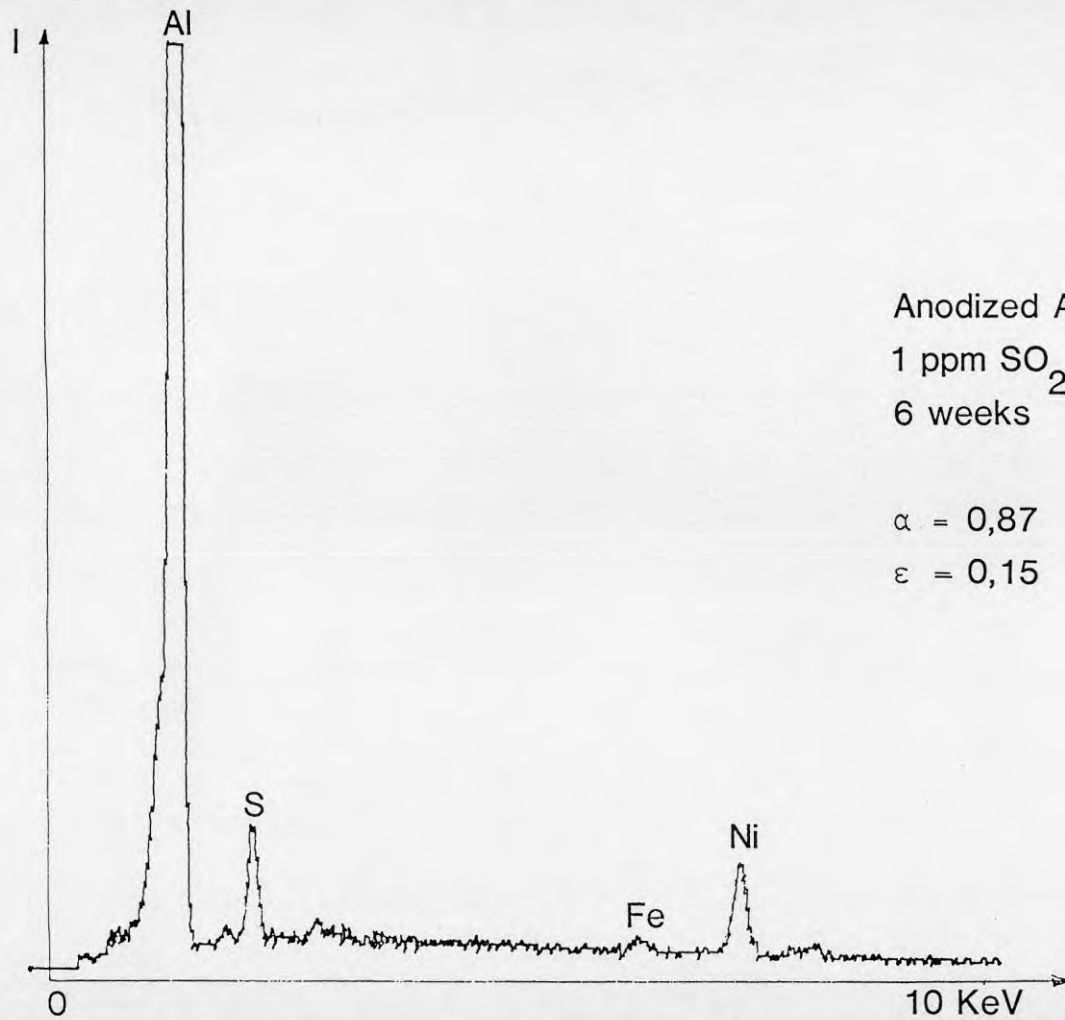
0.5 ppm SO₂

6 weeks

$\alpha = 0.94$

$\epsilon = 0.26$

Diagram 5



Anodized Al
1 ppm SO₂, 23°C, 95% RH
6 weeks

$$\alpha = 0,87$$

$$\varepsilon = 0,15$$

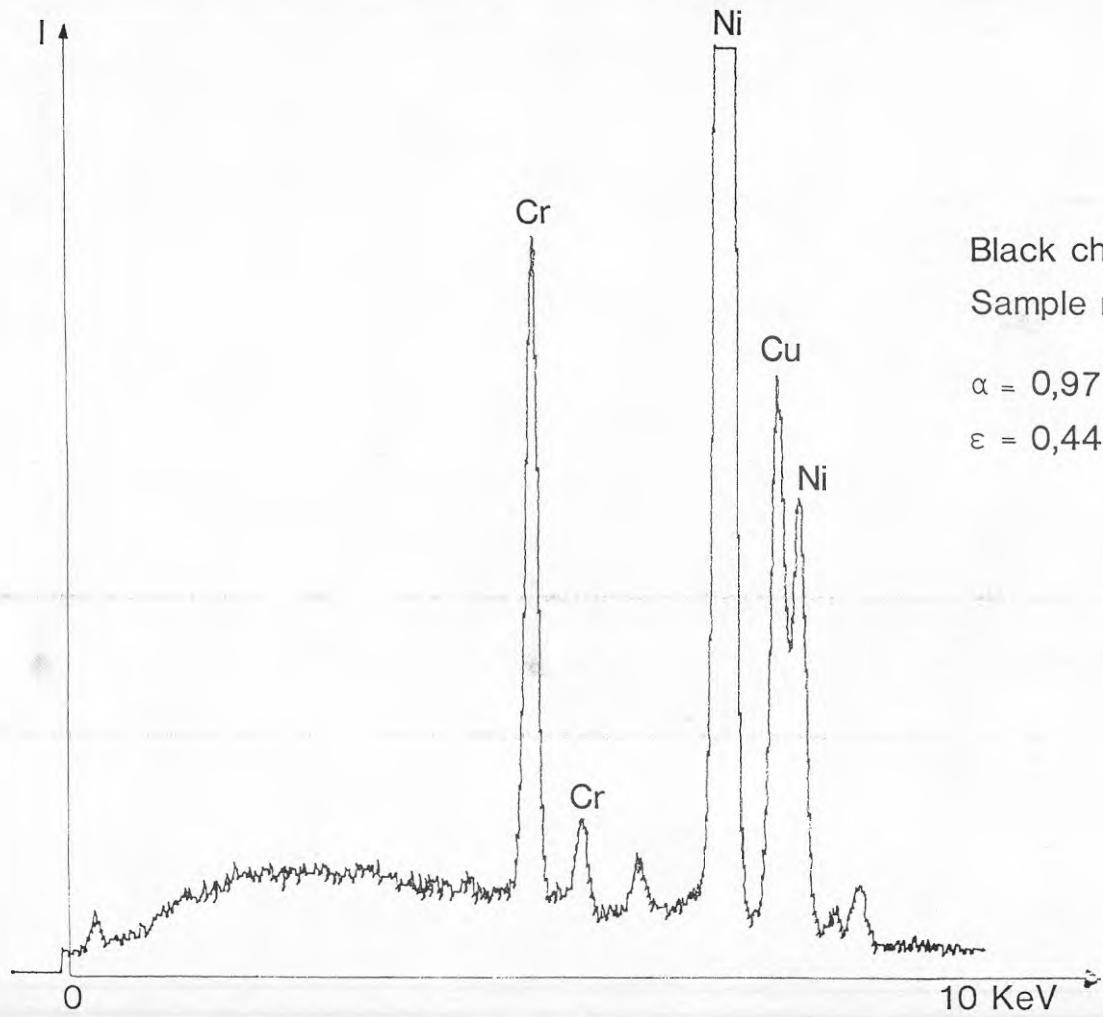
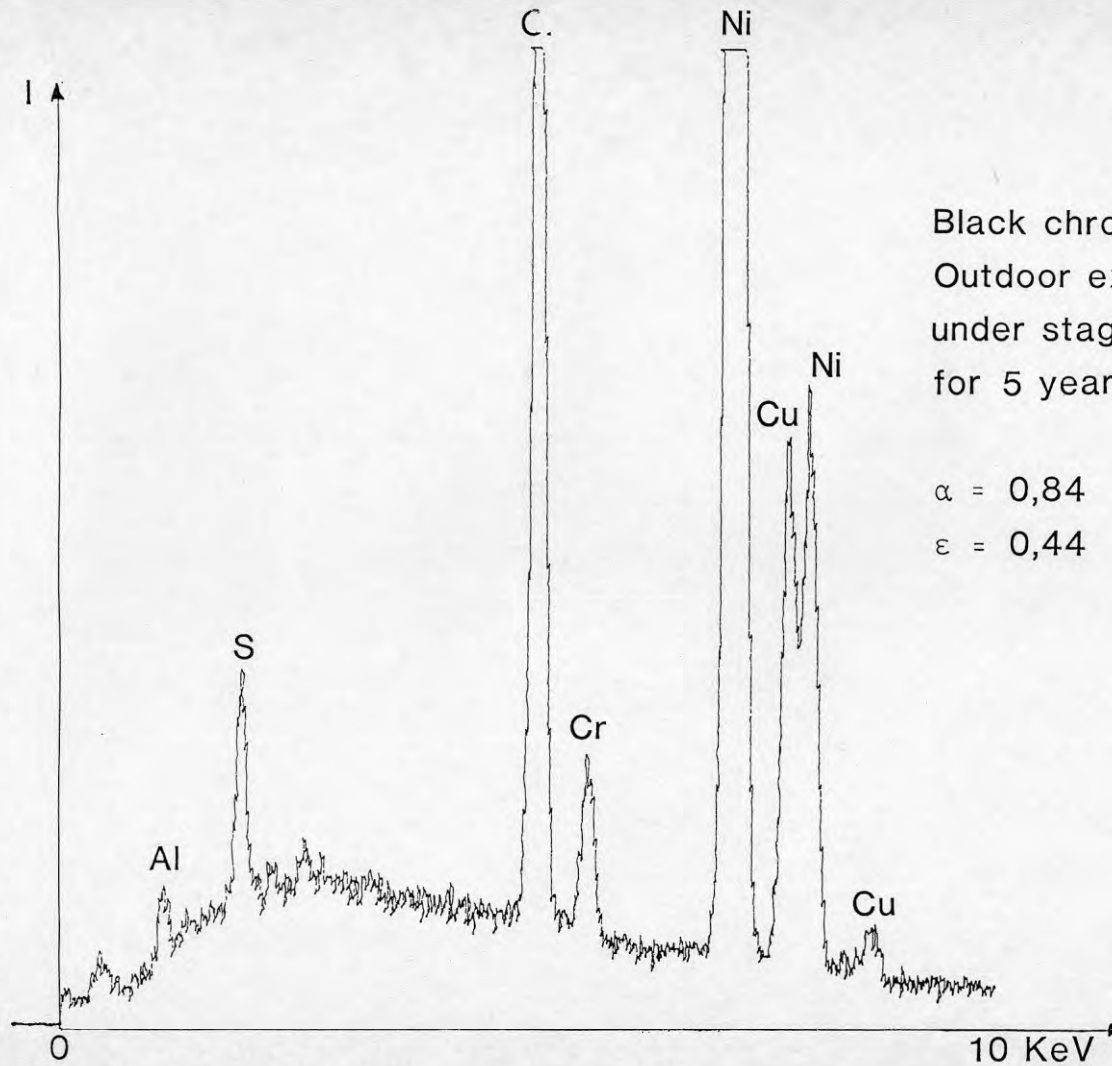


Diagram 6

Black chrome on Cu
Sample not aged

$\alpha = 0,97$
 $\epsilon = 0,44$

Diagram 7



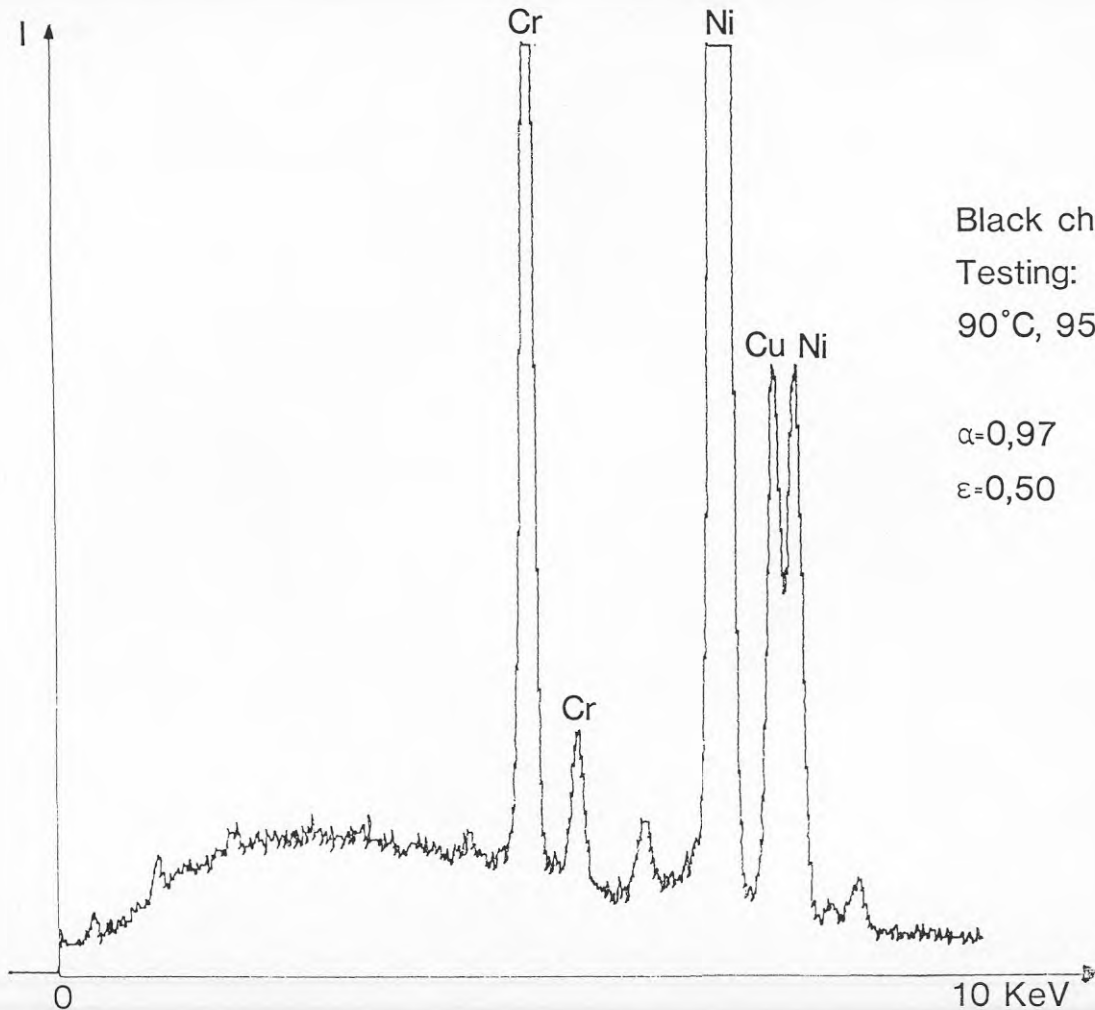


Diagram 8

Black chrome on Cu

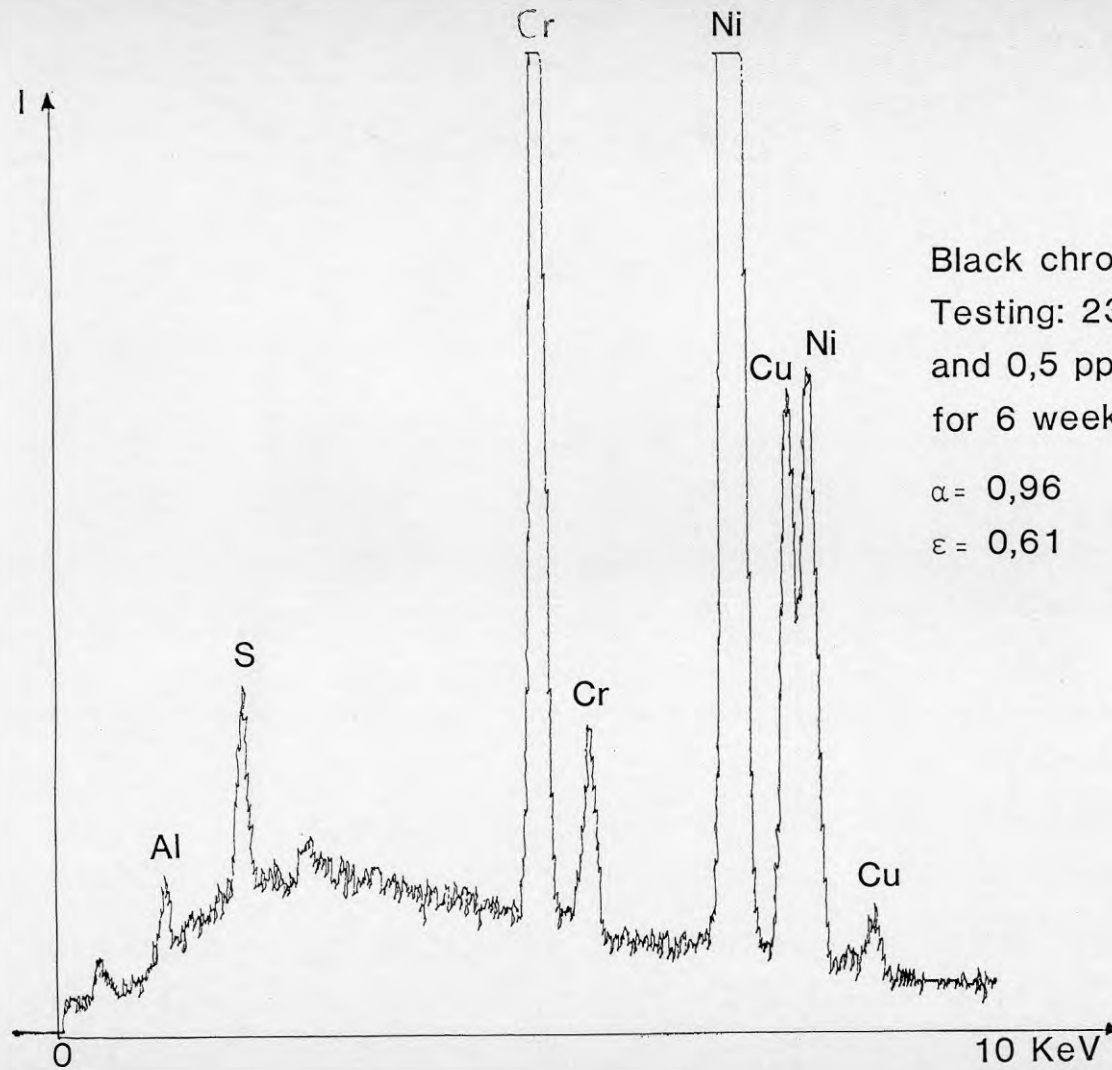
Testing: Humidity chamber

90°C, 95% RH for 10 weeks

$\alpha=0,97$

$\epsilon=0,50$

Diagram 9



Black chrome on Cu
Testing: 23°C, 95% RH
and 0,5 ppm SO₂
for 6 weeks

$\alpha = 0,96$

$\epsilon = 0,61$

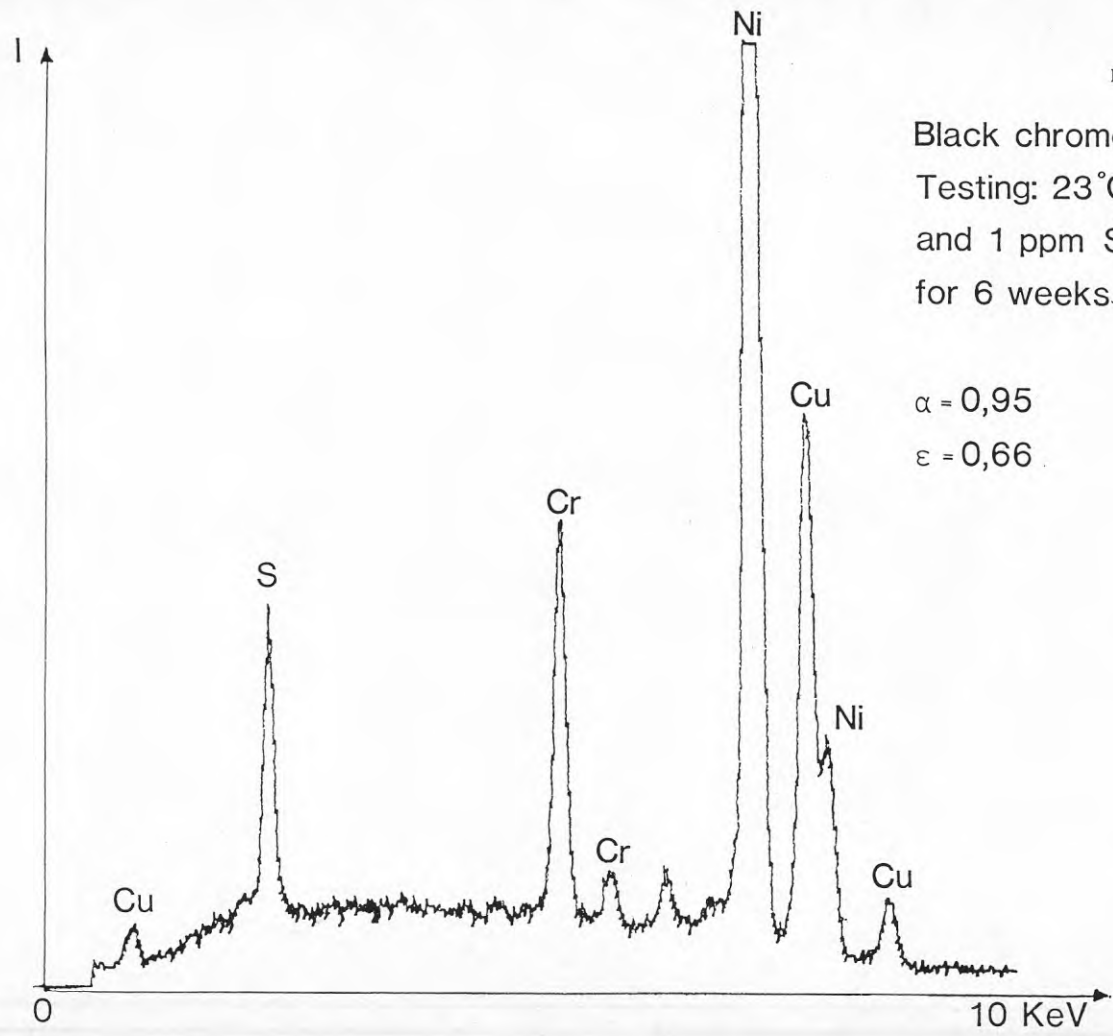


Diagram 10

Black chrome on Cu
Testing: 23°C, 95% RH
and 1 ppm SO₂
for 6 weeks.

$\alpha = 0,95$

$\epsilon = 0,66$

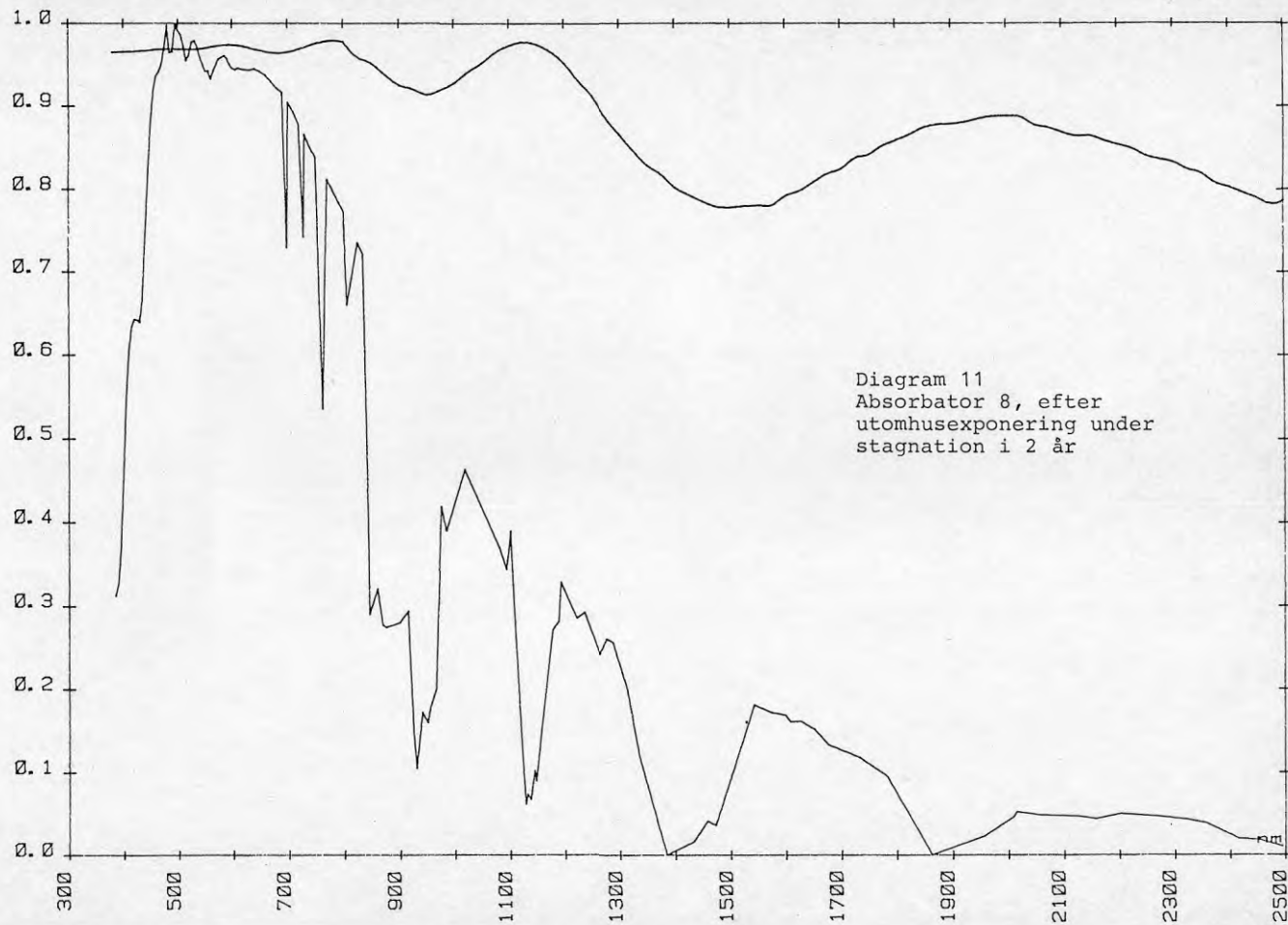
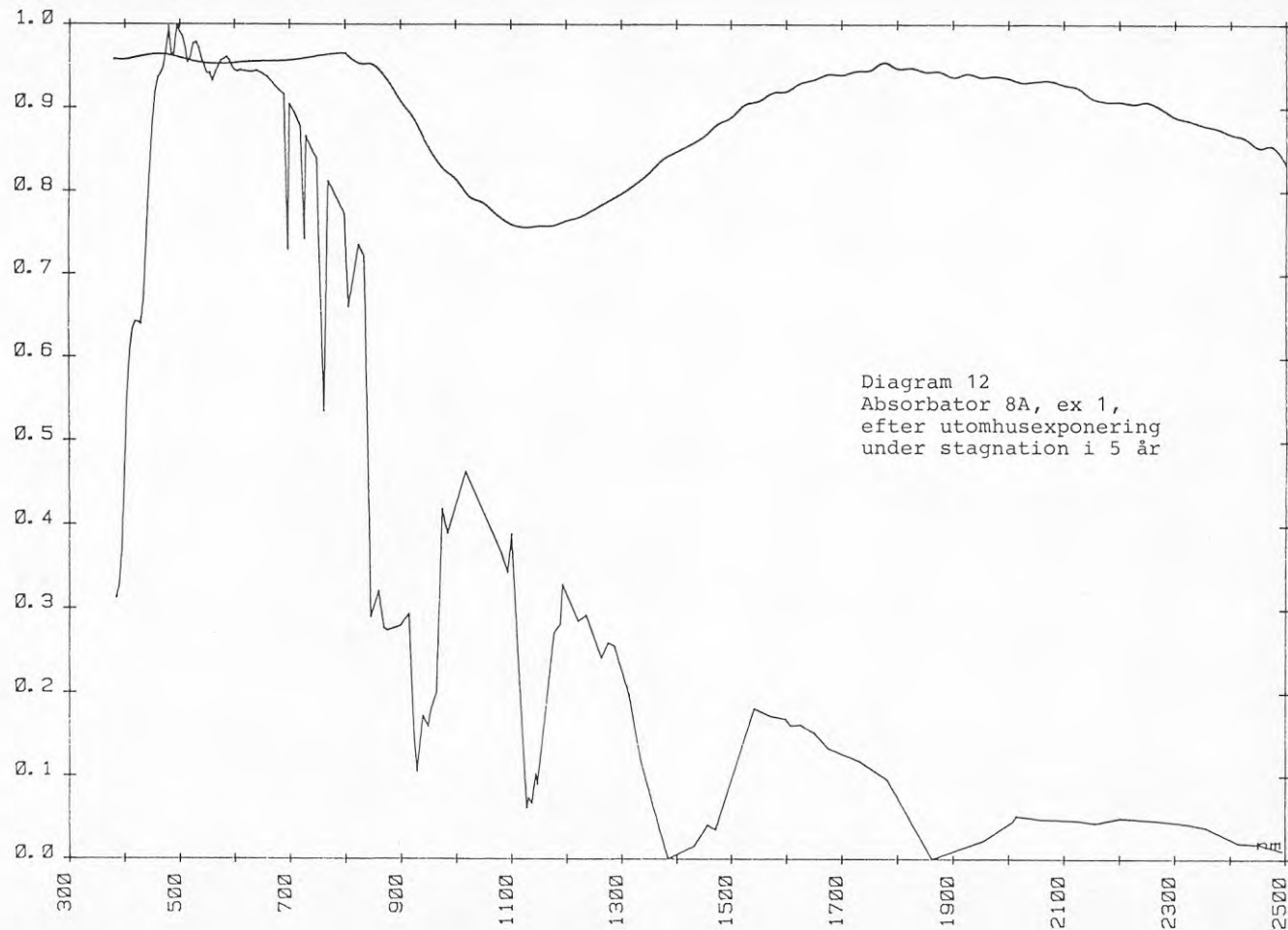
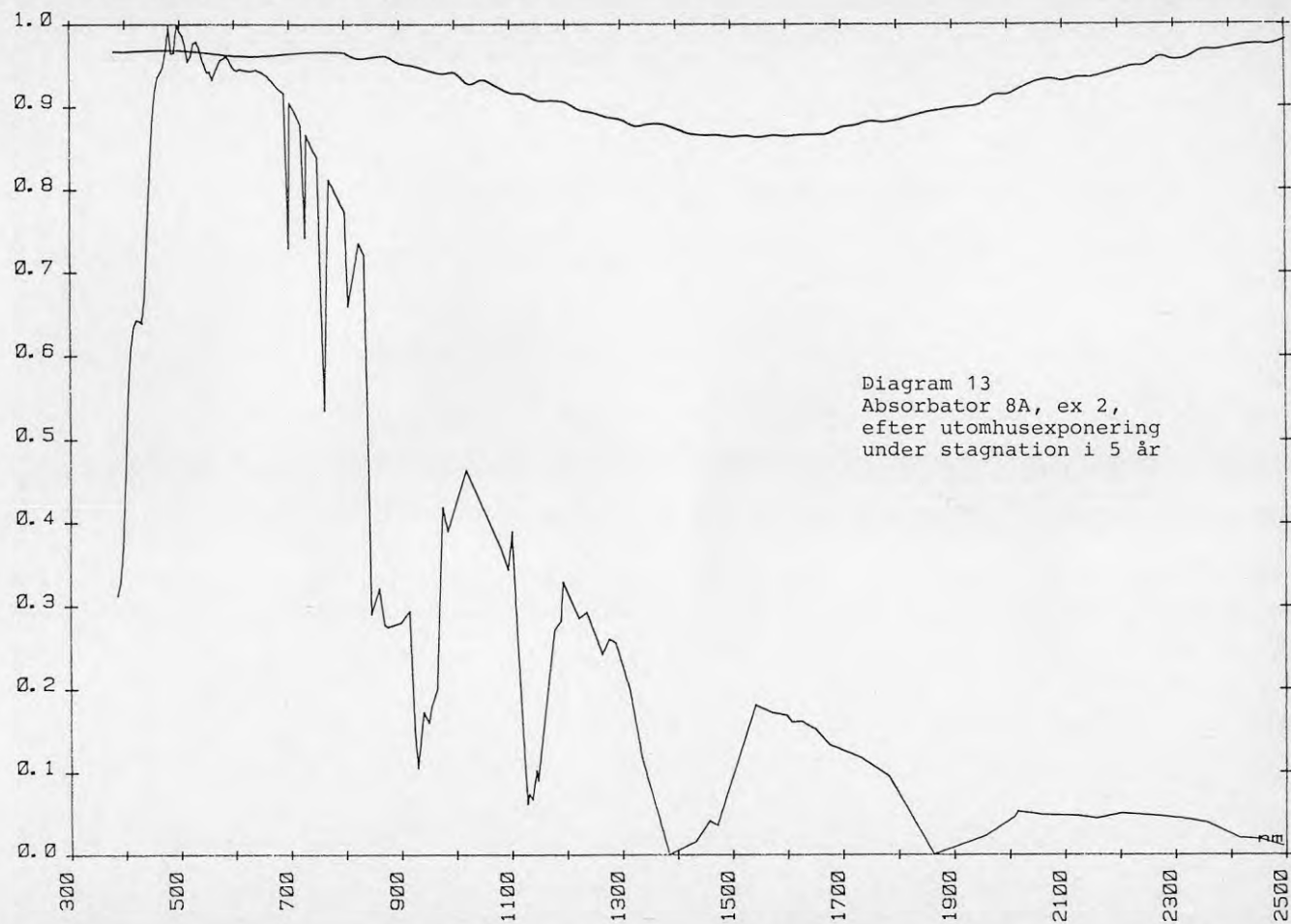
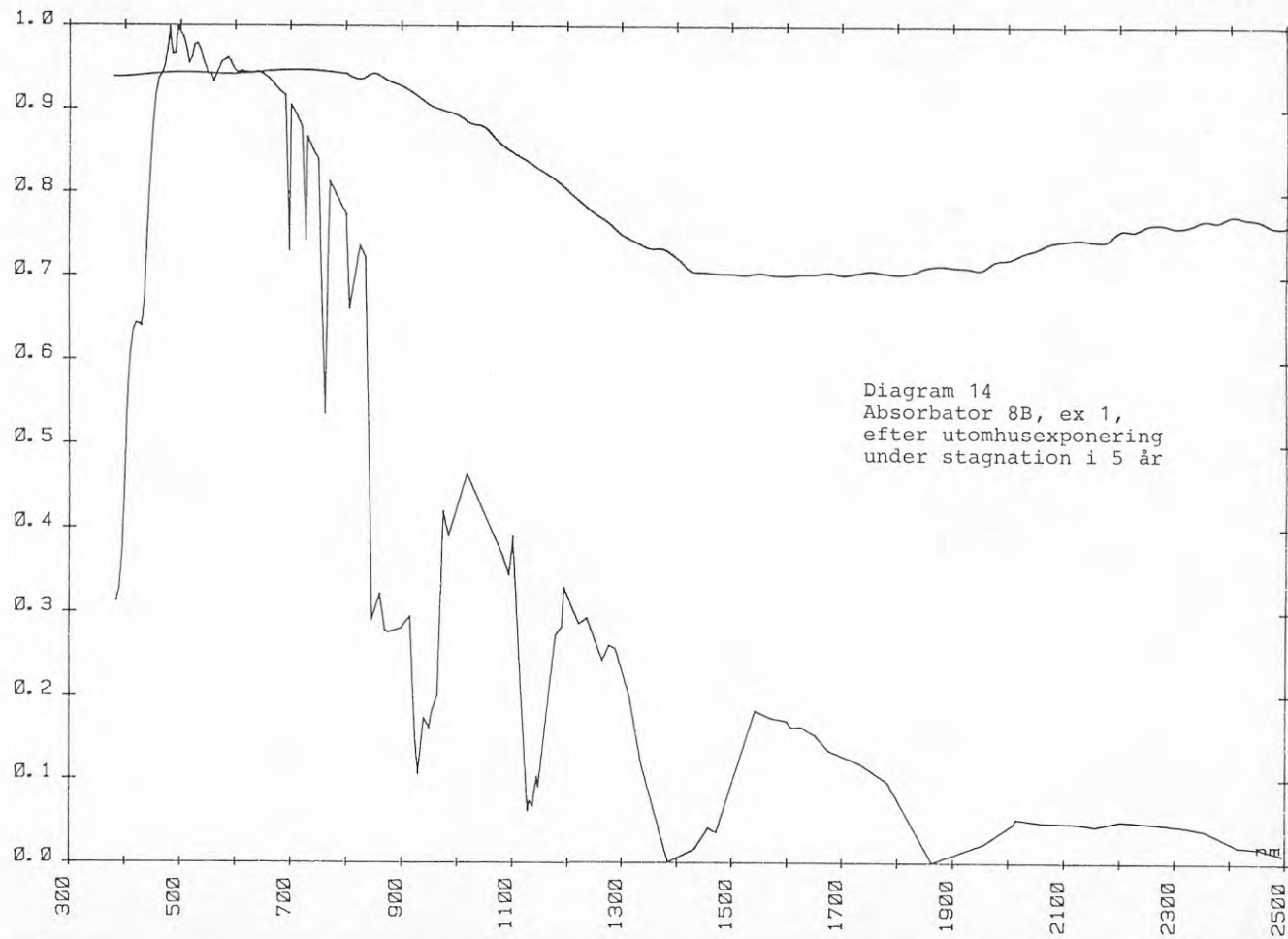


Diagram 11
Absorbator 8, efter
utomhuseksponering under
stagnation i 2 år







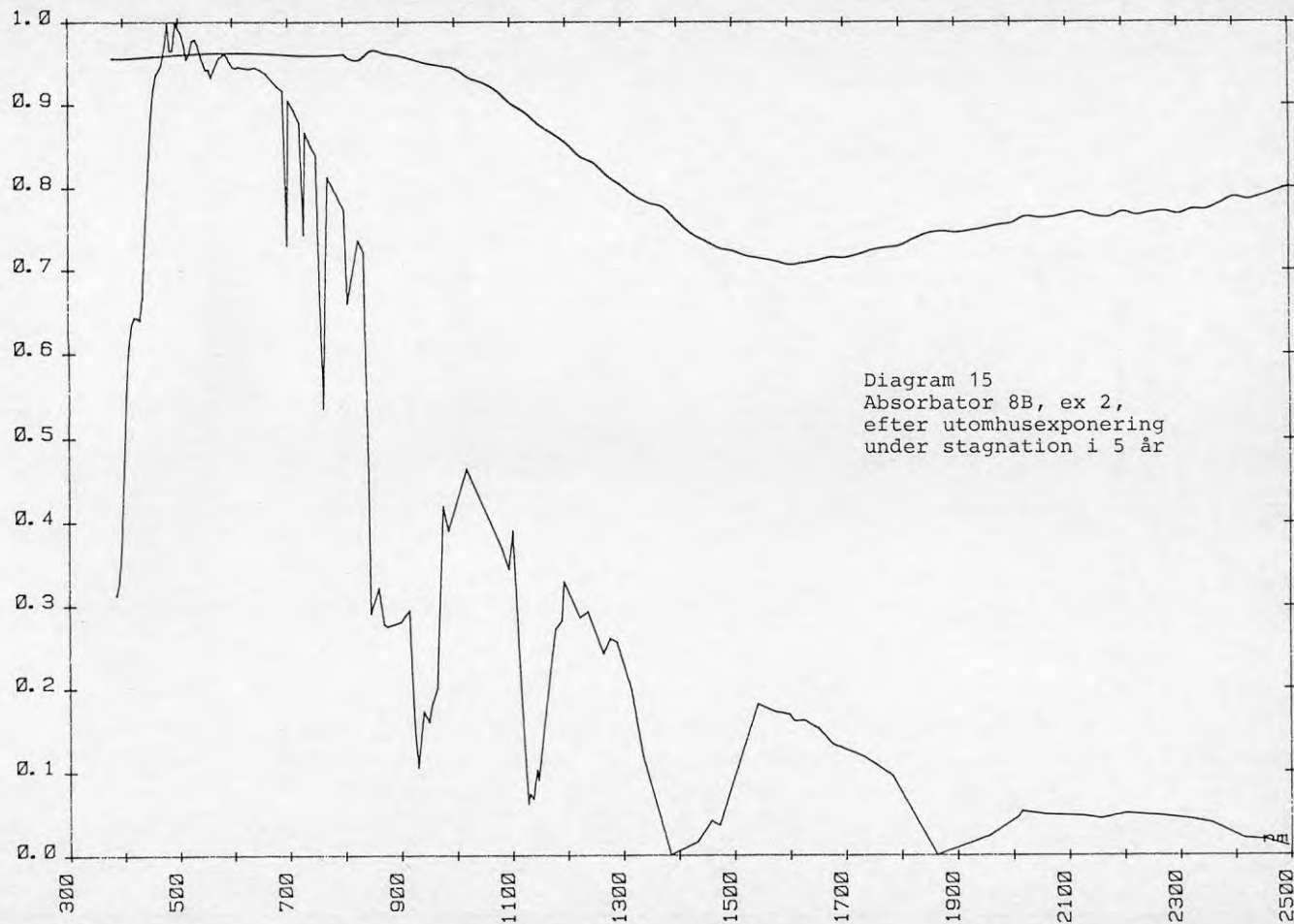
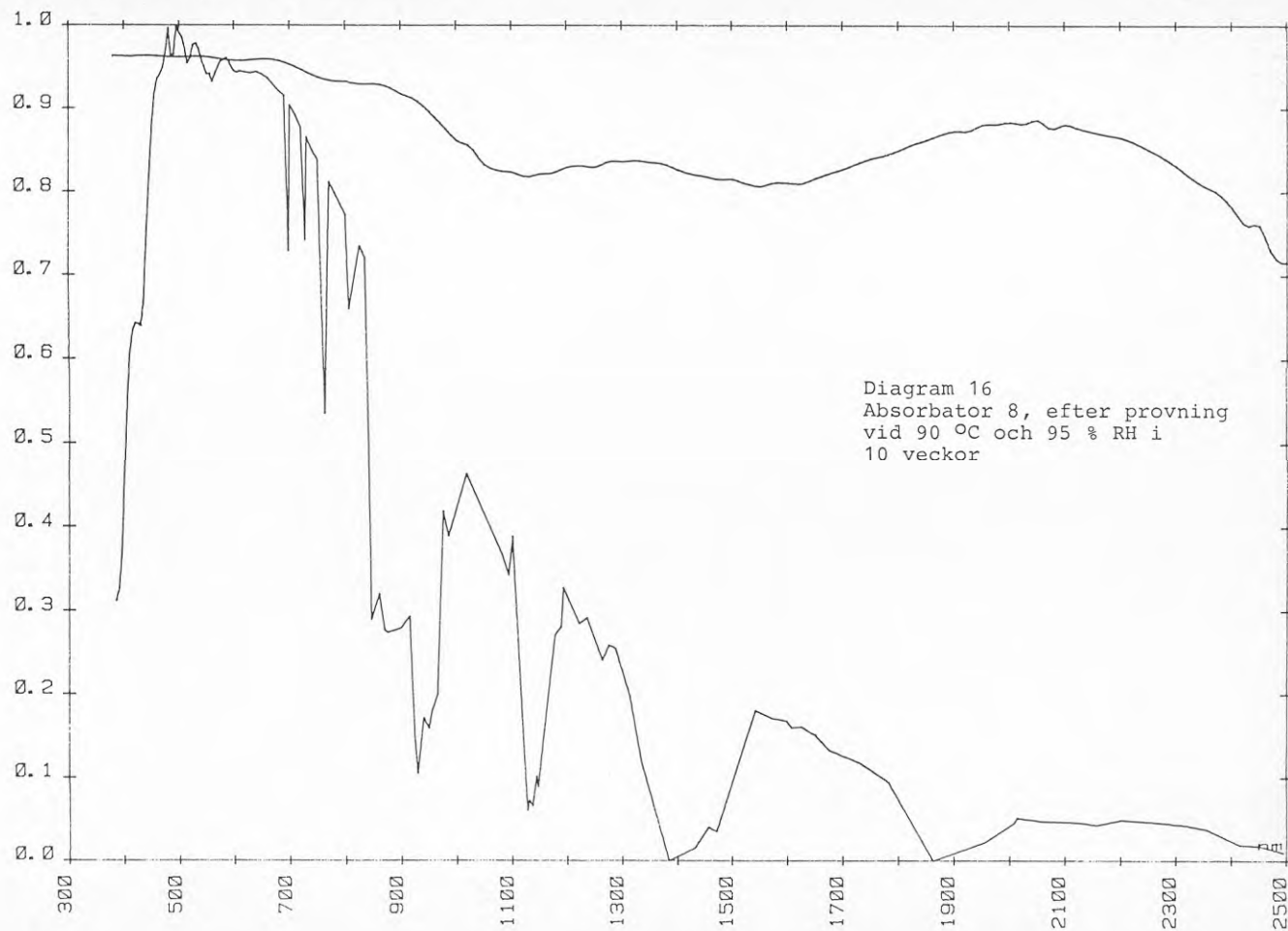
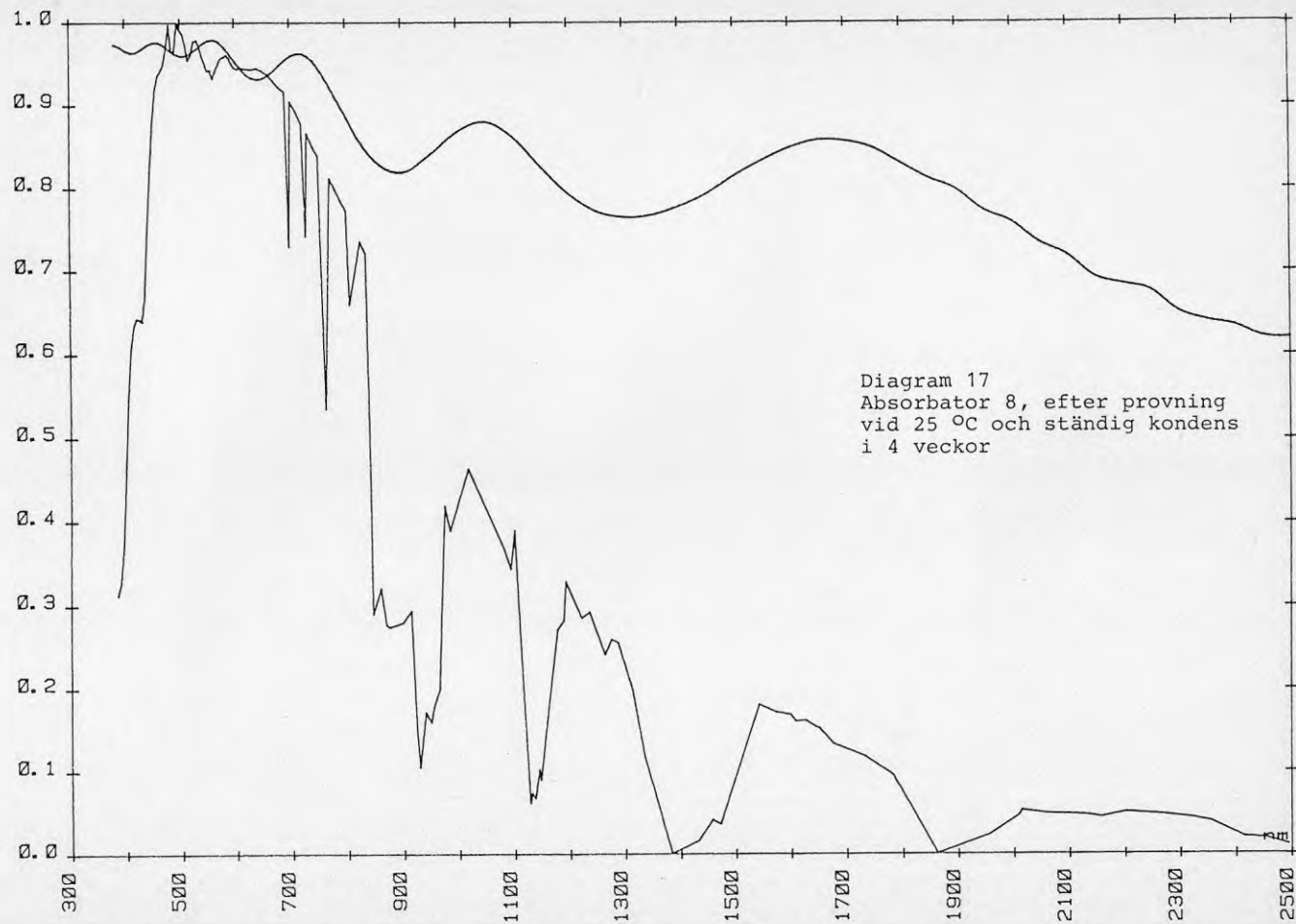
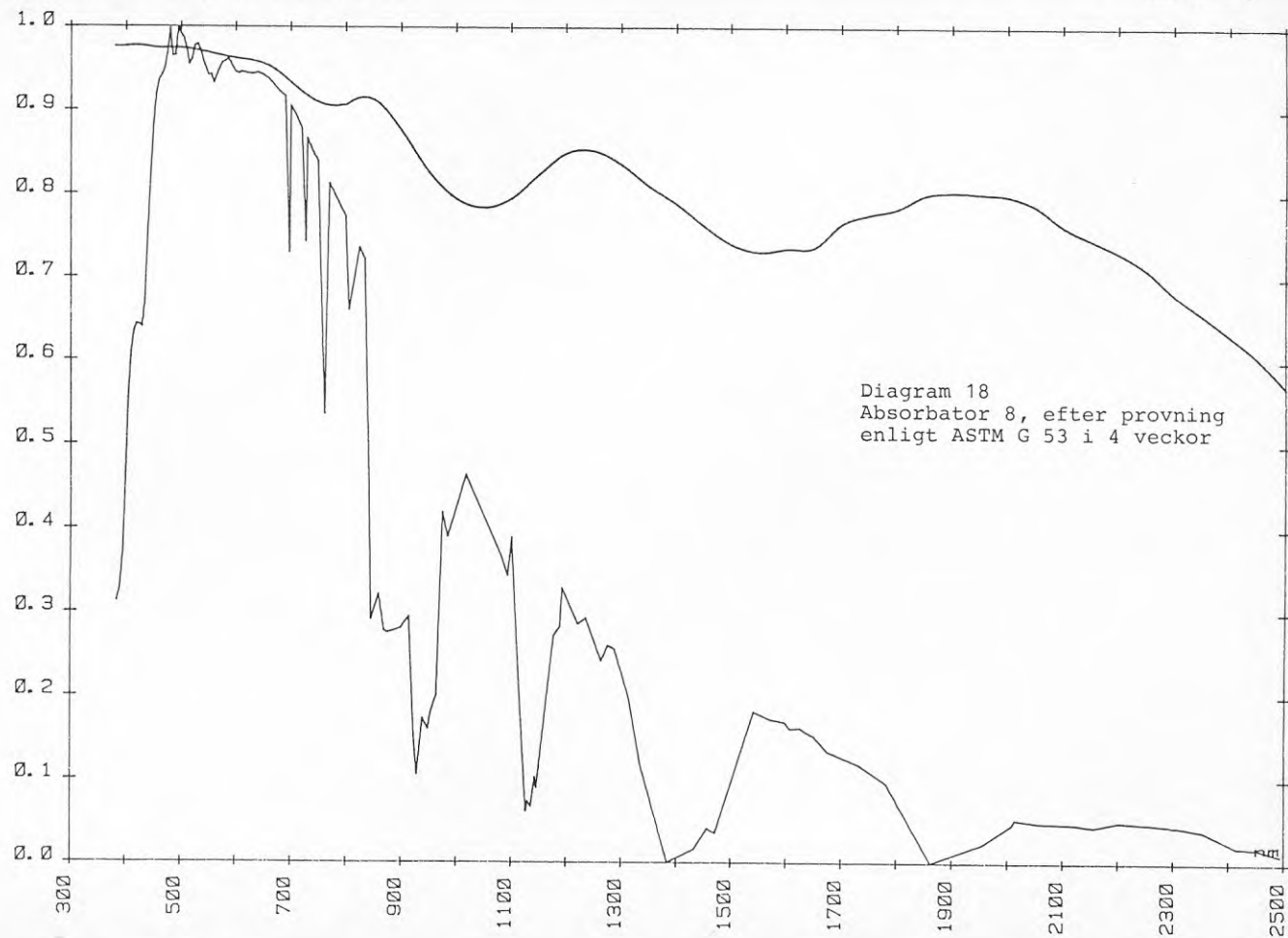
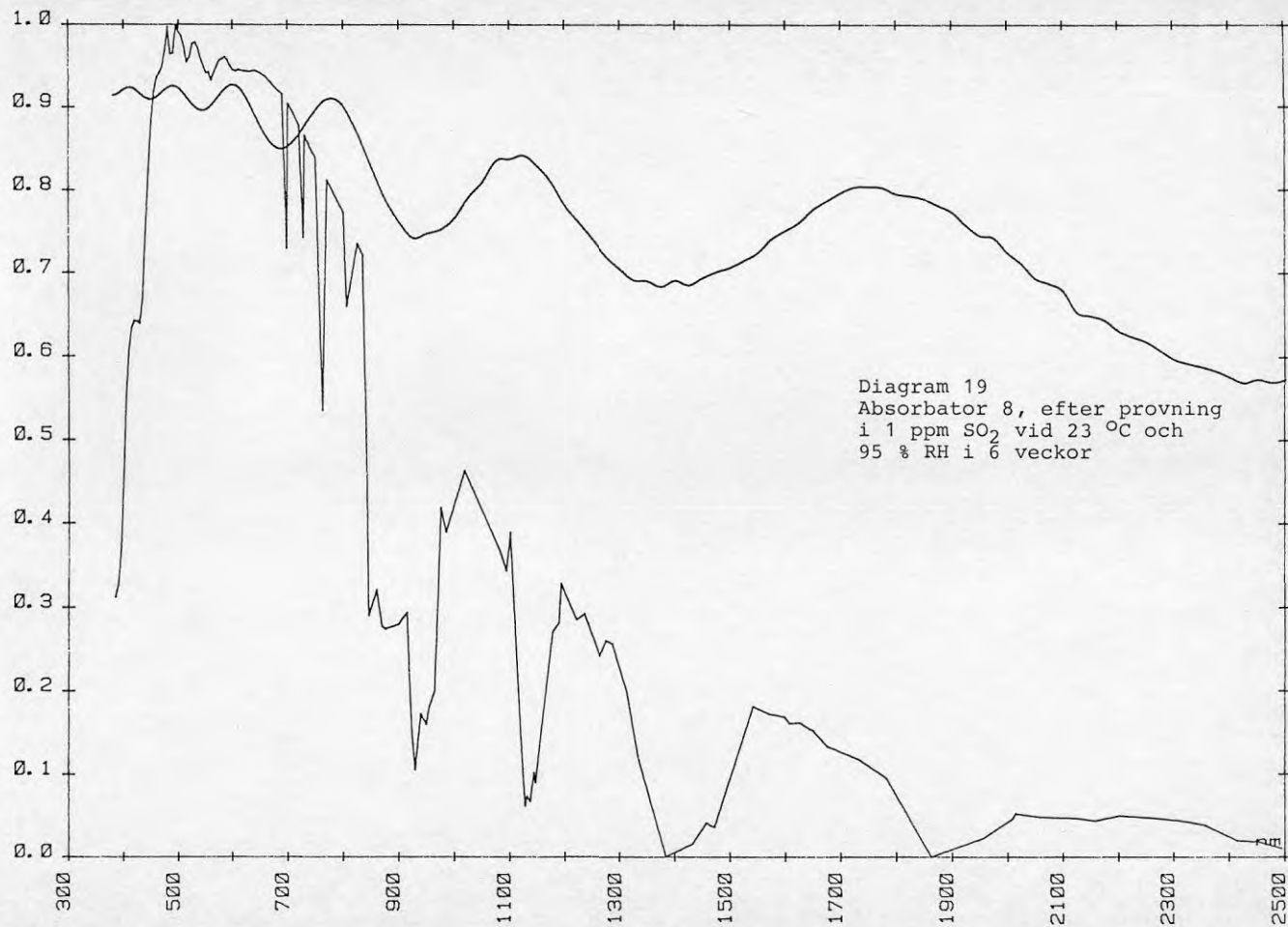


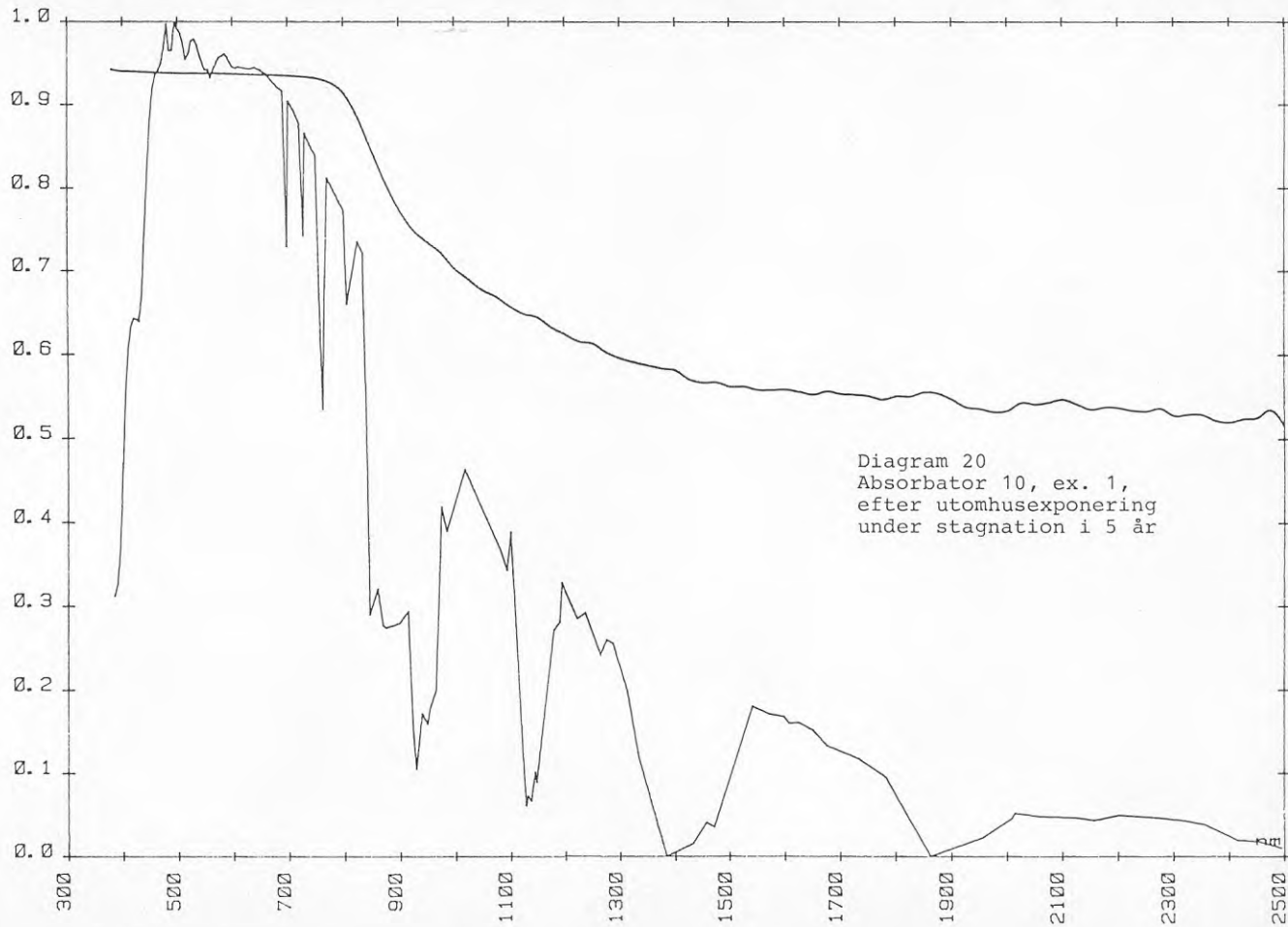
Diagram 15
Absorbator 8B, ex 2,
efter utomhusexponering
under stagnation i 5 år











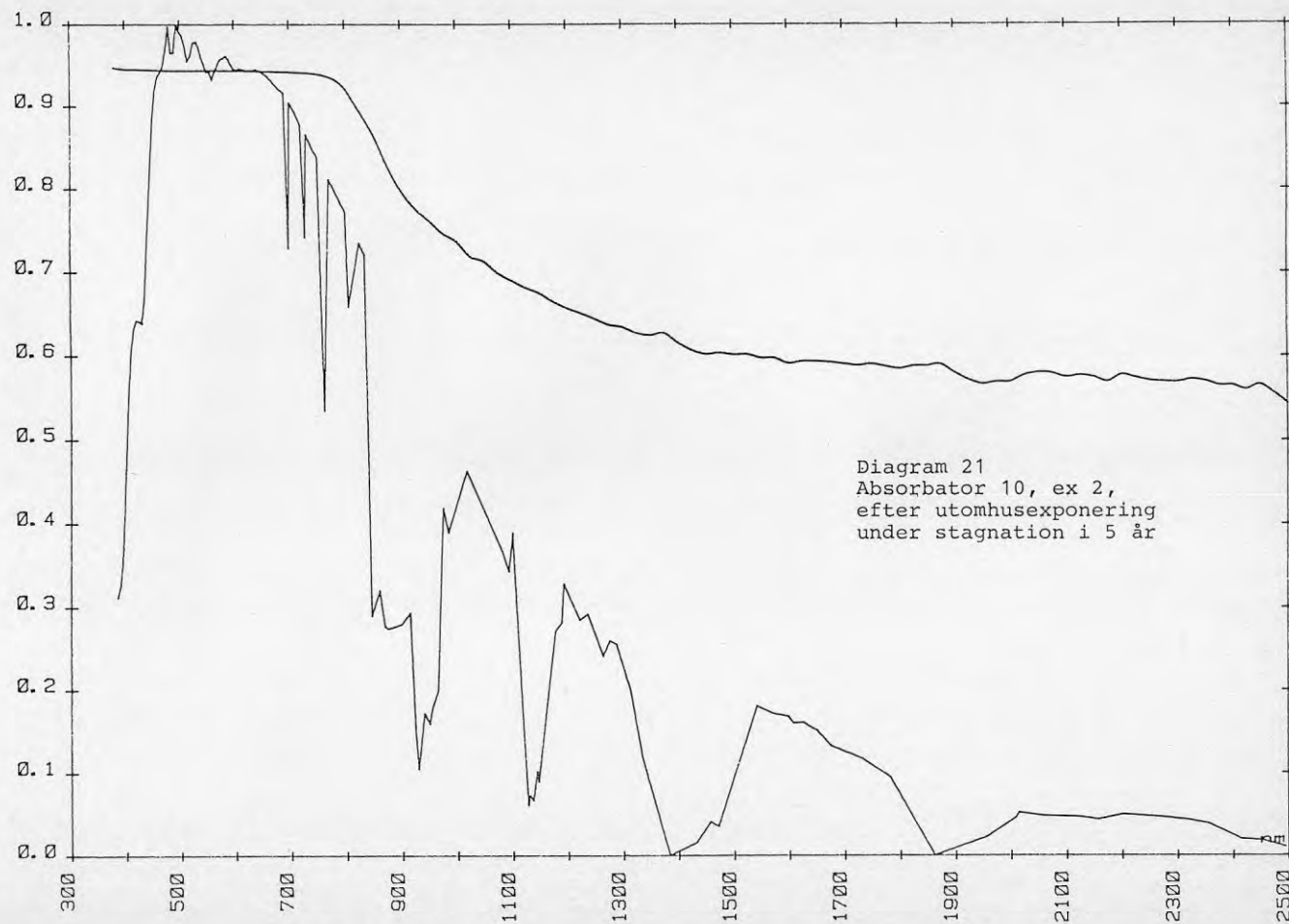


Diagram 21
Absorbator 10, ex 2,
efter utomhusexponering
under stagnation i 5 år

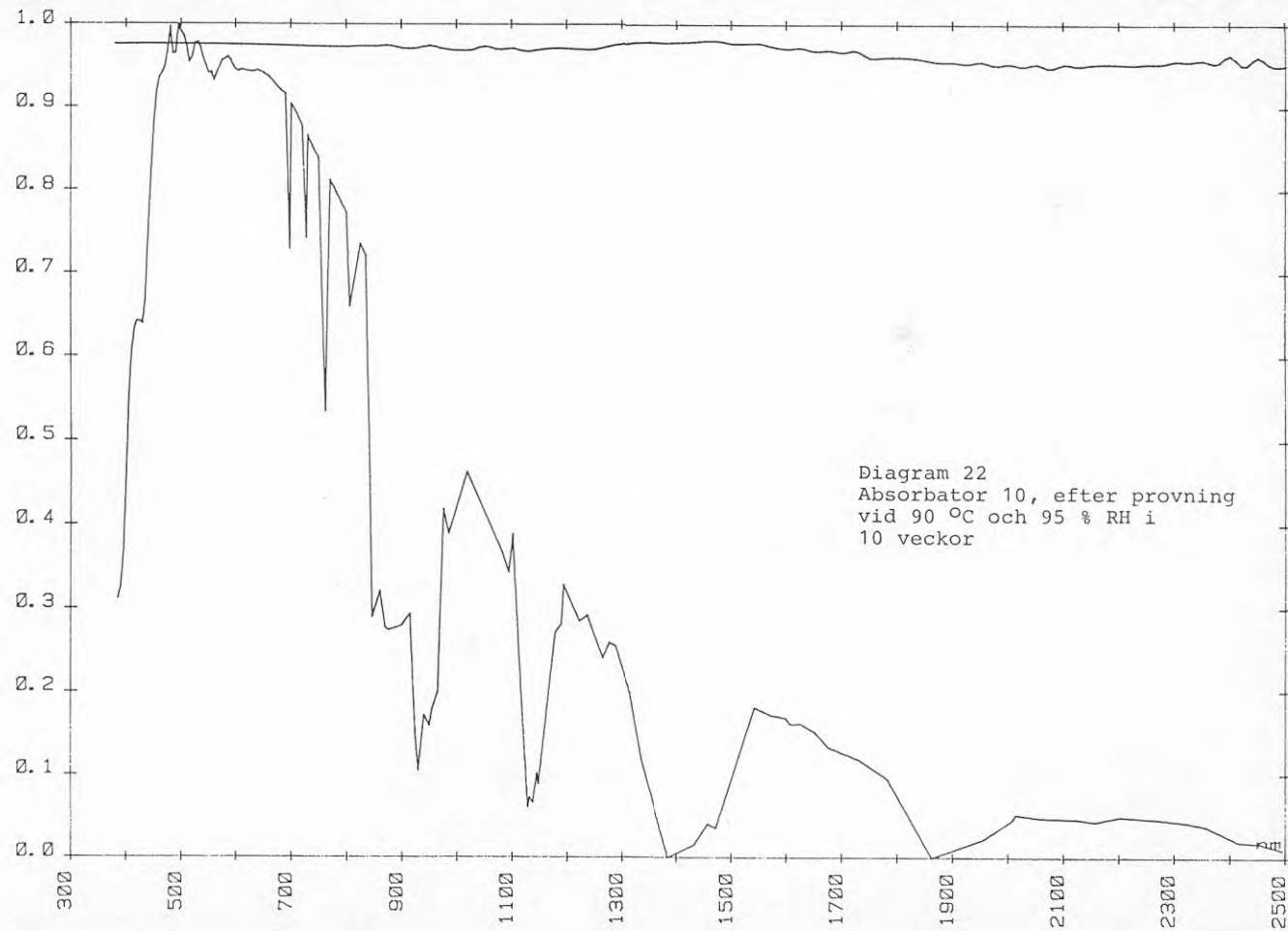
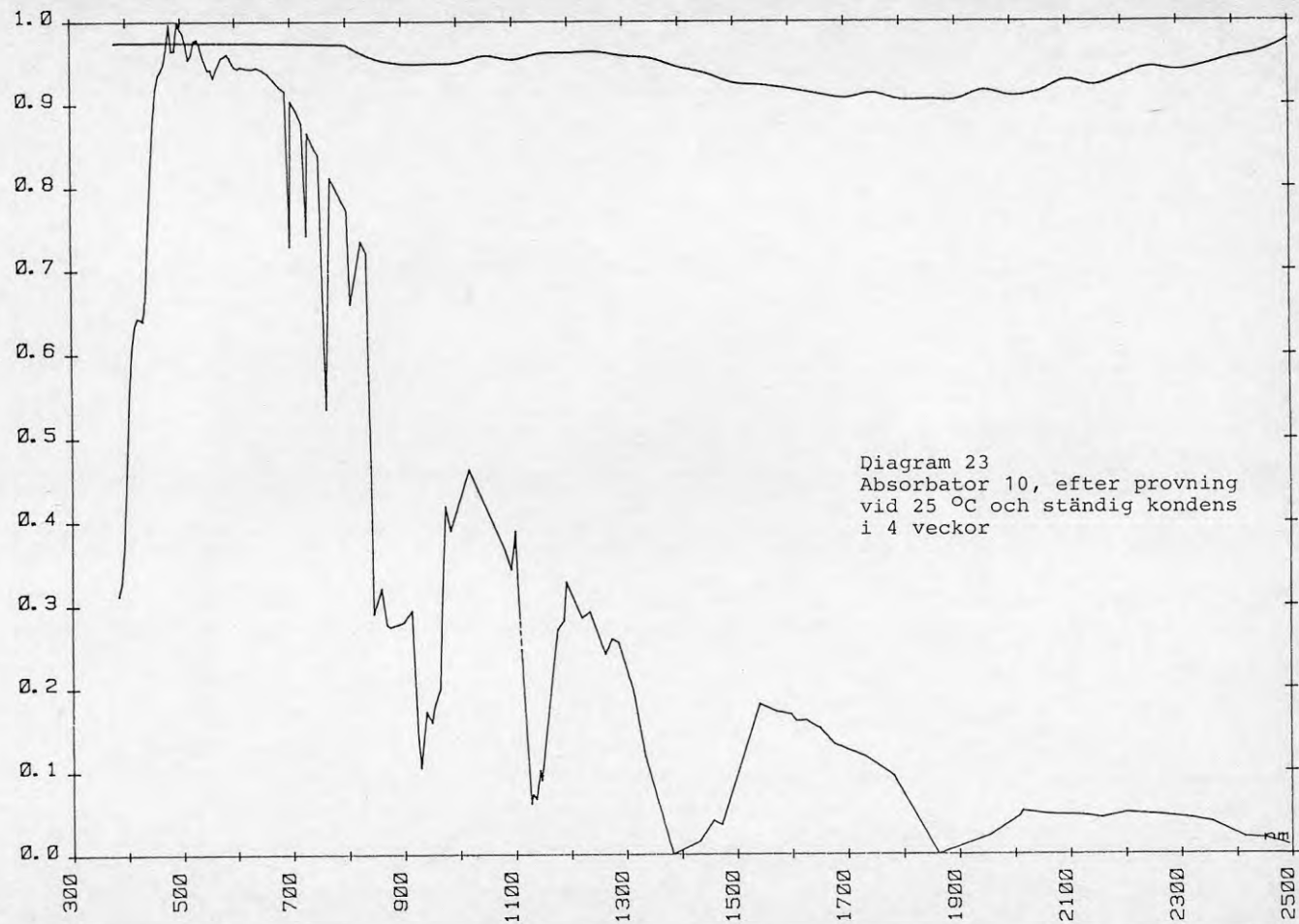
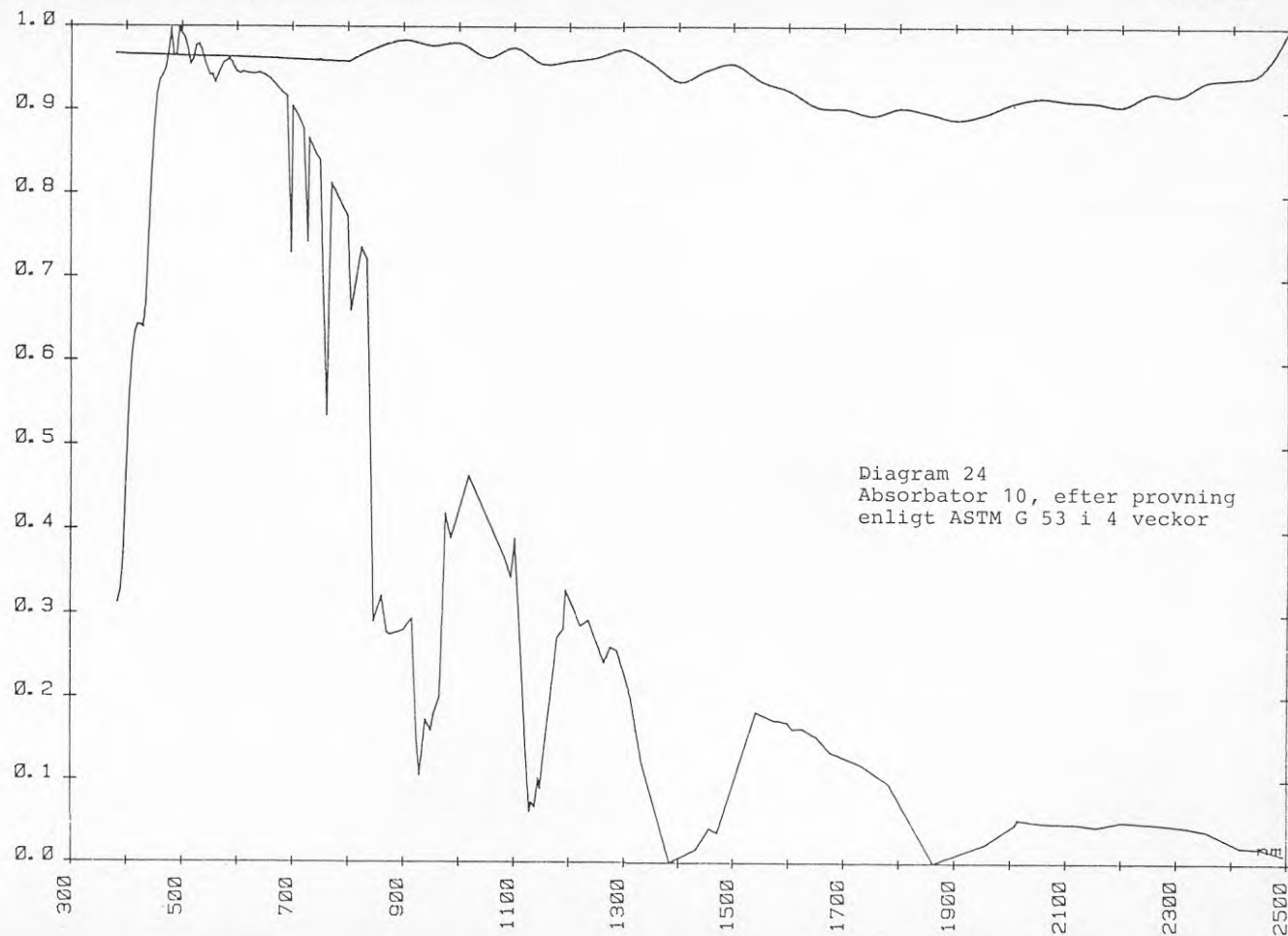
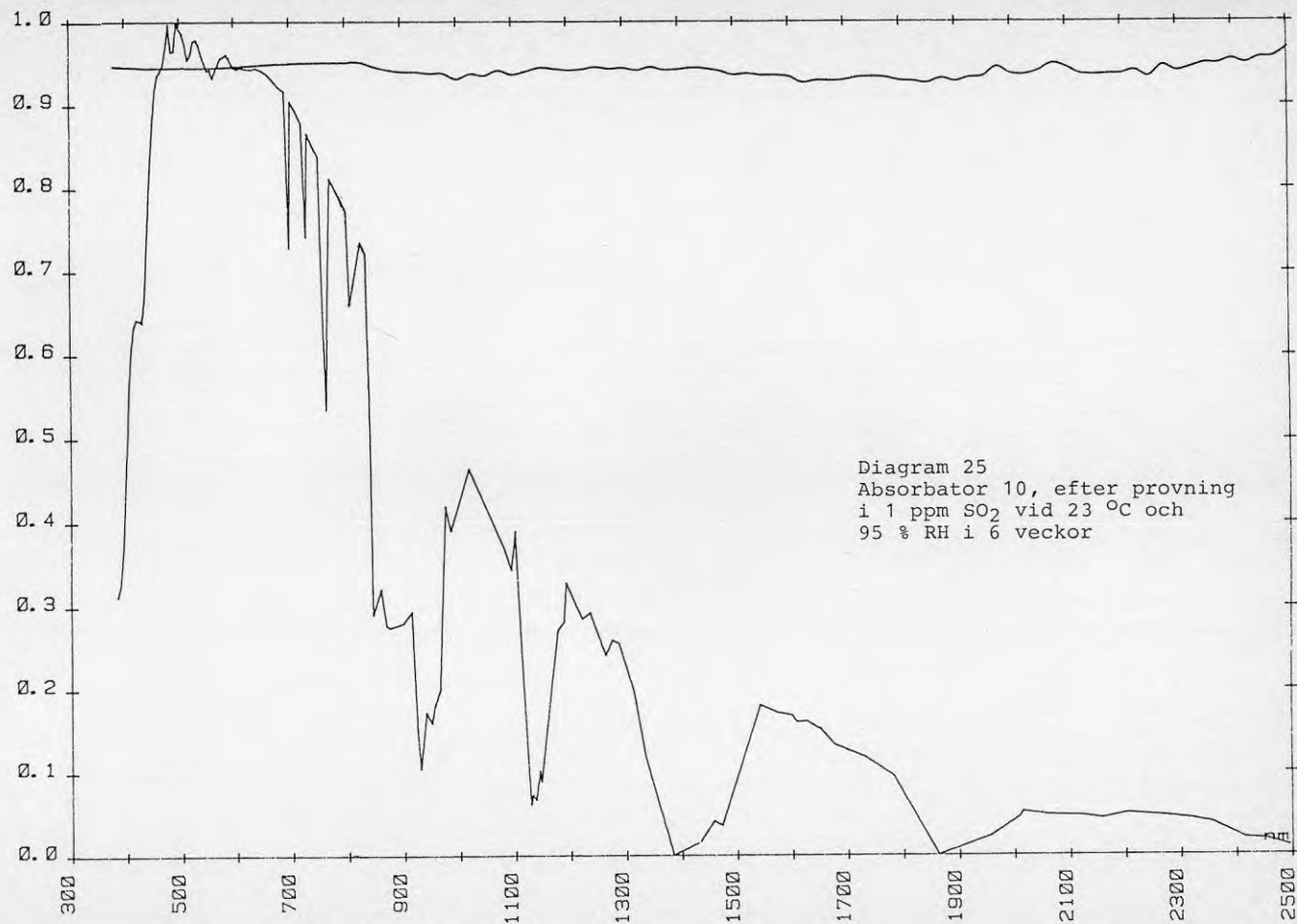
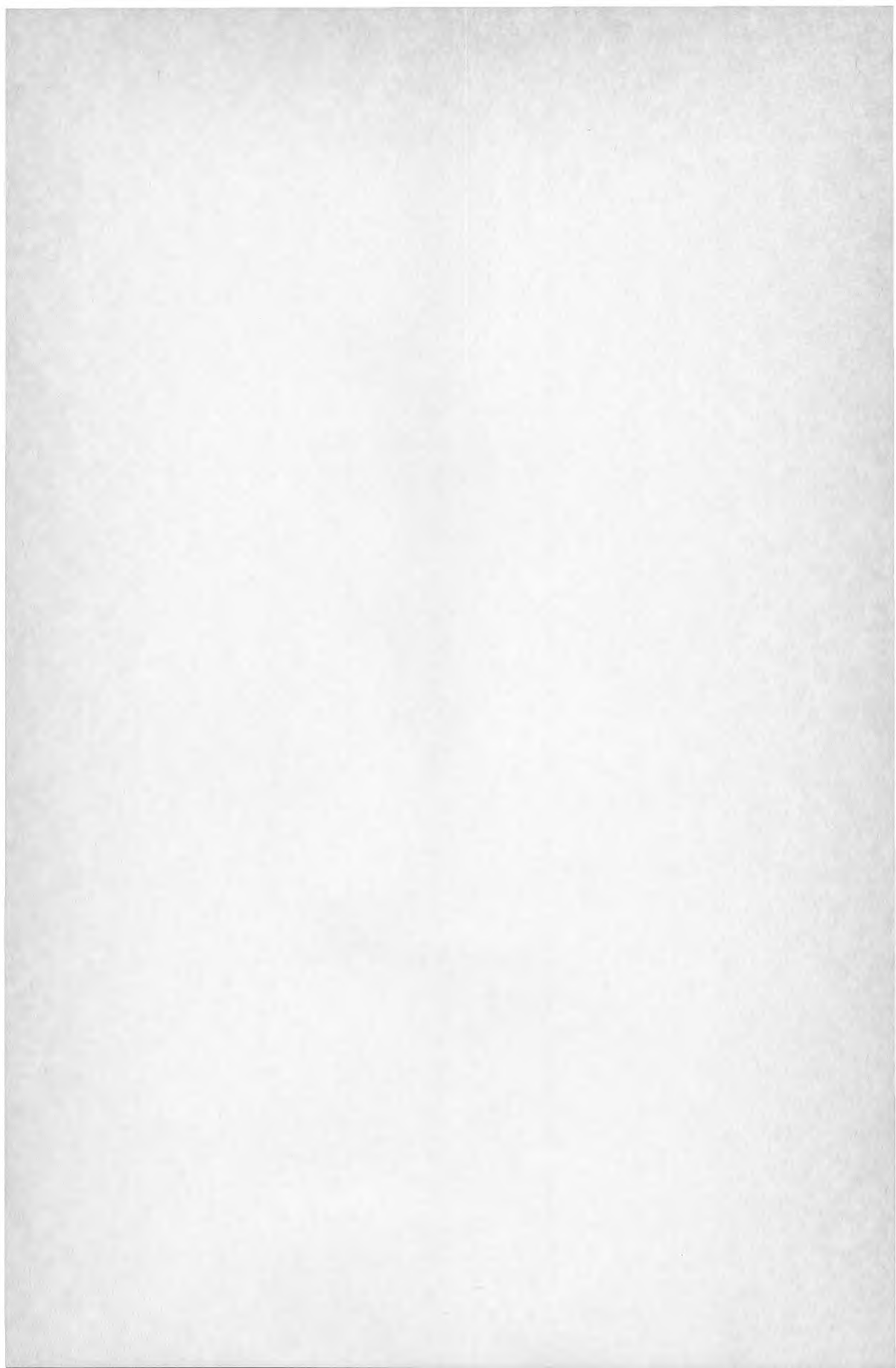


Diagram 22
Absorbator 10, efter provning
vid 90 °C och 95 % RH i
10 veckor











**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830108-0
från Statens råd för byggnadsforskning till Statens
provningsanstalt, Borås.**

R51: 1988

ISBN 91-540-4897-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6708051

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

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

Cirkapris: 39 kr exkl moms