

Bo-Lennart Andersson

Klassificering av atmosfärisk korrosivitet med hjälp av referenskuponger av olika metaller. Rekommenderade rutiner.

Abstract

Different methods can be used to determine the corrosivity of an environment, real or artificial. In this work routines for the indirect method by exposure of metal coupons is described.

For five different metals a proper quality is proposed.

The preparation of the metal coupons is very important for the exposure result and suitable preparation methods is described. The preparation consists of grinding, polishing and ultrasonic cleaning in ethanol.

For the exposure three different ways of mounting the coupons is described.

To evaluate the coupons after exposure different methods are used. In this work routines is proposed for determine weight gain, metal loss (after pickling), measurement of corrosion film thickness by cathodic reduction and analysis of the corrosion products by SEM and FTIR.

**SP Sveriges Provnings- och
Forskningsinstitut
SP Rapport 1999:10
ISBN 91-7848-767-6
ISSN 0284-5172
Borås 1999**

**SP Swedish National Testing and
Research Institute
SP Report 1999:10**

**Postal address:
Box 857, SE 501 15 BORÅS
Sweden
Telephone +46 (0)33 16 50 00
Telefax +46 (0)33 13 55 02
<http://www.sp.se>**

Innehållsförteckning

	Sida
Abstrakt	2
Innehållsförteckning	3
Inledning	4
Syfte	5
Sammanfattning	6
1 Utförande	7
1.1 Inledande försök	7
1.2 Litteratursökning	7
2 Resultat	8
2.1 Litteratursökning	8
2.2 Material för referenskuponger	9
2.3 Provpreparering	9
2.4 Rekommenderade exponeringsrutiner	11
2.5 Rekommenderade utvärderingsmetoder	11
2.6 Uppläggning av databas	12
3 Litteraturförteckning	14

Inledning

För att avgöra hur korrosiv en miljö är används olika metoder. Det mest direkta sättet är att mäta upp alla betingelser (temperatur, fukt, föroreningar etc.) som påverkar korrosiviteten. Detta sätt är samtidigt det svåraste sättet då alla samband mellan betingelserna och korrosiviteten i en given miljö ej är fullständigt kända.

Ett alternativt och indirekt sätt att bestämma korrosiviteten i en miljö är att exponera olika metallkuponger i miljön samt bestämma påverkan på dessa. Det finns i dag beskrivet på olika ställen hur bestämningen kan utföras.

I ISO 9226 beskrivs hur man med exponering av fyra olika metallkuponger (stål, zink, koppar och aluminium) klassificerar en utomhusmiljö. I denna standard finns ingen koppling till exponering av motsvarande kuponger i provningsmiljö för att kunna förutsäga livslängder utifrån provningsresultaten.

Inom elektronikbranchen finns en metod för klassificering av både utomhusmiljöer och provningsmiljöer samt att man kan förutsäga livslängden utifrån exponering av kopparkuponger. Metoden är framtagen av Batelle-institutet i USA.

Inom nyare standarder för provning ingår exponering av kopparkuponger (ev också silver) för att korrosiviteten i testerna. Exempel på nyare standarder är

- IEC 68-2-60, blandgastest för elektronik.
- ISO 10062, atmosfärisk korrosionstest med olika gaser.
- SP Metod 2499, atmosfärisk korrosionstest med salt och olika gaser.

I samtliga av dessa metoder föreskrivs exponering av referenskuponger av koppar samtidigt med provföremålen.

Syfte

Arbetet utfört i denna rapport syftar till att ta fram rutiner för bestämning av atmosfärisk korrosivitet med hjälp av exponering av referenskuponger i både provningsmiljöer och utomhusmiljöer. Arbetet har innefattat materialval, provprepareringsmetoder, exponeringsrutiner, utvärderingsrekommendationer och upprättande av en databas med resultat från olika exponeringar.

Sammanfattning

Rutiner för användning av referenskuponger vid bestämning av atmosfärisk korrosivitet har arbetats fram för både provningsmiljöer och utomhusmiljöer. Arbetet innefattade materialval, provprepareringsmetoder, exponeringsrutiner, rekommendationer för utvärdering samt upprättande av en databas med resultat från olika exponeringar.

Referenskuponger som föreslås är:

<i>Stål</i>	Paneler klippta ur 1mm plåt av SS-1147 (motsvarar ISO 630).
<i>Koppar</i>	Paneler klippta ur 1mm plåt av SS-5015 (motsvarar ISO Cu-DHP) används för alla miljöer (uppfyller kraven enligt ISO 9227). För miljöklassificering med katodisk reduktion som utvärdering används paneler klippta ur 0,5 mm plåt av SS-5015 (motsvarar ISO Cu-DHP) vilket är närmast OFHC som föreskrivs i IEC 68-2-60 och ISA-S71.04-1985.
<i>Zink</i>	Paneler klippta ur 1mm plåt med mer än 99% zink .
<i>Aluminium</i>	Paneler klippta ur 1mm plåt av SS-4007 (motsvarar Al 99,5 enligt ISO 6361).
<i>Silver</i>	Paneler klippta ur 1mm plåt av rensilver (>99.99% Ag).

Provpreparering som föreslås för stål och koppar är maskinslipning i steg ner till 15 μ m diamantsuspension, märkning, slutpolering för hand med 9-15 μ m diamantspray och ultraljudsvätt i etanol.

Provpreparering som föreslås för zink och silver är handpolering i steg till 15 μ m diamantsuspension, märkning, slutpolering för hand med 9-15 μ m diamantspray och ultraljudsvätt i etanol.

För aluminium föreslås endast avfettning, märkning och ultraljudsvätt i etanol.

För miljöklassning enligt ISA-S71.04-1985 används plexiglasstativ för referenskuponger med dammskydd. I varje referenskupong borrar 2 hål nära motstående kanter och referenskupongerna monteras på stativet med plastskruv och mutter. Över referenskupongerna med ett avstånd av cirka 1-2 cm monteras en plexiglasplatta som dammskydd. De på plexiglasstativen monterade referenskupongerna förpackas i dubbla förslutbara plastpåsar. Den innersta plastpåsen spolas före förslutningen rent med absolut ren och torr luft. Den yttre plastpåsen behandlas lika men i denna placeras även torkmedel (silicagel).

För miljöklassning utomhus enligt ISO 9226 monteras referenskupongerna på rostfria perforerade stålplåtar. Montering sker med rostfria skruv och isolatorer av teflon som klämmer fast referenspanelen på 4 sidor. Referenspanelerna monteras fritt lutande 45° vända mot söder eller nedåtvända under regnskydd.

För laboratorieförsök placeras referenspanelerna i provställ av plexiglas med skåror eller hängs upp. Ett hål tas då upp nära ena kanten på referenspanelen och upphängning görs med tunn plastlina (fiskelina ca 0,2 mm tjock).

För utvärdering av hur mycket metall som korroderat på referenspanelerna efter exponeringen kan några metoder komma i fråga.

1. Bestämning av viktsökning, metallförlust (efter betning)
2. Mätning av filmtjockleken på korrosionsprodukterna med katodisk reduktion
3. Korrosionsproduktsanalys med SEM och FTIR.

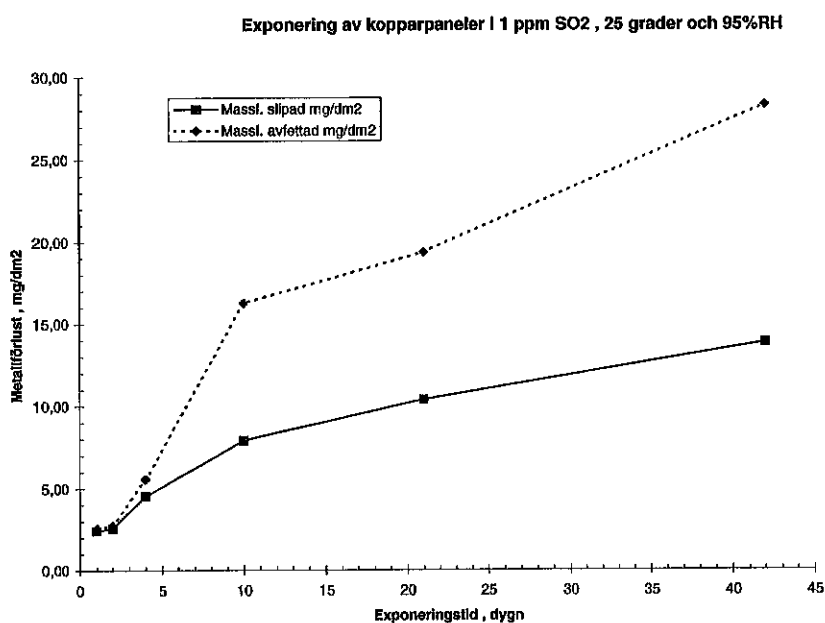
Resultaten införs lämpligen i en databas med uppgifter om exponeringsdata och resultat.

1 Utförande

1.1 Inledande försök

Paneler av stål, zink och koppar exponerades som referenspaneler vid ett IEA-projekt rörande absorbtorytor för solfångare. Kopparpanelerna som exponerades var dels slipade och dels enbart avfettade enligt rekommendationerna i ISO-standard 9226.

Resultatet enligt figuren nedan visar att enbart avfettning ger betydligt högre avfrätning på referenspaneler av koppar. Slutsatsen var att det är viktigt att preparera ytan genom noggrann slipning för att erhålla reproducerbara resultat



1.2 Litteratursökning

En litteratursökning utfördes med sökorden "atmospheric", "corrosion", "copper" och "silver" varvid följande aspekter speciellt studerades:

- material hos använda referenspaneler
- provpreparering av referenspanelerna
- utvärdering av referenspaneler efter exponeringar

2 Resultat och rekommendationer

2.1 Litteratursökning

En sammanfattning av litteratursökningens resultat ges i tabellen nedan och i övrigt hänvisas till litteraturlistan.

Ref nr:	Material	Provpreparering	Utvärdering
1	Al , CU , Zn , kolstål	Avfettning	ISO 8407
2	Cu OFHC	Slipning till 600(vax), avfettning acetone och isopropanol	Katodisk reduktion
3	Ag pure	Avfettning acetone och isopropanol	ISO 8407, katodisk reduktion och XPS
4	Cu electrolytical	Slipning till 600 (H2O) , tvätt i H2O torkning	Katodisk reduktion , kemisk analys
5	Cu (high purity)	Slipning till 800, avfettning acetone och vatten	ASTM G1-88 , SEM , EDX och röntgendiffraktion
6	Ni , Cu OFHC	Slipning till 600(H2O), avfettning acetone och isopropanol	Katodisk reduktion , XRF
7	Cu , Ms , Brons	Slipning till 600 , polering till 0,3	EDXA mätning av filmtjocklek
8	Cu OFHC , Ag 99,99%	Slipning till 1200, avfettning acetone och isopropanol	Viktsökning
9	Cu , Ms , Brons , nickelsilver	Avfettning etanol , tvättade i H2O	Besiktning och vägning
10	Zn >99,9%	Slipning till 1000 , ultraljudstvätt i etanol	Betning , depositions och desorptionsmätning
11	Cu OFHC , Ag 99,999% , Ni >99,99% , Co >99% , Fe 99,56%	Avfettning varm xylene, etanol och H2O	viktsökning , XPS , AES
12	Cu OFHC , Ag	Triavfettning , betning 10%HCl (ej Ag) , acetone	Viktsökning
13	Cu OFHC , Ag>99,99%	Slipning till 600 , H2O , etanol	Katodisk reduktion
14	Zn >99,9%	Slipning till 1000 , ultraljudstvätt i etanol	Viktsökning , betning , powder X-ray diffraction
15	Cu <10 ppm , Ni < 25 ppm	Slipning och polering till 1 my , acetone , isopropanol	In-situ IR , XPS , katodisk reduktion
16	electroplated Cu		Katodisk stripping voltametry , chronopotentiometric reduction

Resultat från litteraturstudierna och tidigare erhållna egna erfarenheter låg sedan som grund till följande rekommendationer.

2.2 Material för referenskuponger

Materialen i referenskupongerna valdes för att uppfylla kraven i ISO 9226 och ISA-S71.04-1985. För silver finns inga krav i någon standard och finsilver med halt >99,99% valdes därför.

Följande material rekommenderas för användning till referenskuponger:

- *Stål* Paneler klippta ur 1mm plåt av SS-1147 (motsvarar ISO 630).
- *Koppar* Paneler klippta ur 1mm plåt av SS-5015 (motsvarar ISO Cu-DHP) används för alla miljöer (uppfyller kraven enligt ISO 9227). För miljöklassificering med katodisk reduktion som utvärdering används paneler klippta ur 0,5 mm plåt av SS-5015 (motsvarar ISO Cu-DHP) vilket är närmast OFHC som föreskrivs i IEC 68-2-60 och ISA-S71.04-1985.
- *Zink* Paneler klippta ur 1mm plåt med mer än 99% zink , levererad av Tibnor.
- *Aluminium* Paneler klippta ur 1mm plåt av SS-4007 (motsvarar Al 99,5 enligt ISO 6361).
- *Silver* Paneler klippta ur 1mm plåt av rensilver (>99,99% Ag), levererad av Dansk Holländsk Ädelmetall AB.

2.3 Provpreparering

Val av provpreparering gjordes med hänsyn till rekommendationerna funna i litteraturen.

Koppar.

För koppar har nivån på provpreparering valts att motsvara minst kraven enligt ISA (ref 2). Slipning med vax som lubrikant är opraktiskt och en slipning med vatten enligt ref 4 och 6 är att föredra. Struers, som levererat vår provprepareringsutrustning för metallografi, rekommenderar i sin handbok "metalog Guide" (ref 17) ett lämpligt förfarande. En slipning med 220-papper och vatten som lubrikant följt av polering med 15µm diamantsuspension och etanolbaserad lubrikant. Praktiska försök visade att det var svårt att slipa kupongerna dubbelsidigt på detta sätt och få båda sidor acceptabla. En komplettering med en enkel polering för hand med 6 till 9 µm diamantspray efteråt visade sig räcka för att få bort de fläckar som kvarstod. Att fortsätta provprepareringen till finare ytstruktur ansågs ej vara motiverat för dessa ändamål.

Rekommenderad provpreparering av kopparkuponger.

1. Montera panelerna på plan provhållare med dubbelhäftande tejp.
2. Slipa 5 minuter på 220-papper med vattensmjörning tills panelerna är plana.
3. Skölj rent kupongerna med vatten och därefter sprit.
4. Polera proverna 5 minuter på Plan-duk med 15µm diamantsuspension och etanolbaserad slipvätska.
5. Avlägsna panelerna från provhållaren och om båda sidor skall slipas upprepa steg 1-4 på andra sidan.
6. Stansa in märkning i kupongerna och borra upp eventuella hål för montering.
7. Finputs kupongerna med diamantspray (6-15µm) och tvätta rent med sprit i ultraljudsbad. Blå kupongerna torra och förvara dem minst 30 min i exsickator före vägning.
8. Väg kupongerna så noggrant som möjligt.

Stål.

Eftersom stål är en hårdare metall arbetades en annan provpreparering fram. Det visade sig praktiskt svårt att slipa panelerna plana på 220-papper utan ett steg med 80-papper fick införas. Steget från 220-papper till 15 μ m diamantsuspension blev för långt och mellansteg med 500 och 800-papper fick införas. I övrigt följer förfarandet det för koppar och slutfinishen är den samma.

Rekommenderad provpreparering av stålkuponger

1. Montera panelerna på plan provhållare med dubbelhäftande tejp.
2. Slipa 5 minuter på 80-papper med vattensmörjning tills till panelerna är plana.
3. Skölj med vatten och slipa 5 minuter på 220-papper med vattensmörjning.
4. Skölj med vatten och slipa 5 minuter på 500-papper med vattensmörjning.
5. Skölj med vatten och slipa 5 minuter på 800-papper med vattensmörjning.
6. Skölj rent kupongerna med vatten och därefter sprit.
7. Polera proverna 5 minuter på Plan-duk med 15 μ m diamantsuspension och etanolbase-rad slipvätska.
8. Avlägsna panelerna från provhållaren och om båda sidor skall slipas upprepa steg 1-6 på andra sidan.
9. Stansa in märkning i kupongerna och borra upp eventuella hål för montering.
10. Finputs kupongerna med diamantspray (6-15 μ m) och tvätta rent med sprit i ultraljudsbad. Blås kupongerna torra och förvara dem minst 30 min i exsickator före vägning.
11. Väg kupongerna så noggrant som möjligt.

Zink och silver

Båda metallerna är så mjuka att det är svårt att montera kupongerna med dubbelhäftande tejp och sedan avlägsna dem utan att deformera dem. Att metallerna är så mjuka gör att man relativt lätt kan slipa dem i steg för hand varför detta förfarande har valts. Slutpoleringen för hand görs lika så slutfinishen blir den samma.

Rekommenderad provpreparering av silverkuponger och zinkkuponger

1. Slipa varje panel på båda sidorna med 800-papper.
2. Slipa varje panel på båda sidorna med 1200-papper och gör rent panelerna efteråt i ultraljud och etanol.
3. Stansa in märkning i kupongerna och borra upp eventuella hål
4. Slipa varje panel på båda sidorna med diamantspray och gör rent panelerna efteråt i ultraljud och etanol.
5. Blås kupongerna torra och förvara dem minst 30 min i exsickator före vägning.
6. Väg kupongerna så noggrant som möjligt.

Aluminium

Aluminium är svårare att slipa och utvärdera på ett reproducerbart sätt och därför har inte någon provpreparering arbetats fram. En avfettning av panelerna enligt ISO 9226 utförs därför endast på kuponger av aluminium.

Rekommenderad provpreparering av aluminiumkuponger

1. Stansa in märkning i kupongerna och borra upp eventuella hål
2. Avfetta panelerna i ultraljud och etanol.
3. Blås kupongerna torra och förvara dem minst 30 min i exsickator före vägning.
4. Väg kupongerna så noggrant som möjligt.

2.4 Rekommenderade exponeringsrutiner

Referenskupongerna exponeras lämpligen hängande så att luften får fritt tillträde. Inga spalter eller skärmningar av materialet får förekomma. 3 olika varianter förekommer:

2.4.1 Miljökaraktisering i fält enligt ISA-S71.04-1985

Vid miljöklassning enligt ISA-S71.04-1985 används plexiglasstativ med dammskydd. I varje referenskupong borrar 2 hål nära motstående kanter och referenskupongerna monteras på stativet med plastskruv och mutter. Över referenskupongerna med en avstånd av cirka 1-2 cm monteras en plexiglasplatta som dammskydd. De på plexiglasstativen monterade referenskupongerna förpackas i dubbla förslutbara plastpåsar. Den innersta plastpåsen spolats före förslutningen rent med absolut ren och torr luft. Den yttre plastpåsen behandlas lika men i denna placeras även torkmedel (silicagel).

2.4.2 Miljökaraktisering i fält enligt ISO 9226

Vid miljöklassning utomhus enligt ISO 9226 monteras referenskupongerna på rostfria perforerade stålplåtar. Montering sker med rostfri skruv och isolatorer av teflon som klämmer fast referenspanelen på 4 sidor. Referenspanelerna monteras fritt lutande 45° vända mot söder eller nedåtvända under regnskydd.

2.4.3 Miljökaraktisering vid accelererade tester

Vid laboratorieförsök placeras referenspanelerna i provställ av plexiglas med skåror eller hängs upp. Ett hål tas då upp nära ena kanten på referenspanelen och upphängning görs med tunn plastlina (fiskelina ca 0,2 mm tjock).

2.5 Rekommenderade utvärderingsmetoder

Av de i litteraturstudien använda utvärderingsmetoderna för korrosion på referenspanelerna valdes ett antal ut med hänsyn till på SP befintlig utrustning. Utrustning för bestämning av filmskiktjocklek med katodisk reduktion inköptes. Denna ansågs vara nödvändig för att kunna uppfylla kraven i ISA-S71.04-1985. De metoder som valdes ut var:

2.5.1 Viktsökning

Referenskupongerna vägs på analysvåg före och efter exponeringen. Före varje vägning skall kupongerna förvaras i exsickator och vid samma temperatur som vågen i minst 30 minuter. Efter exponering behöver kupongerna förvaras en längre tid i exsickator innan jämnvikt uppnåtts (upptorkning av fukt). Tider på 1 dygn till en vecka kan behövas. Upprepade vägningar till konstant vikt erhålls skall utföras. I vissa fall behövs även den "våta vikten" för panelerna bestämmas. I de fallen förvaras kupongerna i exsickator med samma luftfuktighet som under testet (lämplig mättad saltlösning i botten av exsickatorn). Referenskupongerna tas ur den fuktiga exsickatorn och vägs efter en bestämd tid på vågskålen (jämnvikt inväntas ej) t.ex. 1 minut. Ur skillnaden mellan "våt vikt" och "torr vikt" får man ett mått på hur mycket vatten korrosionsprodukterna innehåller.

2.5.2. Metallförlust - avlägsnande av korrosionsprodukterna genom betning

Referenskupongerna vägs på samma sätt som ovan (2.5.1) och korrosionsprodukterna betas därefter bort enligt SP-metod 891. Efter betningen vägs panelerna och metallförlusten beräknas.

2.5.3. Mätning av filmtjockleken - katodisk reduktion

Referenskupongerna vägs på samma sätt som ovan (3.5.1) och filmtjockleken bestäms sedan med katodisk reduktion. Utförandet baseras på SP AR 1994-03 (Lennart Carlsson 93-12-14) och praktisk mätning se bilaga 4. Utvärderingen sker enligt denna och rekommendationer av "Fiaud" i referens 4.

2.5.4. Korrosionsproduktsanalys - SEM och FTIR-analyser

SEM-analyser.

Hela referenspanelen monteras med ledande dubbelhäftande tejp på provhållare. Analys vid lägsta förstoring är att föredra då analysresultatet baseras på så stor yta som möjligt. Finns fläckar på referenspanelerna analyseras dessa i närbild.

FTIR-analyser

Hela referenspanelen analyseras i FTIR och som 0-prov används renslipad panel av samma material. Beskrivning över förfarandet finns i bilaga 5.

2.6 Uppläggning av databas

En databas i Excel för lagring av data från exponeringar av referenskuponger i olika miljöer konstruerades. Databasen innehåller uppgifter för koppar och silver om:

- Märkning
- Datum
- Typ av exponering (lab- eller fältexponering)
- Exponeringstid
- Miljö
- Övrigt
- Exponeringsyta
- Utvärderingsresultat (vikter, filmtjocklek etc.)

I tabellen nedan ges exempel vad gäller koppar.

Databas för koppar sid 1 (betingelser)

Märkt	Datum	Exp.typ	Tid	Provprep.	Fukt	Temp	SO2	NO2	H2S	NH3	CL2	Miljö	Övrigt
			d		%RH		ppb	ppb	ppb	ppb	ppb		
1	94.03.01	L	28	2	90	25	0	100	100	9000	0	IVF-alk	
2	94.03.01	L	28	2	90	25	0	100	100	9000	0	IVF-alk	
5	94.03.01	L	28	2	90	25	0	100	100	9000	0	IVF-alk	OFHC
6	94.03.01	L	28	2	90	25	0	100	100	9000	0	IVF-alk	OFHC
3	94.03.01	L	28	2	90	25	700	500	100	0	0	IVF-sur	
4	94.03.01	L	28	2	90	25	700	500	100	0	0	IVF-sur	
7	94.03.01	L	28	2	90	25	700	500	100	0	0	IVF-sur	OFHC
8	94.03.01	L	28	2	90	25	700	500	100	0	0	IVF-sur	OFHC

Databas för koppar sid 2 (resultat)

Märkt	Datum	exp.yta	Vikt före	Vikt saltad	NaCl	Vikt efter	Viktökn.	Vikt avrost	Metallf	Kat.red.
		dm2	g	g	myg/cm2	g	mg/dm2 dag	g	mg/dm2	Å
1	94.03.01	0,5	25,49790			25,5021	0,30			3500
2	94.03.01	0,5	24,53050			24,5362	0,41			
5	94.03.01	0,5	8,51160			8,5148	0,23			
6	94.03.01	0,5	8,42500			8,4359	0,78			
3	94.03.01	0,5	23,95500			23,9615	0,46			
4	94.03.01	0,5	24,86630			24,8753	0,64			7500
7	94.03.01	0,5	8,13510			8,1439	0,63			
8	94.03.01	0,5	8,46960			8,4752	0,40			

Utskriften från Excel ryms inte på en sida utan exponeringsbetingelser skrivs ut på första sidan och resultaten av exponeringen skrivs ut på andra sidan.

3 Litteraturförteckning

Ref nr:	Titel	Författare	Publicering
1	Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity		ISO 9226
2	Environmental Conditions for process Measurement and Control systems : Airborne Contaminants		ISA-S71.04-1985
3	Acid deposition effects on materials : evaluation of silver after 4 years of exposure	J.Tidblad C.Leygraf V.Kucera	Proceedings of 12 th Scandinavian Corrosion Congress Eurocorr 92 sid 179-187
4	Identification of the corrosion products formed on copper in sulphur containing environments	C.Fiaud M.Safavi J.Vedel	Werkstoffe und Korrosion 35 1984 , sid 361-366
5	Corrosion of copper in Arabian Gulf atmosphere	E.A.Taqi	British Corrosion Journal , 1984 , vol 29 , sid 75-77
6	Corrosive Gas Environmental Testing for Electrical Contacts	R.Gore R.Witska J.R.Kirby J.Chao	IEEE Transaction on Components , Hybrids and Manufacturing technology vol 13 march 1990 sid 27-32
7	Degradation of Copper and Copper Alloys by Atmospheric Sulphur	J.Franey	Degradation of Metals in the Atmosphere ASTM stp 965 sid 306 - 314
8	Atmospheric corrosivity mapping of a pulp and paper industry: exposure description and preliminary analysis	M.Forslund J.Majaros C.Leygraf	Proceedings of 12 th Scandinavian Corrosion Congress Eurocorr 92 sid 179-187
9	Accelerated atmospheric corrosion of copper and copper alloys	A.Sterling A.Atrens I.O.Smith	British Corrosion Journal , 1990 , vol 25 , sid 271-278
10	Sulfidation of Zinc by Traces of hydrogen sulphide in air	J-E.Svensson L-G.Johansson	Journal of Electrochemical Society vol 142 May 1995 sid 1484-1489
11	Indoor corrosion of metals	D.W.Rice R.J.Cappell W.Kinsolving J.J. Laskowski	Journal of Electrochemical Society April 1980 sid 891-901
12	Effect of gas flow velocity on tarnish kinetics of contact materials	M.Ishino M.Kishimoto K.Matsui S.Mitani	IEEE Transaction on Components , Hybrids and Manufacturing technology vol 3 1980 sid 63-66
13	The effect of nitrogen dioxide and chlorine on the tarnishing of copper and silver in the presence of hydrogen sulphide	C.Fiaud J.Guinement	Proceedings of Electrochemical Society 1986, 86-6 Sid 208 - 304
14	A laboratory study of the initial stages of the atmospheric corrosion of zinc in the presence of NaCl; influence of SO ₂ and NO ₂	J-E.Svensson L-G.Johansson	Corrosion Science vol 34 1993 sid 721-740
15	In-situ infrared reflection absorption spectroscopy for atmospheric corrosion studies of copper and nickel	D.Persson C.Leygraf	Proceedings of 12 th Scandinavian Corrosion Congress Eurocorr 92 sid 179-187
16	On the atmospheric corrosion of thin copper films	R.E.v.d.Leest	Werkstoffe und Korrosion 37 sid 629-632
17	Metalog Guide	L.Bjerregaard K.Geels B.Ottesen M.Rückert	Struers Tech AS
18	Inledande försök med katodisk reduktion	L.Carlsson	SP AR 1994-03