

NILU : OR 3/95
REFERANSE : O-8208
DATO : JANUAR 1995
ISBN : 82-425-0647-7

Korrosjonsforholdene ved Borregaard fabrikker

Jan F. Henriksen

Innhold

Side

Sammendrag	2
1. Innledning	3
2. Viktige prosjekter på Borregaard feltstasjon	3
3. Måleprogram.....	3
4. Resultater	4
5. Diskusjon	5
6. Konklusjoner	9
7. Referanser	9

Sammendrag

Norsk institutt for luftforskning (NILU) har benyttet taket på automasjonsbygget til studier av materialers bestandighet i industriatmosfære fra 1973 og frem til januar 1995. Utprøvinger vil fra 1995 bli flyttet til et annet tak på Borregaard. Fra november 1981 har feltundersøkelsene på Borregaard inkludert en løpende overvåkning av korrosjonsforholdene ved bruk av ett-års eksponering av prøveplater av karbonstål, ved siden av målinger av de viktigste forurensningsparametere.

En analyse av disse dataene viser at både korrosjonsmiljøet og forurensningsmiljøet er blitt betydelig forbedret i overvåkningsperioden. Korrosjonen er blitt redusert med gjennomsnittlig 43 g/m²•år, eller halvert i løpet av 10 år. SO₂-konsentrasjonen er blitt redusert med 7,9 µg SO₂/m³•år, som vil utgjøre en reduksjon på ca. 75% i løpet av perioden.

Korrosjonsforholdene ved Borregaard fabrikker

1. Innledning

Norsk institutt for luftforskning (NILU) har helt siden 1975 hatt et godt samarbeid med Borregaard fabrikker for utprøving av materialer. Dette har medført at NILU har kunnet disponere taket på automasjonsbygget til utprøving av materialers bestandighet i forurenset atmosfære. Fra 1995 vil målestasjonen bli flyttet fra taket på automasjonsbygget til taket på sentralverkstedet. Som en del av avtalen om flytting til sentralverkstedet, har Borregaard fabrikker ønsket en rapport som beskriver de korrosjonsforhold som er observert over tid på vår feltstasjon.

2. Viktige prosjekter på Borregaard feltstasjon

For NILU har Borregaard feltstasjon vært en meget viktig stasjon. I den første tiden under NORDFORSK-prosjektet var det primært dose-respons-rettete problemstillinger som ble studert (Kucera et al., 1986). Fra 1981 kom korrosjonsmålingene med i SFTs overvåkningsprogram (Haagenrud et al., 1984) og fra da av og frem til i dag har en hatt et løpende måleprogram med årsverdier for vekttap for karbonstål (Anda og Henriksen, 1988; Henriksen og Ofstad, 1988; 1989; Ofstad, 1990; 1991; 1993). Fra 1983 ble feltstasjonen en nordisk utprøvningsstasjon ved at NILU og Korrosionsinstituttet i Sverige inngikk en samarbeidsavtale om testing på stasjonen. Fra 1987 har Borregaard vært en teststasjon i et stort europeisk testprogram "UN/ECE International co-operative programme on effects on materials, including historic and cultural monuments" (Kucera et al., 1992).

I tillegg til disse mer mekanismerettete studiene har feltstasjonen vært en viktig stasjon for uttesting av materialers bestandighet, korrosjonshastigheten for industrielle produkter og korrosjonsbeskyttende egenskaper til ulike belegg i industrimiljø.

3. Måleprogram

Korrosjonsforskningen ved NILU har som et hovedmål å studere miljøets virkning på materialer. Vi har derfor helt fra etableringen av stasjonen hatt parallelle målinger av miljøets sammensetning og korrosjonsmålinger. Omfanget av miljømålingene, hyppigheten og type korrosjonsmålinger har variert med tiden og med de krav som de nye prosjektene på stasjonen har satt. Fra 1981 har NILU gjennomført et overvåkningsprogram med stålplater på stasjonen. Stålprøvene har vært eksponert i 45° vinkel mot sør med start i november måned hvert år. Det vil si at første ett-års prøver startet november 1981.

Eksponeringen hadde som primærhensikt å dokumentere miljøets aggressivitet i SFTs overvåkningsprogram og overfor de kunder som tester materialer på

stasjonen. Prøvene er dessuten velegnet til en trendanalyse av hvorledes korrosjonsforholdene har forandret seg over tid.

Miljømålingene på stasjonen har vært svært omfattende. Noen av parameterene har stor betydning for korrosjonsforholdene, andre er inkludert mer for å kunne ha en god kvalitetskontroll av analysene. De viktigste parameterene er:

Gasser:	SO ₂ µg/m ³ (midlere døgnverdi) NO ₂ µg/m ³ fra 1987 (midlere døgnverdi)
Nedbør:	pH og mengde (mm) (ukesverdi)
Tørravsetning:	Klorforbindelser målt som klorid (månedsverdi)
Klima:	Temperatur og relativ fuktighet for våttidsbestemmelse (kontinuerlig T > 0°C samtidig med RH % > 80%)

4. Resultater

Årskorrosjonen for stål er vist i tabell 1 for perioden november 1981–1993. Prøvene fra 1994 er ikke analysert.

Tabell 1: Årskorrosjonen på Borregaard. Eksponeringsperiode november–oktober.

Periode	Korrosjon karbonstål g/m ² ·år	Midlere tykkelsesreduksjon µm
1981–82	976	124
1982–83	974	124
1983–84	619	79
1984–85	720	92
1985–86	512	72
1986–87	558	71
1987–88	767	98
1988–89	560	71
1989–90	504	64
1990–91	500	64
1991–92	484	62
1992–93	411	53

De mest aktuelle miljøparameterene er vist i tabell 2. Den rapporterte våttiden er beregnet ut fra temperatur og relativ fuktighetsmålinger som tid i timer pr. år med RH > 80% og T > 0°C.

De presenterte dataene for SO₂, NO₂, pH og tørravsatt klorid er middelverdier beregnet over kalenderåret, mens våttid og mengde nedbør er summen av alle observasjonene i kalenderåret.

Tabell 2: Årsverdier for SO_2 , NO_2 , pH, mm nedbør, tørravsatt Cl^- , og våttid for perioden 1982–1992.

Periode	Årsmiddel		Nedbør		Tørravsatt Cl mg/m ² ·d	Våttid h/år
	SO ₂ µg/m ³	NO ₂ µg/m ³	pH	mengde mm		
1982	112		3,85	617	2,8	2879
1983	89		3,95	639	11,7	3559
1984	87		3,85	626	6,6	2955
1985	70		3,75	817	5,5	3687
1986	77		3,85	640	5,7	3540
1987	42		3,90	795	4,4	2842
1988	39	20	4,00	994	4,1	3190
1989	51	17	3,89	328	5,5	3828
1990	38	16	4,03	588	3,8	3813
1991	30	17	4,11	489	8,8	3461
1992	31	17	4,25	662	9,1	3568

5. Diskusjon

Det har vært en betydelig nedgang i korrosjonshastigheten på Borregaard i den tidsperioden hvor en har hatt systematiske registreringer av ett-års korrosjon av karbonstål. I dag er den forventete korrosjonshastigheten halvparten av den hastigheten som ble registrert i 1982 og 1983, se figur 1. Reduksjonen skyldes i det alt vesentligste reduksjoner i SO_2 -utslippene ved Borregaard. Den beregnede lineære regresjonslinjen gjennom datamassen er inntegnet på figur 1. Vinkelkoeffisienten er $a_{\text{kor}} = -43,1$ med standardavvik $S_a = \pm 9,0$ og forklart varians $R^2 = 0,70$. I snitt har en altså oppnådd en korrosjonsbesparelse på 43,1 g stål/m² pr. år i perioden 1982 til 1993.

I tidsperioden 1982 til 1992 har den midlere SO_2 -konsentrasjonen på årsbasis blitt redusert med en faktor mellom 3 og 4, fra 112 µg SO_2 /m³ til 31 µg SO_2 /m³, se figur 2. Den beregnede lineære regresjonslinjen gjennom SO_2 -verdiene er beregnet og vist på figur 2. Vinkelkoeffisienten er $a_{SO_2} = -7,9$ med standardavvik $S_a = \pm 1,0$ og forklart varians $R^2 = 0,88$. Den gjennomsnittlige reduksjonen i det midlere SO_2 -nivået har vært på 7,95 µg SO_2 /m³ pr. år for perioden 1982 til 1992.

At korrosjonshastigheten reduseres med en mindre faktor enn SO_2 -konsentrasjonen skyldes at korrosjonen påvirkes av mange miljøparametere. Ved siden av ulike forurensninger som SO_2 , ozon og pH i nedbør vil korrosjon også finne sted i ren atmosfære påvirket av klimatiske faktorer som nedbør, kondens, tåke og andre faktorer som skaper fuktighet på overflaten. Fuktigheten er også nødvendig for at SO_2 skal være korrosiv. Dette illustreres best når en ser på resultatene fra 1985 og 1988. Disse to årene får en øket korrosjon selv om forurensningene er redusert fordi nedbørmengden de to årene er betydelig over gjennomsnittet. Tilsvarende har den økte middelkonsentrasjonen for SO_2 i 1989 liten virkning fordi nedbøren er betydelig under gjennomsnittet det året.

Andre faktorer som en vet har betydning for korrosjonsforholdene er listet i tabell 2. NO_2 kan oksidere SO_2 til svovelsyre og derved øke effekten av SO_2 . Konsentrasjonen av NO_2 målt ved Borregaard fabrikker ligger på et nivå som er vanlig i tettbygde strøk og skyldes primært biltrafikken. Noen spesiell effekt av

NO₂ er det derfor vanskelig å dokumentere ved Borregaard. Sur nedbør virker korroderende. På Borregaard har det i perioden vært en tendens til høyere pH, altså mindre surt miljø. Denne tendensen skulle derfor bidra til en redusert korrosjon.

Klorid øker korrosjonshastigheten på svært mange materialer. I Norge er en dominerende kilde til klorid; sjøsalt-partikler. På Borregaard har en imidlertid et klorblekeri med et visst utslipp av reaktive klorforbindelser til luft. Dette er sannsynligvis den viktigste årsaken til at en ikke har fått en ytterligere reduksjon av korrosjonshastigheten i området.

I dag markedsføres det blekeriprosesser med ozon istedenfor hypokloritt som blekemiddel. Korrosjonsmessig er det lite å tjene på et ozonbasert blekeri. Erfaringene fra overgang fra hypokloritt til ozon i Sverige har vist at korrosjonen ofte blir høyere i området etter utskiftingen.

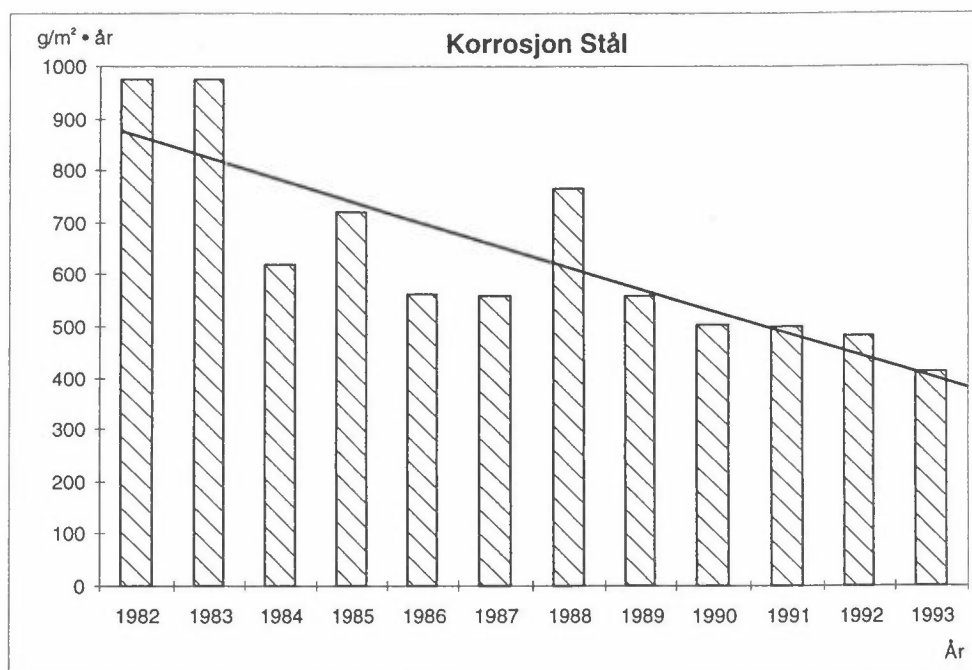
I de internasjonale standardiseringsorganisasjonene er korrosjonsmiljøet klassifisert både på grunnlag av vektapsmålinger og ut fra miljømålinger. ISO 9223 utgitt i 1992 gir en slik klassifisering basert enten på korrosjon av stål eller på måling av SO₂, klorid og våttid.

Tabell 3 viser Borregaards klassifisering ved bruk av ISO 9223 og tabell 4 viser den komplette tabell for karbonstål.

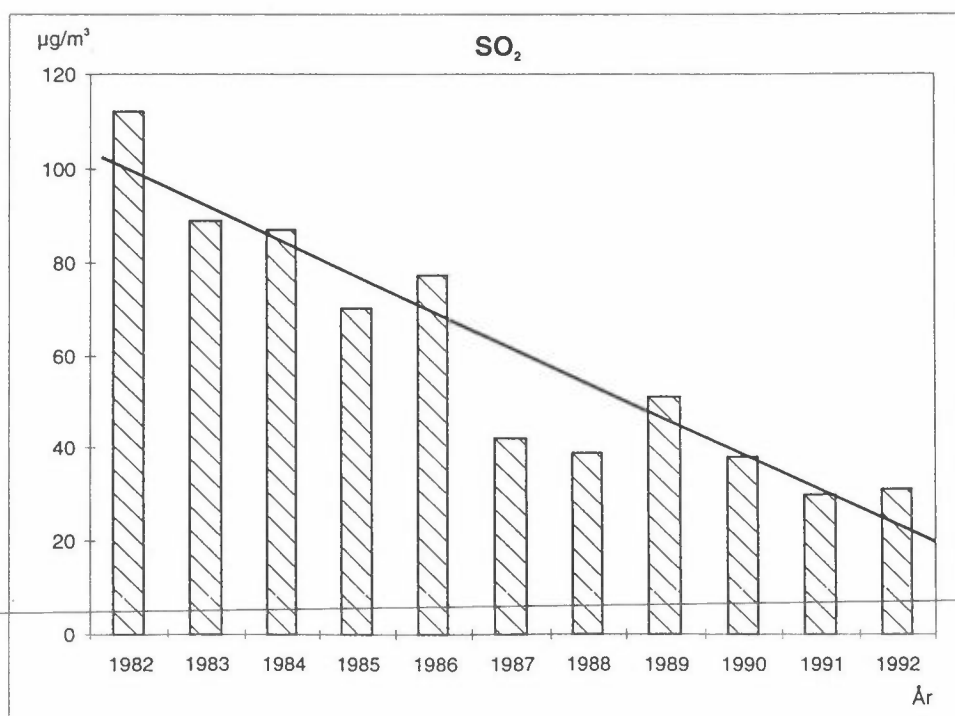
Tabell 3: Korrosjons- og forurensningssituasjonen ved Borregaard fabrikker klassifisert etter ISO 9223.

Korrosjons-klasse	Korrosjonshastighet r_{corr} g/m ² ·år	Våttid timer/år
C1	$r_{\text{corr}} \leq 10$	Klasse τ_4 (Borregaard) $2500 < \tau \leq 5500$
C2	$10 < r_{\text{corr}} \leq 200$	
C3	$200 < r_{\text{corr}} \leq 400$	
C4	$400 < r_{\text{corr}} \leq 650$	
C5	$650 < r_{\text{corr}} \leq 1500$	
Kloridbestandighet i mg/m ² ·d		
SO ₂ µg/m ³	Forurensningsklasse	Klasse S ₁ (Borregaard) $3 < S \leq 60$
$P \leq 12$	P ₀	Korrosjonsklasse C3 C3 C4 Borregaard 1984, 1986–87, 1989–1993 C5 Borregaard 1982–83, 1985, 1988
$12 < P \leq 40$	P ₁ (Borregaard 1988, 1990–92)	
$40 < P \leq 90$	P ₂ (Borregaard 1983–86, 1989)	
$90 < P \leq 250$	P ₃ (Borregaard 1982)	

Tabell 3 viser at Borregaard var klassifisert i høyeste korrosjonsklasse C5 i begynnelsen av 80-årene. Etter 1989 har stasjonen ligget i nest høyeste klasse C4. I 1993 er korrosjonsklassen svært nær grensen for C3. I Norge er C3 en vanlig korrosjonsklasse i store deler av landet, og bare kalde eller tørre strøk av landet kan komme ned i klasse C2. Det vil si at de miljømessige tiltak som er utført de senere år ved Borregaard har hatt betydelig effekt på materialers levetid, og at en selv inne på Borregaards område nærmer seg en korrosjonshastighet som er vanlig i store deler av Norge.



Figur 1: Ett års korrosjon for karbonstål i perioden 1982 til 1993 med lineær regresjonslinje inntegnet. Eksponeringsperioden november året før til november i rapporteringsåret.



Figur 2: Midlere årlige SO₂-konsentrasjoner for perioden 1982 til 1992 med lineær regresjonslinje inntegnet.

Tabell 4: Oversikt over korrosjonsklasser for karbonstål og den sammenheng som en har mellom SO₂, klorid og våttid og korrosjonsklasser etter ISO 9223.

Table A.1 — Derivation of corrosivity of atmospheres for carbon steel

Corrosivity category	Corrosion rate		Time of wetness ¹⁾ expressed in hours where RH > 80 %, θ > 0 °C (h/a)																				
	r _{corr} (1st year) ²⁾ g/(m ² ·a)	r _{lin} (steady state) ³⁾ μm/a	τ ≤ 10 (class τ ₁) Indoors, climatic control	10 < τ ≤ 250 (class τ ₂) Indoors, no climatic control except in damp climates	250 < τ ≤ 2 500 (class τ ₃) Outdoors in dry, cold climates, ventilated sheds in temperate climates	2 500 < τ ≤ 5 500 (class τ ₄) Outdoors in temperate climates, unventilated sheds in damp climates	τ > 5 500 (class τ ₅) Outdoors in damp climates; humid, unventilated sheds																
C 1	r _{corr} ≤ 10	r _{lin} ≤ 0,1																					
C 2	10 < r _{corr} ≤ 200	0,1 < r _{lin} ≤ 1,5																					
C 3	200 < r _{corr} ≤ 400	1,5 < r _{lin} ≤ 6																					
C 4	400 < r _{corr} ≤ 650	6 < r _{lin} ≤ 20																					
C 5	650 < r _{corr} ≤ 1 500	20 < r _{lin} ≤ 90																					
Airborne salinity ⁴⁾																							
Chloride deposition rate [mg/(m ² ·d)]																							
Industrial pollution ⁵⁾ by sulfur dioxide (SO ₂)	Category		S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	
Concentration μg/m ³	Deposition rate mg/(m ² ·d)																						
P ₀ ≤ 12	P ₀ ≤ 10		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12 < P _c ≤ 40	10 < P _d ≤ 35		1	1	2	3	2 or 3	2	3	3	2 or 3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
40 < P _c ≤ 90	35 < P _d ≤ 80		1	1	2 or 3	3	3 or 4	2 or 3	3	3	3 or 4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
90 < P _c ≤ 250	60 < P _d ≤ 200		1 or 2	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
NOTE — Corrosivity is expressed as the numerical part of the corrosivity category code (for example: 1 instead of C 1) — see table 6.																							
1) See table 1.																							
2) See table 5.																							
3) See ISO 9224 (steady state corrosion rate derived from long-term atmospheric exposure).																							
4) See table 3.																							
5) See table 2.																							

6. Konklusjoner

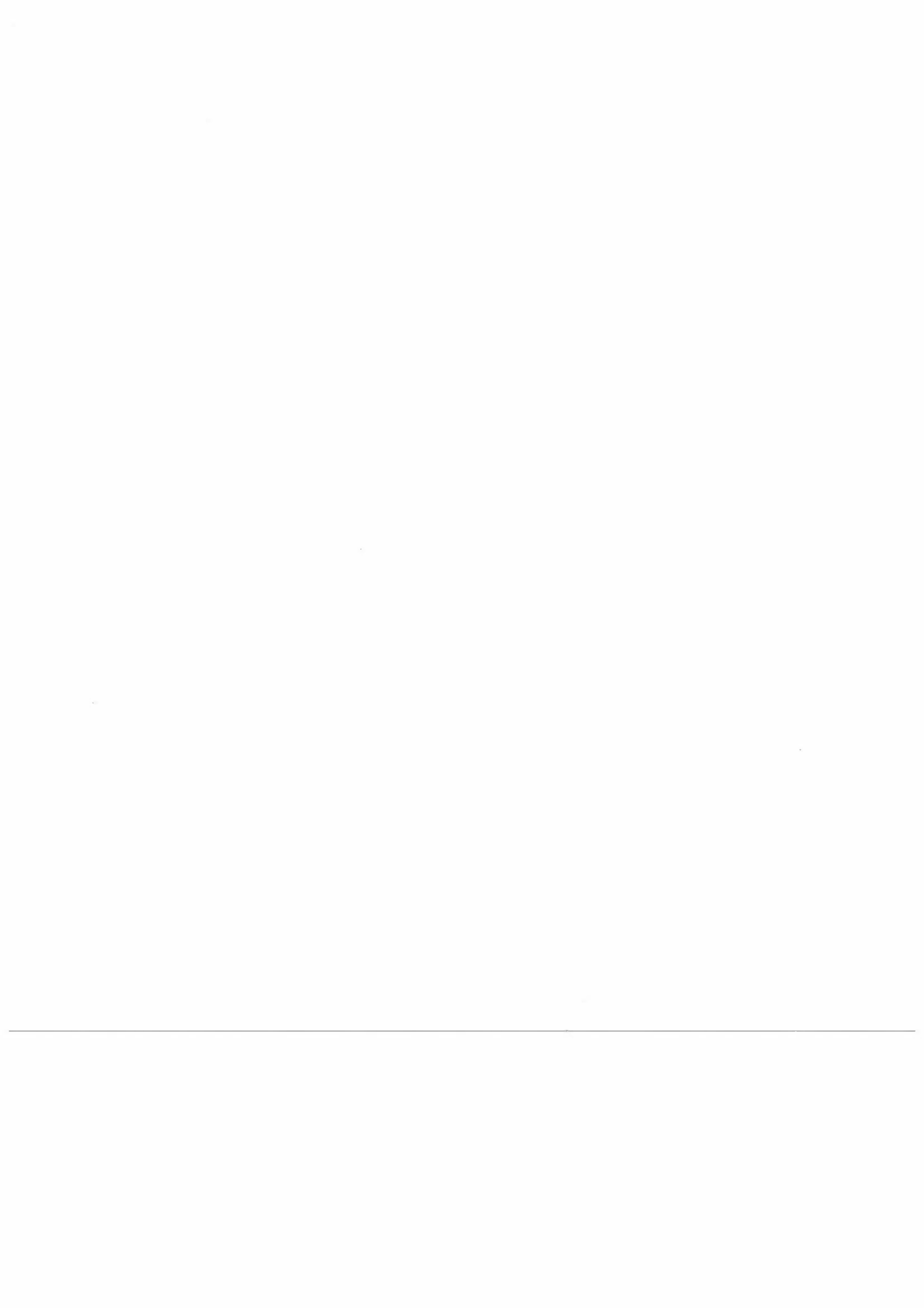
De miljømessige forbedringer som er gjennomført ved Borregaard fabrikker har hatt dokumentert effekt. Korrosjonshastigheten for stål er halvert i løpet av de siste 10 år. SO₂-konsentrasjonen er redusert med en faktor 3 og surheten i nedbør har minket.

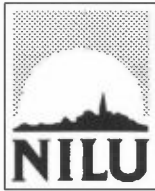
I dagens situasjon betyr de klimatiske parametere mye for den totale korrosjonshastigheten og forurensningenes betydning er redusert. I henhold til internasjonal klassifisering er Borregaard feltstasjon fremdeles noe belastet av forurensningene, men nærmer seg betraktelig et vanlig norsk korrosjonsmiljø utenfor et industriområde.

7. Referanser

- Anda, O. og Henriksen, J.F. (1988) Overvåking av korrosjon 1981–1986. Lillestrøm (NILU OR 32/88).
- Haagenrud, S.E., Henriksen, J.F. og Gram, F. (1984) Basisundersøkelse i Sarpsborg og Fredrikstad 1981–83. Sluttrapport. Delrapport B: Korrosjon og miljø. Lillestrøm (NILU OR 28/84).
- Henriksen, J.F. og Ofstad, T. (1988) Rutineovervåking av luftforurensninger. Korrosjonsmålinger 1987. Datarapport. Lillestrøm (NILU OR 38/88).
- Henriksen, J.F. og Ofstad, T. (1989) NILUs feltstasjoner for korrosjon. Miljø- og korrosjonsmålinger 1988. Datarapport. Lillestrøm (NILU OR 37/89).
- International Organization of Standardization (1992) Corrosion of metals and alloys – Classification of corrosivity of atmospheres. Geneve (ISO 9223).
- Kucera, V. (1992) How do acidifying air pollutants affect buildings and monuments – an international exposure programme within UN ECE. In: *12th Scandinavian Corrosion Congress & EUROCORR 92*, Espos 1992, pp. 9–24.
- Kucera, V., Haagenrud, S.E., Atteraas, L. and Gullman, J. (1986) Corrosion of steel and zinc in Scandinavia with respect to the classification of the corrosivity of atmospheres. ASTM Conference, Philadelphia, May 1986. Lillestrøm (NILU F 22/86).
- Ofstad, T. (1990) NILUs feltstasjoner for korrosjon. Miljø- og korrosjonsmålinger 1989. Datarapport. Lillestrøm (NILU OR 76/90).
-
- Ofstad, T. (1991) NILUs feltstasjoner for korrosjon. Miljø- og korrosjonsmålinger 1990. Datarapport. Lillestrøm (NILU OR 50/91).
- Ofstad, T. (1992) NILUs feltstasjoner for korrosjon. Miljø- og korrosjonsmålinger 1991. Datarapport. Lillestrøm (NILU OR 89/92).

Ofstad, T. (1993) NILUs feltstasjoner for korrosjon. Miljø- og korrosjonsmålinger 1992. Datarapport. Lillestrøm (NILU OR 51/93).





Norsk institutt for luftforskning (NILU)

Postboks 100, N-2007 Kjeller

RAPPORTTYPE	RAPPORT NR. OR 3/95	ISBN-82-425-0647-7	
DATO 21.2.95	ANSV. SIGN. <i>Jan F. Henriksen</i>	ANT. SIDER 11	PRIS NOK 30,-
TITTEL Korrosjonsforholdene ved Borregaard fabrikker		PROSJEKTLEDER Jan F. Henriksen	NILU PROSJEKT NR. O-8208
		TILGJENGELIGHET * A	
FORFATTER(E) Jan F. Henriksen		OPPDRAKSGIVERS REF.	
		OPPDRAKSGIVER Borregaard Industries Limited Postboks 162 1701 SARPSBORG	
STIKKORD Korrosjon	SO ₂	Trendanalyse	
REFERAT En overvåking av korrosjons- og miljøforholdene på NILUs feltstasjon på Borregaard har vært utført siden 1982. En trendanalyse av resultatene viser at forholdene er blitt betydelig forbedret i måleperioden. Korrosjons-hastigheten er blitt halvert og SO ₂ -nivået er blitt redusert med ca. 75%.			
TITLE The corrosion situation at Borregaard Industries Limited during the period 1982-1993			
ABSTRACT A surveillance programme measuring carbon steel and environmental parameters has been carried out since 1982. A trend analysis of the results shows great improvement in the corrosion and environmental condition. The corrosion rate has been reduced with 50% and the SO ₂ concentration with 75% during the test period.			

* Kategorier: A Åpen - kan bestilles fra NILU
 B Begrenset distribusjon
 C Kan ikke utleveres