

NILU
OPPDRAGSRAPPORT NR 18/78
REFERANSE: 25178
DATO: JANUAR 1979

ULIKE MILJØPARAMETRES INN-
VIRKNING PÅ ATMOSFÆRISK KORROSJON

AV

SVEIN E. HAAGENRUD

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM
NORGE

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
SAMMENDRAG	3
1 INNLEDNING	4
2 PROBLEMSTILLINGER	4
3 RESULTATER	7
3.1 Ulike fuktighetsforhold	7
3.2 Forurensninger	8
3.3 Langtransporterte luftforurensninger	10
4 MILJØKLASSIFISERING	11
5 ØKONOMISKE KONSEKVENSER	12
6 LITTERATUR	14

SAMMENDRAG

Notatet gir en oppsummering av kunnskapsnivået vedrørende sammenhengen mellom atmosfærisk korrosjon og miljøparametre, samt de økonomiske konsekvenser av korrosjonen som følge av luftforurensningene.

Korrosjonshastigheten øker sterkt når det dannes en påtakelig fuktighetsfilm på metalloverflater, dvs at korrosjonshastigheten er vesentlig større under kondens- og regnperioder enn ellers.

Av luftforurensningene akselererer svovelforurensningene korrosjonen mest, og av disse er det SO_2 -konsentrasjonen i luft som er den bestemmende faktor. I en skandinavisk undersøkelse forklarer SO_2 -konsentrasjonen 60% av variasjonen i korrosjon fra sted til sted. Sulfat i luft synes ikke å ha tilsvarende stor betydning.

Når surhetsgraden i nedbøren blir lavere enn pH 4 synes korrosjonen av de vanligste metallene å øke sterkt. Ved de konsentrasjoner en normalt finner i nedbøren synes ikke våt-avsatt sulfat i nedbøren å ha stor betydning når prøvene er utsatt for avvaskning.

De langtransporterte luftforurensningene i form av episoder med sur nedbør (pH <4.0) og høye SO_2 -konsentrasjoner synes å ha innvirkning på korrosjonshastigheten målt over kort tid (1 måned), men ikke over lengre tid.

Det foreligger ingen helt nye beregninger av de økende konsekvenser av korrosjonsskader p.g.a. luftforurensninger. Beregninger fra tidlig på -70 tallet inneholder imidlertid modeller som bør kunne benyttes, og i USA er det nylig avsluttet en større undersøkelse av korrosjonsskadenes totale økonomiske konsekvenser.

ULIKE MILJØPARAMETRES INNVIRKNING PÅ ATMOSFÆRISK KORROSJON

1 INNLEDNING

I 1976 publiserte Dr. Kucera ved Korrosjonsinstituttet en artikkel som ga en oversikt over svovelforurensningers innvirkning på korrosjonen av metalliske materialer og nedbrytingen av malte belegg på metalloverflater (1). I brev av 13 februar 1978 ga Miljøverndepartementet NILU i oppdrag å utarbeide et notat om sammenhengen mellom korrosjon og miljøparametre som SO₂, nedbørens kjemiske sammensetning og meteorologiske forhold. En har valgt å ta utgangspunkt i Kucera's artikkel og problemstillinger. I notatet er disse problemstillinger forsøkt belyst spesielt gjennom resultatene av de siste års felt- og laboratorieundersøkelser innenfor NORDFORSK-prosjektet "Atmosfærisk korrosjon med spesiell hensyn til forhold på bygninger" (2). I disse undersøkelsene er også relevant utenlandsk litteratur gjennomgått.

Deltagere i NORDFORSK-prosjektet har vært fra Sverige: Korrosjonsinstituttet (KI), Institutt for uorganisk kjemi ved Chalmers Tekniske Høgskole (CTH), og Arne Johansson Ingbyrå, fra Norge: Norsk institutt for luftforskning (NILU), Norges Byggforskningsinstitutt (NBR), Det norske Veritas (DnV), Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI), fra Finland: Statens Tekniska Forskningsentral (VTT) og fra Danmark: Korrosjonscentralen (KC). Prosjektet er beskrevet i (2).

2 PROBLEMSTILLINGER

Den atmosfæriske korrosjonen påvirkes gjennom en vekselvirkning av ulike miljøparametre, der fuktighetsforholdene, temperaturen og innholdet av luftforurensninger er de mest betydningsfulle.

Av luftforurensningene er svovelforurensningene viktigst, ved siden av at klorider utgjør en betydningsfull faktor i kystområdene. Svovelforurensningene kan forårsake økt korrosjon etter at de er avsatt på overflaten ved følgende mekanismer:

1. Tørravsetning av gassformig SO_2
2. Tørravsetning av partikkelformig SO_4^{2-}
3. Våtavsetning av SO_4^{2-} ved regn.

Gjennom en rekke laboratorie- og feltforsøk er det klarlagt at SO_2 aksellererer den atmosfæriske korrosjonen av en rekke metalliske materialer, selv om mekanismene ikke er fullstendig klarlagt.

Kucera har omtalt de vanligste teorier for mekanismen ved SO_2 's innvirkning på den atmosfæriske korrosjonen (1). Mekanismen er ikke helt klarlagt, og er dessuten forskjellig for ulike metaller. For stål er det vanligvis antatt følgende mekanisme:



Jernsulfat anses som den korrosjonsstimulerende komponenten i rusten, og oksyderes videre til rust og svovelsyre.



Svovelsyren løser så opp mer jern med ny dannelse av jernsulfat.



Jernsulfatet er sterkt bundet i rusten og vil når det først er dannet foreligge som en kontinuerlig korrosjonsstimulator. For sink og nikkel derimot er mekanismen anderledes. Sink og nikkelsulfatene er sluttproduktet og disse har ingen beskyttende effekt, men er vannløselige og vaskes av overflaten ved regn.

Ved feltprøving er det funnet en nær sammenheng mellom SO_2 -konsentrasjonen i luft og korrosjonshastigheten for C-stål og sink. Sure SO_4^{2-} -partikler er vist å aksellerere korrosjonen

ved laboratorieforsøk, men deres betydning har ikke fremkommet på tilsvarende måte ved feltforsøk. I områder med høye konsentrasjoner av svovelforurensninger er tørravsetningen vesentlig større enn våtavsetningen, og absorpsjonen av SO₂ har trolig størst betydning for atmosfærisk korrosjon.

Korrosjonseffekten av våtavsatte svovelforurensninger med nedbøren er ikke klarlagt i tilsvarende grad som effekten av tørravsatt svoveldioksyd. I noen områder, f.eks. i Sør-Norge med stor belastning av langtransportert sur nedbør, er våtavsetningen den dominerende mekanisme. I slike områder vil sur nedbør kunne ha betydning for den atmosfæriske korrosjonen, og undersøkelser omkring dette vil bli referert nedenfor.

Korrosjonshastigheten øker med økende relativ fuktighet, men den relative innvirkningen av de ulike fuktighetsforhold er ikke helt klarlagt:

1. Perioder med høy relativ fuktighet, men uten påtakelig fuktfilm i form av regn, dugg etc. på overflaten.
2. Perioder med slik påtakelig fuktfilm på overflaten.

Russerne har gjort mye arbeid på dette feltet, og nyere russiske resultater refereres (3.1).

Når det gjelder de økonomiske konsekvenser av korrosjonsskader som følge av svovelforurensninger så viste de beregninger som var foretatt at disse i 1970 var 7.10 dollar/person•år i USA og 4.3 dollar/person•år i Sverige (1). Usikkerheten i disse tall er imidlertid store.

I det følgende vil en omtale undersøkelser som belyser noen av de skisserte problemstillinger. Dessuten vil en omtale enkelte arbeider som omhandler temaet miljøklassifisering med hensyn på atmosfærens korrosivitet. Dette er et emne som får stadig økende aktualitet, også i de nordiske land.

3 RESULTATER

3.1 Ulike fuktighetsforhold

KI har ved laboratorieforsøk i klimaskap sammenliknet korrosjonshastigheten av C-stål og sink under henholdsvis høy relativ fuktighet, kondens og regnperioder (3). Resultatene viser at korrosjonshastigheten øker sterkt når det dannes en påtakelig fuktfilm på overflaten, dvs at korrosjonshastigheten er vesentlig større under kondens- og regnperioder enn under perioder med kun adsorbent fuktighetsfilm på overflaten. Under perioder med påtakelig fuktfilm er korrosjonshastigheten størst når det ikke skjer noen avvasking av forurensninger akkumulert i korrosjonsproduktene og på metalloverflaten, dvs. større under kondens-/duggperioder enn under regn.

Undersøkelser av C-stål og rusttregt stål i laboratoriet ved CTH gir samme resultater som ovenfor. Både med og uten SO₂ (1 ppm) i luften var korrosjonen størst ved en påtakelig fuktfilm og spesielt stor ved fuktfilm som ikke gir avvasking (5).

Ved VTT har en også funnet at korrosjonen øker sterkt når det er en påtakelig fuktfilm på overflaten (6).

Feltundersøkelser på Birkenes har vist at korrosjonen av sink øker sterkt under værforhold som medfører påtakelig fuktfilm på overflaten (7). Slike forhold er f.eks. rimdannelse og smelting ved ca 0°C, og kondensdannelse som følge av store temperaturforskjeller under døgnet.

Russiske forskere har utviklet en modell for beregning av atmosfærisk korrosjonshastighet basert på at den vesentlige delen av korrosjonen skjer i perioder med fuktighetsfilm på overflaten, dvs. i perioder med adsorbent fuktighet (relativ fuktighet mellom 80-100%) og i perioder med påtakelig fuktfilm (regn, dugg, kondens etc.)

Ligningen som beskriver korrosjonshastigheten, M , er som følger:

$$M = K_{ads}^0 + a(c) (\tau_{ads} - \tau_{pha}) + (K_{pha}^0 + b(c)) \tau_{pha}$$

hvor K_{ads}^0 = korrosjonshastigheten i "ren", dvs landatmosfære under perioder med adsorbent fuktfilm på overflaten (relativ fuktighet 80-100%).

K_{pha}^0 = korrosjonshastighet i "ren" landatmosfære i perioder med påtakelig fuktfilm på overflaten (regn, kondens, dugg, osv.)

τ_{ads} = tiden med relativ fuktighet >80% uten påtakelig fuktfilm.

τ_{pha} = tiden med påtakelig fuktfilm på overflaten.

a, b = aksellerasjonsfaktor for forurensningenes innvirkning på korrosjonshastigheten ved henholdsvis adsorbent fuktighet og påtakelig fuktfilm på overflaten.

c = konsentrasjon av forurensninger som SO_2 , sur nedbør etc.

Korrosjonshastigheten er forskjellig ved adsorbent høy fuktighet og ved påtakelig fuktfilm, og data for dette er angitt for flere metaller i de russiske publikasjonene (8,9,10).

3.2 Forurensinger

Tørravsetning av SO_2 og SO_4^{2-}

Effekten av tørravsett SO_2 er klart påvist tidligere, men også undersøkelser innenfor NORDFORSK-prosjektet har bekreftet dette. Et felles eksponeringsprogram for stål og sink på 30 feltstasjoner i Skandinavia viser at korrosjonshastigheten av begge metaller er best korrelert med SO_2 -konsentrasjonen i luft, som forklarer ca 60% av variasjonen i korrosjonshastigheten fra sted til sted (11).

Månedsvise eksponeringer over to år på de tre stasjonene Birkenes, Borregaard og Alvim viser også en meget høy korrelasjon mellom korrosjonshastigheten av C-stål, rusttregt stål og sink og SO_2 -konsentrasjonen i luft (12).

Undersøkelser ved CTH viser at både for C-stål, rusttregt stål og sink øker korrosjonshastigheten sterkt med SO_2 -innholdet. Dette gjelder for nye prøver og prøver som er foreksponert opp til 12 måneder utendørs. På de foreksponerte prøvene av C-stål og rusttregt stål er økningen mindre p.g.a. at rustproduktene har en viss korrosjonsbeskyttende evne (5).

I en amerikansk laboratorieundersøkelse ved Environmental Protection Agency (EPA) har en funnet at korrosjonen av rusttregt stål i det vesentlige bestemmes av SO_2 -konsentrasjonen, relativ fuktighet og temperaturen, mens korrosjonen av sink (egentlig forsinket stål) kun bestemmes av SO_2 -konsentrasjonen og relativ fuktighet (13). Nedbøreffekten er ikke undersøkt.

Ved VTT har en undersøkt korrosjonseffekten av svoveldioksyd i kombinasjon med sot- og betongpulver på overflaten av aluminium, messing, varmforsinket stål og rustfritt stål, under ulike fuktighetsforhold. Kombinasjonen sotpulver og svoveldioksyd førte her til den raskeste korrosjonen hos alle undersøkte metaller (6).

I laboratorieundersøkelser ved KI (2) har en også sammenliknet korrosjonen som er forårsaket av samme mengde svovel deponert henholdsvis som SO_2 og som sulfat. Korrosjonen er da betydelig større når svovel deponeres som SO_2 enn som ammoniumsulfat. Dette gjelder for C-stål både under fukt- og regnvørsperioder. Det samme gjelder også for sink (3).

Undersøkelser på døgnbasis av korrosjonshastigheten av sink på Birkenes (7) viser ingen signifikant sammenheng mellom korrosjonshastigheten og sulfatinnholdet i lufta.

Våtavsetning av svovelforurensninger

Ved NILU har en med bakgrunn i de langtransporterte luftforurensningene undersøkt effekten av ulike sulfatkonsentrasjoner i nedbøren og ulik surhetsgrad i nedbøren (14).

For stål fant en ingen effekt av økende sulfatkonsentrasjon opptil 10 mg SO₄/l ved pH 5.7, og ved pH 4.2. For sink var det heller ingen effekt av økende sulfatkonsentrasjon opptil 10 mg SO₄/l ved pH 5.7 og sannsynligvis heller ikke ved pH 4.2. Eksponeringene på feltstasjonene i Skandinavia viste heller ingen effekt av økende sulfatkonsentrasjon i nedbøren < 15 mg SO₄/l (11).

Laboratorieforsøkene ved NILU har ellers vist at for C-stål er det ingen effekt av økende surhetsgrad i nedbøren mellom pH 5.7 og pH 4.2. Videre økning av surhetsgraden fra pH 4.2 til pH 3.7 gir 3-4 gangers økning av korrosjonen. Feltforsøk på måneds- og årsbasis synes å bekrefte denne sammenhengen, selv om det er for få data i pH-området 3.5 - 4.2 til at en kan trekke sikre konklusjoner om overenstemmelsen mellom laboratorie- og feltforsøkene (11,12).

For sink ga laboratorieundersøkelsene ingen økning av korrosjonshastigheten på ferske, slipte prøver i pH-området 5.7 til pH 3.7. Feltundersøkelser på måneds- og årsbasis synes å indikere en viss økning av korrosjonen ved pH < 4 (11,12).

KI har undersøkt korrosjonshastigheten av ulike metaller ved eksponering i laboratoriet under regn (2 timer pr uke) med ulik pH, og i meteorologisk bur utendørs i Stockholm under en 2-måneders periode. Resultatene viser at en senkning av regnvannets pH-verdi fra 3.5 til 2.5 bare medfører en mindre økning av korrosjonshastigheten hos C-stål, men at korrosjonshastigheten hos kopper, sink og aluminium øker meget sterkt (3).

3.3 Langtransporterte luftforurensinger

NILU har undersøkt korrosjonseffekten på stål og sink ved døgn-, måned- og årsvise eksponeringer på Birkenes (7,15). Den månedsvise korrosjonshastigheten av C-stål var influert av langtransporterte luftforurensninger i form av episoder med sur nedbør < pH 4 og høye SO₂-konsentrasjoner. Disse episodene

opptrer imidlertid så sjelden at korrosjonshastigheten målt over lengre perioder, f.eks. 3, 6 og 12 måneder, ikke synes å være influert. Dette skyldes trolig korrosjonsproduktene beskyttende og surhetsjevne virkning (3,5). De angjeldende prøver har vært eksponert i 45^o med horisontalen. Forurensninger i nedbøren har derfor blitt vasket av. Korrosjonseffektene kan trolig bli større ved horisontale prøver hvor forurensningene kan akkumuleres. En nylig undersøkelse av korrosjon på kraftledninger indikerer således korrosjonseffekter fra sur nedbør (16).

For sink varierer månedskorrosjonen meget, og den er ofte meget høy. Dette er i overensstemmelse med tidligere undersøkelser av korrosjonen av sink, og skyldes for det meste variasjoner i våttiden på sinkprøvene i de første døgnene av eksponeringen (17). I disse undersøkelsene var ikke korrosjonshastigheten målt på måneds- og årsbasis signifikant korrelert med langtransport av luftforurensninger.

4 MILJØKLASSIFISERING

Med basis i de senere års forskningsresultater når det gjelder korrosjonens avhengighet av fuktighet, forurensninger og temperaturforhold arbeides det i flere land for å komme fram til en inndeling av atmosfæren i ulike klasser etter korrosivitet. Klasseinndelingen defineres ofte ved maksimums- og minimumsgrenser for korrosjonshastigheten, dessuten angis de forurensninger og fuktighetsforhold som vil gjelde innen den enkelte klasse. Arbeidet med miljøklassifiseringen pågår i ulike land, og kan ikke anses fullført. (18,19).

I Skandinavia planlegges arbeid for å komme fram til en generell klasseinndeling som innbefatter de reelt forekommende variasjoner av klimaparametre og luftforurensninger, herunder også lokale industrielle miljøer. Man sikter derved på en inndeling som er anvendbar både for produsenter, brukere og myndigheter (20). Det arbeides med et svensk-norsk samarbeid på dette feltet.

NILU arbeider i den forbindelse med planer for beregning av korrosjonsmiljøet i Norge, både for bakgrunnsmiljø og tettsteder.

5 ØKONOMISKE KONSEKVENSER

Det foreligger ikke nyere estimater av de økonomiske konsekvenser enn de som er angitt av Kucera (1), dvs 7.10 dollar/person·år i USA og 4.3 dollar/person·år i Sverige.

I USA ba Kongressen i 1976 The National Bureau of Standards (NBS) om å undersøke de økonomiske konsekvensene av korrosjonsskader i USA. Oppdraget er utført av Battelle Columbus Laboratories og rapporten forelå i mai 1978 (21). Rapporten konkluderer med at korrosjonen totalt kostet US $70 \cdot 10^9$ dollars i 1975, hvilket utgjorde 4.2% av brutto nasjonalproduktet. Ca 15% eller $10 \cdot 10^9$ av kostnadene kunne unngås ved bruk av eksisterende kunnskaper. Usikkerheten i beregningene anslås til $\pm 30\%$. Korrosjonseffekten av luftforurensninger er ikke beregnet separat, men rapporten inneholder en mengde data som vil kunne brukes ved en slik beregning.

I Norge har NILU søkt Miljøverndepartementet om midler til en "Teknisk/økonomisk beregning av årlige korrosjonsskader i Norge grunnet luftforurensninger" (22).

I dette prosjektforslaget beskrives og kommenteres bl.a. den økonomiske beregningsmodellen som er brukt i den amerikanske undersøkelsen som Kucera's tall er hentet fra (23). Denne modellen kan anvendes til å beregne den økonomiske utvikling som følge av forandringer, forurensningsnivå (mindre utslipp, rensing osv), materialpriser, vedlikeholdspriser etc.

Miljøverndepartementet har i brev av 9.11.76 sluttet seg til NTNF som bl.a. skriver at "det foreslåtte prosjekt er viktig, og bør gjennomføres, men at forslaget bør bearbeides videre. Prosjektet synes også å ligge til rette for nordisk samarbeid, spesielt med Sverige".

NILU har fremmet samarbeidsspørsmålet for KI, men på basis av de allerede gjennomførte undersøkelser i Sverige (24,25), finner de ikke å kunne prioritere en ny slik undersøkelse, selv om denne ville kunne gjøres langt mer uttømmende med dagens kunnskapsnivå.

I mellomtiden har arbeidet med beregning av korrosjonshastigheten som funksjon av miljøparametre pågått ved NILU, og en mener nå å ha såvidt godt grunnlag i både ligninger og datamengde, at en vil kunne foreta en beregning av korrosjonsmiljøet/skadene i Norge.

6 LITTERATUR

- (1) Kucera, V. Effects of sulfur dioxide and acid precipitation on metals and anti-rust painted steel. *AMBIO*, 5, no. 5-6 (1976).
- (2) NORDFORSK's prosjekt-komité for atmosfærisk korrosjon NORDFORSK - "Atmosfærisk korrosjon med spesiell hensyn til forholdene på bygninger". Sluttrapport 1978-12-15.
- (3) Kucera, V. Olika klimatparametrars inverkan på atmosfærisk korrosjon av stål och zink - en laboratorieunders kning. Preliminær utforming, KI, 1977-12-07.
- (4) Sydberger, T. Influence of sulphur pollution on the atmospheric corrosion of steel. Akademisk avhandling ved Department of Inorganic Chemistry University of Gothenburg and Chalmers University of Technology, G teborg, desember 1976.
- (5) Ericsson, R. Enfaktorfors k på laboratorium. NORDFORSK-prosjekt: Atmosfærisk korrosjon. Delprosjekt 1.1. Inst. f r oorganisk kemi, Chalmers Tekniska H gskola, G teborg, 1978.
- (6) Hakkarainen, T.
Carlsson, C. Fasta f roreningars inverkan på atmosfærisk korrosjon av oskyddade metallytor. NORDFORSK-prosjekt: Atmosfærisk korrosjon. Delprosjekt 1.1. Metallurgiska laboratoriet, VTT, juli 1977.
- (7) Haagenrud, S.E. Bestemmelse av korrosjonen under korte forurensningsepisoder utendørs. NORDFORSK-prosjekt: Atmosfærisk korrosjon. Delprosjekt 1.3. Lillestrøm 1977 (NILU TN 14/77.)

- (8) Mikhailovski, Yu.N. et al Calculation of atmospheric corrosion rate of aluminium and its alloys in various climatic zones according to meteorological parameters.
Zaschchita Metallov, 9, 264-269 (1973).
- (9) Mikhailovski, Yu, N. et al Calculation of the atmospheric corrosion rate for zinc and cadmium in various climatic regions.
Zashchita Metallov , 7, 534-39 (1971).
- (10) Haagenrud, S.E. Notat fra besøk i Sovjetunionen 13-20 nov. 1978. Lillestrøm 1978 (NILU IN 11/78.)
- (11) Atteraas, L.,
Haagenrud, S.E.,
Kucera, V.,
Hakkarainen, T. Atmospheric corrosion rate of unalloyed steel and zinc and environmental parameters at test sites in Scandinavia.
I: *8. Scand. Corr. Congress*,
Helsinki, aug. 1978 s. 139-149.
- (12) Haagenrud, S.E. The effect of environment on the atmospheric corrosion rate of carbon steel and zinc as measured by weight-loss. The Electrochemical Soc. 154th Meeting, Oct. 1978, Pittsburgh, Pa. Lillestrøm 1978. (NILU F 82/78.)
- (13) Haynie, F.H.
Spence, J.W.,
Upham, J.B. Effects of gaseous pollutants on materials - A chamber study. Research Triangle Park, NC, Environmental Protection Agency, 1976. (EPA-600/3-76-015).
- (14) Haagenrud, S.E. Enfaktorforsøk på laboratoriet. NORDFORSK-prosjekt: Atmosfærisk korrosjon. Delprosjekt 1.1. Lillestrøm 1977. (NILU TN 15/77.)
- (15) Haagenrud, S.E. The effect of long range transport of air pollutants on the atmospheric corrosion rate of carbon steel and zinc as measured by weight-loss.
I: *8. Scand. Corr. Congr.*, Helsinki, aug. 1978 s. 159-169.

- (16) Engen, O. Undersøkelse av korrosjon på kraftledninger langs kysten. Trondheim 1978 (EFIR nr. 2354.)
- (17) Ellis, O.B. Effect of weather on the initial corrosion rate of sheet zinc. In: *American Society for Testing and Materials*. Proceedings, 47, 1974, pp 152-170.
- (18) Knotkova, K.
Barton, K. Dependence of the atmospheric corrosion of metals on climatic factors and pollution. Ikke publisert artikkel, foredratt ved symposium ved KI, juli 1977.
- (19) Einsatzgrenzen bei atmosphärischer und Wasserkorrosion für metallurgische Erzeugnisse aus korrosionsträgen Stählen in ungeschützten Zustand. Stahlberatung. Freiberg, April 1976, 3 (1976) II.
- (20) Kucera, V. Klassifisering av korrosjonsmiljøer. Korrosionsinstituttet. Beskrivning av arbeidsuppgift 65095, 1977-04-25.
- (21) Economic effect of metallic corrosion in the United States. National Bureau of Standards, Washington D.C. 20234. May 1978 (NBS Special Publication 511-1.)
- (22) Haagenrud, S.E. Teknisk/økonomisk beregning av årlige korrosjonsskader i Norge grunnet luftforurensninger. NILU-prosjektforslag 16 febr. 1976.
- (23) Fink, F.W. et al. Technical-Economic Evaluation of air-pollution corrosion costs of metals in the U.S. Battelle Memorial Institute. Columbus, Ohio, 1971.

- (24) Air pollution across national boundaries. The impact on the human environment of sulfur in air and precipitation.
Swedens Case Study for the UN Conference on the Human Environment. Stockholm, Norstedt, 1971.
- (25) Mattson, E.,
Kucera, V. The influence of sulphur compounds on the atmospheric corrosion in Sweden, results of field tests and economic considerations.
In: *Proceedings of the second international symposium on Modeling the effect of climate on electrical and mechanical equipment*, Liblice, Czechoslovakia, 1971. Research Institute of the State Protection of Materials, Drague, Czechoslovakia, 1971) s 9-97.

