

NILU: TR 4/2002
REFERANSE: E-101051
DATO: MAI 2002
ISBN: 82-425-1353-8

Materialstudier ved NILU

**En oversikt over resultater og
metoder for perioden 1973-2001**

Odd Anda og Jan F. Henriksen

Forord

NILUs arbeid på materialområdet står ved et generasjonsskifte. En har derfor ment at det er behov for en status rapport på området, slik at de viktigste erfaringer som en har opparbeidet over tid blir dokumentert i en rapport for bruk i fremtidige undersøkelser ved NILU. Rapporten vil konsentrere seg om teknikker for eksponering, måling og evaluering av materialnedbrytning samt hvilke dose-respons- og levetidsligninger som en i dag anser som de mest anvendelige til å prediktere nedbrytning av materialer. Prosjektene som har vært vesentlig for disse resultater vil i liten grad bli omtalt, men referert til ved aktuelle rapporter i referanselisten.

Innhold

	Side
Forord	1
Sammendrag	5
1 Innledning	7
2 Dose-respons ligninger	7
2.1 ECE-ICP materials	8
2.2 Feltforsøk i kystnære strøk	12
2.3 Feltforsøk i kalde strøk	13
3 Skadefunksjoner eller levetidsligninger	15
3.1 MOBAK-prosjektet	15
3.2 Skadefunksjoner basert på ECE-ICP materialprosjektet	17
4 CorrCost	19
4.1 Bakgrunn	19
4.2 CorrCost systemet	19
5 Standardisering av korrosjonsmiljøet	22
6 Innemiljø	24
6.1 Elektronikkprosjektene	25
7 Prosjekter relatert til steinmaterialer	26
7.1 NATO/CCMS prosjektet	26
7.2 EU prosjekt STEP-CT90-0108 "Physicochemical parameters, including pollutants interaction, affecting the rate of dry deposition on stone surfaces"	27
7.3 INTERREG	29
8 Prosjekter relatert til trematerialer	30
8.1 Wood-Assess EU prosjekt ENV4-CT95-0110	30
9 Måling av fuktighet	31
9.1 Bakgrunn	31
9.2 WetCorr instrumentet	32
10 Spesielle undersøkelser	38
10.1 Bestemmelse av korrosive partikler i innemiljø	38
10.2 Ammoniakkmålinger i Bøverdalen	38
10.3 UV prosjektet	39
11 Eksponering av materialer ved feltundersøkelser	39
11.1 Korrosjon av metallplater	39
11.2 Eksponering av flate prøver	39
11.3 Prøveplater	40
11.3.1 Behandling av prøveplatene	41
11.4 Måling av groper ("pits")	43
11.5 Eksponering av tråd på bolt og helixprøver	43
11.5.1 Tråd på bolt og helixprøver	44
11.5.2 Behandling av tråd på bolt og helixprøver	45

11.6	Parametervalg	45
11.7	Evaluering av metalliserte og malte stålplater samt malte trepaneler	46
11.7.1	Uteprøver av metalliserte og malte stålplater	47
11.7.2	Kommentarer til de enkelte parametrene.....	48
11.7.3	Kommentarer til evaluering av malte trepaneler	58
11.8	Evaluerings skjema.....	62
11.9	Feltprøver og evaluering av karbonatholdig materiale.....	63
11.9.1	Kalkmørtel	63
11.9.2	Eksposering av stein.....	65
12	Oversikt over utstyr spesielt innkjøpt til materialstudiene	66
13	Referanser	68
Vedlegg A	Aerosolfellen	77
Vedlegg B	Beisevæsker.....	83
Vedlegg C	Skisse over korrosjonsstativ.....	87
Vedlegg D	Eksempler på evaluerings skjemaer.....	91

Sammendrag

Rapporten er ment å være en statusrapport som skal oppsummere de viktigste erfaringene innen materialstudier som en har opparbeidet i perioden 1973 til 2001.

Det er primært de avsluttede prosjektene og de erfaringer som en mener vil være nyttige i fremtiden som vil bli omhandlet. Prosjekter og arbeid som bearbeides i dag er bare nevnt i relasjon til tidligere arbeid.

I rapporten har en konsentrert seg om de prosjekter og undersøkelser hvor en enten har kommet frem til ligninger som beskriver miljøets virkning på materialer og hva det vil bety for materialers og konstruksjoners levetid. Det er lagt spesiell vekt på ligninger som vil være anvendbare i modeller som er utviklet for materialer, som CorrCost-modellen. Viktige materialområder hvor en mener at NILUs kompetanse er spesielt viktig er også tatt med. Kapitlene 2 til 10 beskriver disse forhold.

I tillegg til prosjektresultater har det vært viktig å sammenfatte de spesielle teknikker som er anvendt ved materialforskningen på NILU. Disse teknikkene omfatter en beskrivelse av metoder for eksponering av materialer i felt både ute og inne samt en omfattende beskrivelse av evalueringsmetodene som anvendes. Kapittel 11 og Vedleggene A til D gir en oversikt over disse forhold.

For å lette senere arbeid på materialområdet har en sett det som viktig å gi så mange og så gode referanser til tidligere arbeidet som mulig. I tillegg til egne rapporter og publikasjoner så er det gitt en oversikt over alle internasjonale standarder som blir benyttet ved feltundersøkelser og evaluering av resultatene ved NILU.

Materialstudier ved NILU

En oversikt over resultater og metoder for perioden 1973-2001

1 Innledning

Miljøets innvirkning på holdbarheten til materialer har vært en av forskningsområdene til NILU fra tidlig på 70-tallet. Tidlig var det klart at forurensningene, spesielt SO₂, reduserte materialenes levetid. Forskingen ble derfor tidlig koblet opp mot den forurensning som ble observert i Norge så vel som i Europa. En kom tidlig med i større nordiske og internasjonale prosjekter som søkte å finne sammenhengen mellom korrosjon på materialer og miljøbelastningen i nærområdet. En gjennomgang av de viktigste prosjektene og de viktigste resultatene er gjennomgått i kapitlene 2 til 11

For å studere effekten på materialene er det blitt utviklet flere ulike teknikker for eksponering, måling av belastning og for evaluering av resultatene. Erfaringene fra dette arbeidet er delvis videreført ved NILUs engasjement innen internasjonal standardisering ISO. I andre tilfeller benyttes teknikker som er spesifikke for NILU. Noen evalueringsmetoder er visuelle metoder basert på bildestandarder hvor erfaring og kontinuitet er viktig for å få sammenlignbare resultater. En gjennomgang av disse metoder og teknikker er gitt i kapittel 12

2 Dose-respons ligninger

En hovedmålsetting for materialstudiene ved NILU har vært å forsøke å beskrive nedbrytning av materialer som en funksjon av de viktigste påvirkningsfaktorene i det miljøet som de befinner seg i. Disse studiene blir utført både som feltstudier og som studier i klimaskap. Undersøkelser i klimaskap er velegnet til å studere virkningen av en eller et lite antall faktorer under kontrollerte forhold. I feltundersøkelsene registreres virkningen på materialer på feltstasjoner hvor en også måler det utvalg av de klima - og forurensningsparametrene som en mener har størst betydning for nedbrytningen.

Ved statistisk bearbeiding av de tilgjengelige dataene fra feltundersøkelsene søker en å komme frem til de dose-respons ligninger som gir den høyeste korrelasjonskoeffisienten. De kunnskaper som en har oppnådd i laboratorie- og klimaskapstester blir brukt for å kombinere måledataene slik at en får ligninger med ledd som en vet kan virke sammen i naturen. En vanlig måte å redusere mulighetene ved den statistiske bearbeidelsen er å skille mellom "våt" og "tørr" korrosjon. Med "våt" korrosjon mener en den virkningen som regn har sammen med de kjemiske forbindelser som finnes i regnvannet. "Tørr" korrosjon har en i periodene uten regn. Ved siden av gasser og partikler vil "tørr" korrosjonen også være avhengig av temperatur og relativ fuktighet. Vekttap eller korrosjon (ML) blir derfor ofte beskrevet med en ligning med to ledd.

$$ML = a \cdot T \cdot RH \cdot f(\text{gasser, partikler}) + b \cdot \text{regn} \cdot f(\text{ioner})$$

("tørr" korrosjon) ("våt" korrosjon)

I mange av de ligninger som er lansert er T(temperatur) og RH(relativ fuktighet) erstattet med en faktor som kalles TOW(time of wetness, våttid). Det er den tid av døgnet eller året hvor det er tilstrekkelig fuktighet til at en har en tynn usynlig vannfilm på overflaten og hvor temperaturen er så høy at filmen ikke har frosset til is. Utfra meteorologiske parametere er TOW definert som den tid av døgnet hvor $T > 0^{\circ}\text{C}$ og $\text{RH} > 80\%$. En ”state of the art ” rapport over miljøpåvirkninger utstyr og målemetoder ble utarbeidet i 1996-97 (Haagenrud, 1997).

Dose-respons ligninger gir ikke en beskrivelse av de fysikalsk kjemiske prosessene i korrosjonsprosessen, men gir en ligning som beskriver hvilke parametere som har størst forklaringsstyrke blant de parametrene som er blitt målt. Det er derfor viktig ved starten av et feltforsøk å velge de riktige parametere som skal måles og at spekteret er bredt nok til å fange opp virkningen av alle faktorer som kan være mulige forklaringsvariabler. Ved bruk av de eksisterende dose-respons ligningene er det derfor viktig å vite hvilke undersøkelser som ligger til grunn for ligningen. Dette vil fortelle hvilke geografiske områder som ligningene kan være representative for. Eksempelvis så vil ligninger som beskriver forholdene i Sentral Europa være lite egnet til å beskrive korrosjonsforholdene langs norskekysten. Går en utenfor området for undersøkelsen så må en vurdere om det er sannsynlig at de samme parametere gjelder for det nye området. Er en utenfor det naturlige området må en enten gjøre nye feltstudier eller i det minste gjøre noen kompletterende måling i det nye området og sammenligne målt korrosjon med beregnet korrosjon. Dette ble gjort i Guangzhou i Kina før en benyttet ligningene som var utviklet i et europeisk målenett (He Langwan et al., 1999)

Et annet viktig moment ved feltstudier er at man må ha velge målestasjoner som gir ulik korrosjonsbelastning slik at dataene blir anvendbare til regresjonsanalyse. En del av de eldre måleprogrammene som NILU deltok i hadde den svakhet at korrosjonen på Borregaard var så mye større enn for de andre stasjonene og at de andre hadde tilnærmet lik korrosjon. Regresjonsligningene ble derfor i for stor grad styrt av forholdene på Borregaard. Borregaard hadde klor forurensninger fra blekeriet som en mulig forklaringsparameter, men den ble ikke målt. Korrosjonsligningene som ble utviklet i prosjektene beregnet derfor for stor korrosjonseffekt for SO_2 siden det ikke ble korrigert for korrosjonen fra klor (Haagenrud et al., 1984B).

2.1 ECE-ICP materials

Da premissene for ECE-ICP material programmet ble startet i 1987 var hovedmålet å finne frem til ligninger som kunne beregne virkningen av sur nedbør. En ønsket derfor primært å bruke et stasjonsnett hvor en hadde stor spredning for parameterene SO_2 , NO_2 , nedbør og pH samt variasjon i klimaparametrene. En ønsket å redusere klorideffekten i stasjonsnettet og i stor utstrekning ble stasjoner med høy sjøsaltbelastning tatt ut av programmet. Spredningen i parameterene SO_2 , NO_2 , nedbør og pH ble som ønsket. Klorid ønsket en å unngå som en forklaringsparameter, men siden en skulle ha med land både i vest og øst Europa så ble det en gradient for klorid i nedbør mellom stasjonene. Dette har medført at klorid har kommet med som en forklaringsvariabel for støpt bronse og aluminium (Tidblad et al., 1997).

Programmet ble planlagt som et 8 års feltprosjekt med eksponering av materialer fritt eksponert og under tak. Følgende materialer var med:

- Rusttregt stål/patinastål
- Sink
- Aluminium
- Kobber
- Bronse støpt
- Portland kalkstein
- Mansfield sandstein
- Malt stål
- Båndlakkert galvanisert stål

Noe senere ble programmet supplert med to plastmaterialer og en glassensor.

Miljømålingene i prosjektet var

Komponenter som ble målt i ECE-ICP programmet		
Normal program	Gasser Nedbør	SO ₂ , NO ₂ mm, pH, SO ₄ -S, NO ₃ -N, Cl ⁻ , ledningsevne
	Klima	Temperatur, relative fuktighet, våttid (TOW) og timer med solskinn
Utvidet program	Gasser Nedbør	O ₃ NH ₄ -N, Na, Ca, Mg, K

Den første komplette evaluering av resultatene ble gjort etter fire år og i Tabell 1 er resultatene presentert (Kucera et al., 1995).

Tabell 1: Dose-respons ligninger utviklet fra resultatene i ECE-ICP programmet etter fire år.

Materialer	Ligning
Rusttregt stål	
Fritt eksponert	$ML = 85 + 0.26 \text{ TOW (SO}_2\text{) (O}_3\text{)} + 432 \text{ TOW}$
Under tak	$ML = 106 + 0,54 \text{ TOW (SO}_2\text{) (O}_3\text{)}$
Sink	
Fritt eksponert	$ML = 14.5 + 0.043 \text{ TOW (SO}_2\text{) (O}_3\text{)} + 80 \text{ Regn (H}^+\text{)}$
Under tak	$ML = 5.5 + 0.013 \text{ TOW (SO}_2\text{) (O}_3\text{)}$
Aluminium	
Fritt eksponert	$ML = 0.85 + 0.028 \text{ TOW (SO}_2\text{) (O}_3\text{)}$
Under tak	$ML = -0.03 + 0.053 \text{ TOW (SO}_2\text{) (O}_3\text{)} + 74(\text{Cl}^-)$
Kobber	
Fritt eksponert	$ML = 19.3 + 0.011 \text{ (SO}_2\text{) (O}_3\text{)} + 162 \text{ Regn (H}^+\text{)}$
Bronse	
Fritt eksponert	$ML = 11.8 + 0.047 \text{ TOW (SO}_2\text{) (O}_3\text{)}$
Under tak	$ML = 5.3 + 0.024 \text{ TOW (SO}_2\text{) (O}_3\text{)}$
Kalkstein	
Fritt eksponert	$ML = 34.4 + 5.96 \text{ TOW (SO}_2\text{)} + 338 \text{ Regn (H}^+\text{)}$
Under tak	$MI = 2.536 + 0.80 \text{ TOW (SO}_2\text{) (O}_3\text{)}$
Sandstein	
Fritt eksponert	$ML = 29.2 + 6.24 \text{ TOW (SO}_2\text{)} + 480 \text{ Regn (H}^+\text{)}$
Under tak	$MI = +2.84 + 0.88 \text{ TOW (SO}_2\text{)}$
Malt stål	
Fritt eksponert	$CD = -6.1 + 0.18 \text{ (SO}_2\text{)} + 0.18 \text{ (O}_3\text{)}$

ML = Vekttap (g/m^2), MI = Vektøkning (g/m^2), CD = utbredelse fra kutt (mm)

Legg merke til at våtbelastningen er forklaringsvariabel for flere av materialene som er fritt eksponert, men aldri for de under tak, selv om parameterene var med i den statistiske bearbeidelsen.

De aller fleste nedbrytningsprosessene avtar med tiden. Tidsavhengigheten ble inkludert i den statistiske bearbeidelsen etter åtte år. Likeledes gikk en bort fra å bruke TOW som en parameter, men erstattet den med temperatur og relativ fuktighet siden TOW hadde vist seg å være vanskelig og kostbart å fremskaffe for deltakerne og siden dette ville gjøre ligningene mer brukervennlige ved senere bruk. Resultatene av den statistiske analysen etter åtte års eksponering og målinger er vist i Tabell 2. (Tidblad et al., 1997)

Tabell 2: Dose-respons ligninger utviklet for resultatene i ECE-ICP programmet etter åtte år.

Materialer	Ligning	
Rustregt stål		
Fritt eksponert	$\text{Ln}(\text{ML}) = 3.54 + 0.33 \ln(t) + 0.13(\text{SO}_2) + 0.02\text{RH} + 0.059(\text{T}-10);$	$\text{T} < 10^\circ\text{C}$
	$\text{Ln}(\text{ML}) = 3.54 + 0.33 \ln(t) + 0.13(\text{SO}_2) + 0.02\text{RH} - 0.036(\text{T}-10)$	$\text{T} > 10^\circ\text{C}$
Under tak	$\text{Ln}(\text{ML}) = 2.01 + 0.66 \ln(t) + 0.24(\text{SO}_2) + 0.025\text{RH} + 0.048(\text{T}-10);$	$\text{T} < 10^\circ\text{C}$
	$\text{Ln}(\text{ML}) = 2.01 + 0.66 \ln(t) + 0.24(\text{SO}_2) + 0.025\text{RH} + 0.047(\text{T}-10);$	$\text{T} > 10^\circ\text{C}$
Sink		
Fritt eksponert	$\text{ML} = 1.35[\text{SO}_2]^{0.22} \exp\{0.018\text{RH} + 0.062(\text{T}-10)\} t^{0.85} + 0.029 \text{regn}[\text{H}^+]t;$	$\text{T} < 10^\circ\text{C}$
	$\text{ML} = 1.35[\text{SO}_2]^{0.22} \exp\{0.018\text{RH} - 0.021(\text{T}-10)\} t^{0.85} + 0.029 \text{regn}[\text{H}^+]t;$	$\text{T} > 10^\circ\text{C}$
Under tak	$\text{ML} = 0.058[\text{SO}_2]^{0.16} \text{RH} \exp\{+0.039(\text{T}-10)\} t^{0.49};$	$\text{T} < 10^\circ\text{C}$
	$\text{ML} = 0.058[\text{SO}_2]^{0.16} \text{RH} \exp\{-0.034(\text{T}-10)\} t^{0.49}$	$\text{T} > 10^\circ\text{C}$
Aluminium		
Fritt eksponert	$\text{ML} = 0.0021[\text{SO}_2]^{0.23} \text{RH} \exp\{+0.031(\text{T}-10)\} t^{1.2} + 0.000023 \text{regn}[\text{Cl}^-]t;$	$\text{T} < 10^\circ\text{C}$
	$\text{ML} = 0.0021[\text{SO}_2]^{0.23} \text{RH} \exp\{-0.061(\text{T}-10)\} t^{1.2} + 0.000023 \text{regn}[\text{Cl}^-]t;$	$\text{T} > 10^\circ\text{C}$
Under tak		
Kobber		
Fritt eksponert	$\text{ML} = 0.0027[\text{SO}_2]^{0.32} [\text{O}_3]^{0.79} \text{RH} \exp\{+0.083(\text{T}-10)\} t^{0.78} + 0.050 \text{regn}[\text{H}^+]t^{0.89};$	$\text{T} < 10^\circ\text{C}$
	$\text{ML} = 0.0027[\text{SO}_2]^{0.32} [\text{O}_3]^{0.79} \text{RH} \exp\{-0.032(\text{T}-10)\} t^{0.78} + 0.050 \text{regn}[\text{H}^+]t^{0.89}$	$\text{T} > 10^\circ\text{C}$
Under tak	$\text{ML} = 0.00045[\text{SO}_2]^{0.28} [\text{O}_3]^{1.16} \text{RH} \exp\{+0.033(\text{T}-10)\} t^{0.78}$	$\text{T} < 10^\circ\text{C}$
	$\text{ML} = 0.00045[\text{SO}_2]^{0.28} [\text{O}_3]^{1.16} \text{RH} \exp\{-0.019(\text{T}-10)\} t^{0.78}$	$\text{T} > 10^\circ\text{C}$
Bronse		
Fritt eksponert	$\text{ML} = 0.026[\text{SO}_2]^{0.44} \text{RH} \exp\{+0.060(\text{T}-11)\} t^{0.86} + (0.029 \text{regn}[\text{H}^+] + 0.00043 \text{regn}[\text{Cl}^-]) t^{0.76};$	$\text{T} < 11^\circ\text{C}$
	$\text{ML} = 0.026[\text{SO}_2]^{0.44} \text{RH} \exp\{-0.067(\text{T}-11)\} t^{0.86} + (0.029 \text{regn}[\text{H}^+] + 0.00043 \text{regn}[\text{Cl}^-]) t^{0.76};$	$\text{T} > 11^\circ\text{C}$
Under tak	$\text{ML} = 0.014[\text{SO}_2]^{0.41} \text{RH} \exp\{+0.063(\text{T}-11)\} t$	$\text{T} < 11^\circ\text{C}$
	$\text{ML} = 0.014[\text{SO}_2]^{0.41} \text{RH} \exp\{-0.053(\text{T}-11)\} t$	$\text{T} > 11^\circ\text{C}$
Kalkstein		
Fritt eksponert	$\text{R} = (2.7[\text{SO}_2]^{0.48} \exp\{-0.018\text{T}\} + 0.019 \text{regn}[\text{H}^+]) t^{0.96}$	
Under tak		
Sandstein		
Fritt eksponert	$\text{R} = (2.0[\text{SO}_2]^{0.52} + 0.028 \text{regn}[\text{H}^+]) t^{0.91}$	$\text{T} < 10^\circ\text{C}$
	$\text{R} = (2.0[\text{SO}_2]^{0.52} \exp\{-0.013(\text{T}-10)\} + 0.028 \text{regn}[\text{H}^+]) t^{0.91}$	$\text{T} > 10^\circ\text{C}$
Under tak		
Båndlakkert galv.		
Stål		
Fritt eksponert	$(10\text{-ASTM}) = (0.0084(\text{SO}_2) + 0.015\text{RH} + 0.040(\text{T}-10) + 0.00082 \text{regn}) t^{0.43};$	$\text{T} < 10^\circ\text{C}$
	$(10\text{-ASTM}) = (0.0084(\text{SO}_2) + 0.015\text{RH} - 0.064(\text{T}-10) + 0.00082 \text{regn}) t^{0.43};$	$\text{T} > 10^\circ\text{C}$
Malt stål		
Fritt eksponert	$(10\text{-ASTM}) = (0.033(\text{SO}_2) + 0.013\text{RH} + 0.015(\text{T}-11) + 0.0013 \text{regn}[\text{H}^+]) t^{0.41};$	$\text{T} < 11^\circ\text{C}$
	$(10\text{-ASTM}) = (0.033(\text{SO}_2) + 0.013\text{RH} - 0.015(\text{T}-11) + 0.0013 \text{regn}[\text{H}^+]) t^{0.41};$	$\text{T} > 11^\circ\text{C}$
ML=vekttap (g/m ²), R= sjiktreduksjon i µm, ASTM= skadegrad fra 10-1, 10 er beste karakter, regn=mm/år, t= tid i år, SO ₂ = µg/m ³ , O ₃ = µg/m ³ , RH = relativ fuktighet, T= temperatur i °C, H+ = mg/l		

De mest relevante dose-responsligningene og skadefunksjonene er lagt in som ligninger i CorrCost (se Kapittel 5). For beregninger av korrosjonshastighet så er dette dose-responsligningen i Tabell 2 som er lagt inn. Det er viktig at en gjør en kvalitativ vurdering om ligningene er representative for området før en benytter dem. For Skadefunksjonene er det lagt inn en kombinasjon av ligninger fra MOBAK (se Kapittel 3.1) og ECE ICP materialprosjektene Resultatene fra åtte års eksponering i ECE-ICP materials programmet anses å gi de mest anvendbare dose-responsligningene en har i dag. En særegenhet ved ligningene er at de fleste har en knekk rundt 10°C. Dette betyr ikke at de kjemiske reaksjonene blir langsommere, men snarere at en får en raskere opptørking av overflaten ved høyere temperatur. Av ligningene ser en at det bare er aluminium som får økt korrosjon med tiden ($t > 1$). De fleste får lavere korrosjon. Siden alle parametere benytter sum eller middelerverdier for året, er det en usikkerhet ved datagrunnlaget at SO₂-konsentrasjonene på nesten samtlige stasjoner er betydelig redusert gjennom forsøksperioden. Dette har en forsøkt å kompensere for ved å bruke årsmiddelerverdier for den perioden som prøvene har stått ute, slik at middelerverdiene også synker med tiden.

Det ble gjort store anstrengelser for å få inn andre forurensninger enn SO₂ i ligningene. Det var imidlertid så god korrelasjon mellom gassparametrene i databasen at dette ble vanskelig. O₃ er kommet inn som en del av forklaringen for kobber. Dessuten er den beste korrelasjonen for glassensorene med NO₂ og ikke med SO₂. Fra laboratorieforsøk vet vi at både NO₂ og O₃ har korrosiv effekt når de opptrer samtidig eller sammen med SO₂. I dagens situasjon er det betydelig mer NO₂ og O₃ enn SO₂ i luften utendørs de fleste steder i Europa. derfor burde det være mulig å uttrykke denne avhengigheten i nye dose-responsligninger ved et riktig valg av stasjoner og måleprogram.

ECE-ICP-materials programmet startet derfor i 1997 et nytt fire års eksponeringsprogram med et revidert måleprogram og et revidert stasjonsnett. Resultatene fra dette programmet kan tidligst ventes i 2003. Høsten 2001 vil det startes ett kompletterende prosjekt MULTI-ASSESS med støtte i EU. Prosjektet skal bruke de samme feltstasjonene, men skal konsentrere seg om virkningen på materialer av partikler og sterke syrer. Dette prosjektet skal avsluttes i 2005.

I CorrCost-modellen er ligningen i Tabell 2 lagt inn som standard ligninger. Se Kapittel 5.

2.2 Feltforsøk i kystnære strøk

NILU og Elektrisitetsforsyningens Forskningsinstitutt gjennomførte i perioden 1979 til 1984 en korrosjonsundersøkelse på 17 stasjoner langs kysten, fra Hvaler i sør til Honningsvåg i nord. I tillegg til eksponerte prøver så ble nedbørkjemien og saltavsetningen på NILUs aerosolfelle registrert på stasjonene (Refnæs og Anda, 1987). Generelt observerte en at saltbelastningen var meget avhengig av topografi og vegetasjon. På den flate del Jæren ble saltbelastningen og korrosjonen høy, selv flere kilometer inn i landet. På prøvestasjoner som var skjermet av vegetasjon mot havet så en selv på Jæren at avsetningen 250 meter fra sjø var sammenlignbar med 10 km i åpent terreng. Stasjonen på Ringvassøy 50 meter fra sjøen hadde lavest korrosjon av alle stasjonene siden den lå i en fjord skjermet for vind. Dette prosjektet er en av få undersøkelser hvor en har forsøkt å legge stasjonene slik at

de er upåvirket av lokale antropogene forurensninger men bare påvirket av sjøsaltbelastning i ulik grad. De beste dose-responsligningene er gitt i Tabell 3 og Tabell 4.

Tabell 3: Dose-responsligninger for 1 års prøver av karbonstål, sink og aluminium basert på prøveplater eksponert 45° mot sør.

Karbonstål	$ML=1.299 \cdot CI (AF)+173.7$
Sink	$ML=0.058 \cdot CI (\text{kons. nedbør})+1.36 \cdot \text{Temp}+0.003 \cdot \text{TOW}+12.6$
Aluminium	$ML=-0.52 \cdot \text{Temp}+0.0008 \cdot \text{TOW}+0.73$

CI (AF) er gitt som $\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ målt med aerosolfellen

Tabell 4: Dose-responsligninger for 1 års prøver med trå på bolt, bolten montert vertikalt.

Aluminiumtråd på kobberbolt	$ML=0.029 \cdot CI (AF)+3.39$
Aluminiumtråd på jernbolt	$ML=0.014 \cdot CI (AF)+0.0035 \cdot \text{mm}+2.32$

mm = millimeter nedbør

Ligningene kan i prinsippet benyttes til å beregne korrosjonsbelastningen i områder ved kysten der en ikke har store lokale forurensninger. Hovedproblemet er å modellere partikkelmengden i luft der en ikke har målinger. Både dominerende vindretning, topografi og vegetasjon vil ha stor betydning for partikkelkonsentrasjonen på det lokale sted og vi kjenner ikke noen modell som gir oss denne informasjonen.

I et senere prosjekt INTERREG-prosjektet (Kapittel 8.3) ble det foretatt målinger av kloridbelastningen med aerosolfeller på 10 målestasjoner (Dahlin et al., 2000). På et topografisk kart med inntegnet vegetasjon var det mulig å tegne isolinjer for lik belastning mellom målepunktene. Denne form for tegning kan være en metode for å vise saltbelastningen i et område hvis en har et minimum av målinger.

2.3 Feltforsøk i kalde strøk

En svakhet ved mange av dagens dose-responsligninger er at de passer dårlig i kaldt klima. Dette skyldes primært at feltstasjoner i disse områdene ikke har vært med i store internasjonale prosjekter. Ligningene i Tabell 1 er derfor lite egnet for å beskrive korrosjon ved lav temperatur.

I Norge har NILU gjennomført to mindre undersøkelser som gir noen svar på problemet. Den første ble gjennomført i Sulitjelma i perioden 1984-1988 og den andre i området Pasvik i 1990 til 1994. I Sulitjelma kom temperatureffekten primært frem ved at en hadde månedsprøver av stål. Det vil si at en fikk nye datasett for hver måned hvor korrosjon, klima og forurensningsnivå varierte. I de ligningene som ble utviklet forsøkte en å ta hensyn til at en lav utetemperatur ville redusere virkningen av en målt SO_2 -konsentrasjon. Det ble antatt at de daglige SO_2 -konsentrasjonene bare hadde korrosiv effekt så lenge elektrolytten ikke frøs på overflaten. For alle dager beregnet en derfor en effektiv SO_2 -konsentrasjon (C_{eff}). C_{eff} ble beregnet ved at en tok den målte døgnkonsentrasjonen C_d og

multipliserte den med en faktor $t/24$ hvor t er antall timer i døgnet hvor temperaturen var over frysepunktet.

$$C_{\text{eff}} = (t/24) C_d$$

For å ta hensyn til en mulig frysepunktsnedsettelse i elektrolytten valgte en ulike frysepunkt. I Tabell 5 ser en at for stål så fikk en best korrelasjon mellom korrosjon og effektiv SO_2 når en antok frysepunkt mellom -2°C og -4°C . (Henriksen og Fossestøl, 1989)

Tabell 5: *Ligninger for lineær regresjon mellom månedskorrosjon og SO_2 i Sulitjelma med og uten frysepunktsjustering for SO_2 effektiv*

Scenario for beregning av SO_2	Ligning for lineær regresjon	R^2 verdier
SO_2 uten fryspunktsjustering	$\text{ML} = 0.19 * \text{SO}_2 + 9.1$	0.74
SO_2 med fryspunktsjustering 0°C	$\text{ML} = 0.27 * \text{SO}_2 + 20.8$	0.84
SO_2 med fryspunktsjustering -2°C	$\text{ML} = 0.27 * \text{SO}_2 + 13.2$	0.94
SO_2 med fryspunktsjustering -4°C	$\text{ML} = 0.24 * \text{SO}_2 + 13.1$	0.92
SO_2 med fryspunktsjustering -6°C	$\text{ML} = 0.23 * \text{SO}_2 + 14.3$	0.89

ML = vekttap i g/m^2

I undersøkelsen langs den norsk-russiske grense var det tilstrekkelig variasjon i klimaparametrene mellom prøvestasjonene til at en kunne benytte både måneds- og årsverdien for stål og årsverdiene for sink til å bestemme regresjonsligningene. I stedet for å bruke en redusert SO_2 effekt så benyttet en ”time of wetness” TOW med ulike temperaturgrenser. Også i denne undersøkelsen fikk en best korrelasjon for $T = -4^\circ\text{C}$, se Tabell 6. (Henriksen og Mikhailov, 1997)

Tabell 6: *Regresjonsligninger for månedskorrosjon for stål med ulik grense for TOW*

Temperatur grense for TOW	Ligning for lineær regresjon	R^2 verdier
$T > -2^\circ\text{C}$	$\text{ML} = (-0.26 + 0.0088 * \text{SO}_2 + 0.0001 * \text{CI}) * \text{TOW}$	0.79
$T > -4^\circ\text{C}$	$\text{ML} = (-0.16 + 0.0077 * \text{SO}_2 + 0.00004 * \text{CI}) * \text{TOW}$	0.96
$T > -6^\circ\text{C}$	$\text{ML} = (-0.07 + 0.0067 * \text{SO}_2 + 0.00001 * \text{CI}) * \text{TOW}$	0.81

ML = vekttap i g/m^2

Den siste bearbeidingen av disse dataene ble presentert ved en NACE konferanse i Anchorage i Alaska (Henriksen and Mikhailov, 2001). Ved denne bearbeidingen ble det benyttet korrosjonsdata både fra Sulitjelma og Pasvik og temperatur og relativ fuktighetsdata i stedet for TOW. De beste ligningene for månedlig korrosjon med $R^2 = 82.9\%$ ble:

- $\text{ML} = 0.084[\text{SO}_2]^{0.53} \exp\{0.053\text{RH} + 0.1(\text{T}-1)\}$ for $\text{T} \leq 1^\circ\text{C}$
- $\text{ML} = 0.084[\text{SO}_2]^{0.53} \exp\{0.053\text{RH}\}$ for $1 < \text{T} \leq 5^\circ\text{C}$
- $\text{ML} = 0.084[\text{SO}_2]^{0.53} \exp\{0.053\text{RH} - 0.036(\text{T}-5)\}$ for $\text{T} > 5^\circ\text{C}$

ML = vekttap i g/m^2

Det vil si at for månedsmiddelverdier for $T \leq 1^\circ\text{C}$ så synker korrosjonshastigheten med temperaturen, for området $1 < T \leq 5^\circ\text{C}$ så er det ingen effekt av temperaturen, mens en for $T > 5^\circ\text{C}$ får en økt korrosjon med tiden. Siden denne beregningen baserer seg på månedsmiddelverdier hvor en måned med middelværdi på 1°C vil ha en stor prosent av enkeltverdiene under -4°C er det ikke noe som tyder på at denne bearbeidingen gir et annet frysepunkt enn tidligere.

For årsverdiene så ble det gjort en evaluering både av stål og sink. Ulike ligningsformer ble benyttet, men det var ligningene av typen $ML=a+bTOW(\text{SO}_2)$ som ble valgt til slutt. Ingen av TOW verdiene med andre grenser enn 0°C gav bedre forklaring enn de andre. Dette skyldes sannsynligvis at variasjonen i TOW blir liten på årsbasis om en velger grenser som varierer mellom 0°C og -4°C .

De ulike statistiske bearbeidelsene gir tilnærmet samme resultat selv om inngangsparametrene er forskjellig. De gir også samme konklusjon om frysepunktsnedsettelsen og at stål korroderer ned til -4°C i områder med SO_2 forurensning.

3 Skadefunksjoner eller levetidsligninger

Dose-responsligninger er velegnet til å anslå miljøets aggressivitet. Hvis en skal beregne vedlikeholdsintervaller eller hvor lenge materialet varer før det må skiftes ut så trenger en ligninger som gir tid som svar. Slike ligninger kalles gjerne **skadefunksjoner** eller **levetidsligninger**. Disse funksjonene kan en enten få ved en omregning av dose-responsligninger hvor tid er en faktor i ligningen slik som i Tabell 2. Vedlikeholdsintervallene kan også bestemmes ved inspeksjon av et statistisk utvalg av hus hvor vedlikeholdsintervallene er kjent. Begge metodene er benyttet på NILU og begge har sine sterke og svake sider.

3.1 MOBAK-prosjektet

MOBAK-prosjektet var et nordisk prosjekt hvor også Tsjekkoslovakia var med (Henriksen et al., 1989). Prosjektet skulle gi et bedre grunnlag for å beregne de reelle mengder av bygningsmaterialer som ble eksponert til det ytre miljø i en by. Dette ble gjort ved at en grupperte bygningstypene i 9 kategorier (se Tabell 7). Innen hver gruppe trakk en ut et statistisk utvalg av hus som ble inspisert. Ved hver inspeksjon ble materialtypen, materialmengden, tilstanden til materialet og tidspunkt for siste vedlikehold registrert. Ved å sørge for at en hadde tilstrekkelig inspiserte i ulike deler av byene hvor forurensningsnivået var forskjellig så kunne en korrelere tilstanden og vedlikeholdsintervaller med forurensningssituasjonen i byen. Byene Sarpsborg, Stockholm og Praha var med i undersøkelsen og materialfordelingen i de tre byene er vist i rapporten (Henriksen et al., 1989). I et senere prosjekt for SFT LEVE (Glomsrød et al., 1996) ble disse dataene for bygningsmaterialer benyttet. Her ble noen av de opprinnelige bygning-kategoriene slått sammen mens andre ble delt opp i mindre grupper siden SSBs makroøkonomiske beregninger krevde en annen inndeling. Denne fordelingen i bygningsskategorier er vist i Tabell 7.

Tabell 7: *Materialmengder fordelt på de ulike bygningskategorier etter MOBAK-prosjektet og LEVE-prosjektet gitt i prosent.*

Bygningstype i GAB registeret	Middel areal m ² /bygg	Forsinket stål						Aluminium	Rust tregt stål	Kobber	Tre Beis/malt	Puss	Betong	Tak papp	Tegl	Stein	Glass	Asbest sem.	Annet	Sum			
		ubehandlet		behandlet		Ubeh.	malt																
		pl. utsk	pl. vedl	tråd	profil																b.l.	malt	
Boliger																							
Småhus (inkl. garasjer)	470	0,6	0,6	0,0	0,0	2,8	1,7	0,1	1,1	0,9	0,1	42,5	2,5	5,7	13,2	5,1	11,6	1,5	3,9	5,2	0,9	99,9	
Blokk/leiligheter	2470	1,6	1,6	0,0	0,0	10,3	3,6	0,2	4,0	2,7	0,2	6,6	8,3	23,5	12,6	5,2	8,2	1,6	7,8	1,3	0,8	100,0	
Bergverk/Industri	2450	2,0	2,0	0,0	0,0	21,4	2,7	0,4	6,2	4,5	0,4	3,6	2,1	2,9	5,9	21,1	8,6	1,5	4,7	3,5	6,6	100,0	
Kontor/Forri/Sumferdsel																							
Vareh. & but. eksp. b. lagerb. gar..	875	2,8	2,8	0,0	0,0	7,0	5,1	0,3	4,0	2,8	0,2	18,9	1,3	7,5	8,0	19,0	12,3	1,5	5,3	0,4	0,8	100,0	
Kontor&adm.bygg. Annen bygn.	875	2,8	2,8	0,0	0,0	7,0	5,1	0,3	4,0	2,8	0,2	18,9	1,3	7,5	8,0	19,0	12,3	1,5	5,3	0,4	0,8	100,0	
Hotell Restaurant																							
Off. og Priv. Tjenesteyting	875	2,8	2,8	0,0	0,0	7,0	5,1	0,3	4,0	2,8	0,2	18,9	1,3	7,5	8,0	19,0	12,3	1,5	5,3	0,4	0,8	100,0	
Jordbruk, Skogbruk, Fisk&F.																							
Andre bygg	785	1,6	1,6	0,0	0,0	8,7	3,6	0,1	3,7	2,6	0,0	34,2	1,1	0,1	4,9	0,2	9,6	1,0	11,1	9,0	7,0	100,0	
Infrastruktur (per inbygger)																							
	470	2,0	2,0	0,0	0,0	5,0	3,6	0,2	2,8	2,0	0,2	23,5	7,0	7,6	13,9	9,2	11,2	1,0	5,3	1,5	2,0	100,0	
	9,9	0,0	0,0	12,1	7,1	0,0	80,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	

Tegnforklaringer

Pl. utsk = plater, utskjefing

Pl. vedl. = plater vedlikehold

B.l. = båndlakkert

Ubeh. = ubehandlet

Sem. = sement

Tabell 7 er representativ for Sarpsborg og Stockholm og sannsynligvis også for andre byer i Norge og Sverige. Tabellen skal tolkes slik at et hvert bolighus har et areal på 470m² eksponert overflate med en prosentvis fordeling mellom materialene som vist i Tabell 7. Selv om ingen hus har denne materialfordelingen i praksis så vil et slikt hus representere et gjennomsnitt av alle husene i byen. En tilsvarende tolkning må benyttes for de andre hustypene. Sverige og Norge fikk sammenlignbare resultater. Materialfordelingen er derimot betydelig forskjellig når en kommer til Praha.

For å bestemme den totale mengden må en vite hvor mange hus en har i hver kategori i en by. I Norge kan en bruke det nasjonale bygningsregisteret GAB for å få denne oversikten. (Henriksen et al., 1989, Kucera et al., 1993, Glomsrød et al., 1996)

Tilstandsvurderingen som ble utført ved inspeksjonene ble statistisk behandlet og vedlikeholdsintervallene ble korrelert med forurensningsnivået til SO₂. I første fase ble levetiden kategorisert i 4 forurensningsklasser. En senere bearbeiding (Andersson 1994) transformerte klassene til ligninger hvor SO₂ og sur nedbør var miljøfaktorene. I Tabell 8 er ligningene etter MOBAK-undersøkelsen gitt.

Tabell 8: Skadefunksjoner/levetidsligninger utviklet på basis av resultatene i MOBAK-undersøkelsen.

Materialnavn	Levetidsfunksjon, år
Kalk/Sement puss	$L=1000/(0,124(SO_2)+15,5+13(H+)(\text{regn}))$
Malt Puss	$L=1000/(0,278(SO_2)+18,8+70(H+)(\text{regn}))$
Båndlakkert aluminium	$L=1000/(0,107(SO_2)+32,2+(27(H+)(\text{regn}))$
Båndlakkert malt aluminium	$L=1000/(0,37(SO_2)+62,9+(95(H+)(\text{regn}))$
Båndlakkert forsinket stål	$L=1000/(0,155(SO_2)+38,0+(39(H+)(\text{regn}))$
Båndlakkert malt forsinket stål	$L=1000/(0,37(SO_2)+62,9+(95(H+)(\text{regn}))$
Malt forsinket stål	$L=1000/(0,803(SO_2)+81,5+(200(H+)(\text{regn}))$
Malt stål	$L=1000/(1,37(SO_2)+103+(350(H+)(\text{regn}))$
Takpapp	$L=1000/(0,327(SO_2)+47,7+(80(H+)(\text{regn}))$
Malt/Beiset tre	$L=1000/(1,03(SO_2)+87,5+(260(H+)(\text{regn}))$

L er levetid i år, SO₂ i µg/m³, regn årsnedbør i m, H+ i mg/l

3.2 Skadefunksjoner basert på ECE-ICP materialprosjektet

For å utnytte dose-responsligningene i Tabell 2 som skadefunksjoner er det ikke nok å løse ligningen med hensyn på tiden. En like viktig del er å bestemme hvor mye korrosjon materialet kan tåle før det må skiftes ut eller vedlikeholdes. Dette kan være komplisert. Eksempelvis er det ikke mulig å definere hvor mye en kirkeklokke kan korrodere før den må skiftes ut. Til nå er det kommet forslag til akseptable korrosjonsgrenser for galvanisert stål, kobber og kalkholdig stein. For galvanisert stål er det ulike grenser for ulike bruk. Galvaniserte plater har et sinklag på 30 µm og for dette materialet har en to grenser. Enten anbefaler en at platene skal males når 20 µm av sinken er borte eller at en bytter platene når all sinken, 30 µm, er korrodert vekk. For galvanisert tråd med 30 µm sink har en antatt at tråden blir skiftet ut når sinken er korrodert, mens tyngre profiler med 80 µm sink, som lyktestolper, blir for kostbare å skifte slik at disse blir malt når 60 µm er korrodert. Kobberplater på tak er normalt 800 µm tykke når de legges på og her

har en antatt at de første alvorlige skadene på et tak kommer når den generelle korrosjonen er 100 µm. For kalkholdig bygningstein som en ofte finner i gamle kulturhistoriske bygg som kirker er det forslag om to grenser. For vanlig bygningstein er grensen 5 cm mens for stein med ornamentikk er grensen 1 cm (ApSimon, 1997). I Tabell 9 er disse skadefunksjonene gjengitt.

Alle skadefunksjonene tar kun hensyn til den nedbrytningen som skyldes det ytre miljø og at vedlikeholdet gjøres når det er økonomisk mest fornuftig å gjøre vedlikeholdet. Det er også en forutsetning at reparasjon og vedlikehold er gjennomført på en best mulig korrekt håndverksmessig måte. Eksempelvis vil en sement- eller kalkpusset overflate med riktig påføring og normal fukttransport gjennom veggen ha en levetid mellom 30 og 50 år, mens puss med dårlig håndverksmessig arbeid normalt skaller av i løpet av 10 år.

Tabell 9: Skadefunksjoner basert på dose-responsligningene i ECE-ICP materialprosjektet

Materialnavn	Levetidsfunksjon, år
Forsinket stålplate, utskiftning m=30 µm	$L = 1/((0.14*(SO_2)^{0.26} \exp(0.021*100*RH+0.073*(T-10)))/m^{1.18} + 4.1*regn*(H^+)/m) \quad T \leq 10^\circ C$ $L = 1/((0.14*(SO_2)^{0.26} \exp(0.021*100*RH-0.025*(T-10)))/m^{1.18} + 4.1*regn*(H^+)/m) \quad T > 10^\circ C$
Forsinket stålplate, vedlikehold m=20 µm	$L = 1/((0.14*(SO_2)^{0.26} \exp(0.021*100*RH+0.073*(T-10)))/m^{1.18} + 4.1*regn*(H^+)/m) \quad T \leq 10^\circ C$ $L = 1/((0.14*(SO_2)^{0.26} \exp(0.021*100*RH-0.025*(T-10)))/m^{1.18} + 4.1*regn*(H^+)/m) \quad T > 10^\circ C$
Forsinket ståltråd m=30 µm	$L = 1/((0.14*(SO_2)^{0.26} \exp(0.021*100*RH+0.073*(T-10)))/m^{1.18} + 4.1*regn*(H^+)/m) \quad T \leq 10^\circ C$ $L = 1/((0.14*(SO_2)^{0.26} \exp(0.021*100*RH-0.025*(T-10)))/m^{1.18} + 4.1*regn*(H^+)/m) \quad T > 10^\circ C$
Forsinket stålprofil m=60 µm	$L = 1/((0.14*(SO_2)^{0.26} \exp(0.021*100*RH+0.073*(T-10)))/m^{1.18} + 4.1*regn*(H^+)/m) \quad T \leq 10^\circ C$ $L = 1/((0.14*(SO_2)^{0.26} \exp(0.021*100*RH-0.025*(T-10)))/m^{1.18} + 4.1*regn*(H^+)/m) \quad T > 10^\circ C$
Kobbertekking på tak m=100 µm	$L = 1/(((0.00018*(SO_2)^{0.34}*(O_3)^{0.84}*100*RH^{1.06} \exp(0.028*(T-10)))/m^{1.06} + 8*(regn*(H^+)/m)^{0.93})^{1.2} \quad T \leq 10^\circ C$ $L = 1/(((0.00018*(SO_2)^{0.34}*(O_3)^{0.84}*100*RH^{1.06} \exp(-0.054*(T-10)))/m^{1.06} + 8*(regn*(H^+)/m)^{0.93})^{1.2} \quad T > 10^\circ C$
Kalkstein Dekor m=1000 µm Bygningsstein m=5000 µm	$L = (m / (2.7 * SO_2^{0.48} * \exp(-0.018 * T) + 19 * regn * H+))^{1.04}$
Kalkholdig sandstein Dekor m=1000 µm Bygningsstein m=5000 µm	$L = (m / 2.0 * SO_2^{0.52} + 28 * regn * H+)^{1.1} \quad T \leq 10;$ $L = (m / 2.0 * SO_2^{0.52} * \exp(-0.013 * (T - 10)) + 28 * regn * H+)^{1.1} \quad T > 10;$

L er levetid i år, SO₂ i µg/m³, O₃ i µg/m³, RH relativ fuktighet, T temperatur i °C, regn årsnedbør i meter, H+ i mg/lm, m er reduksjon av tykkelsen i µm.

4 CorrCost

4.1 Bakgrunn

Basert på de ligningene for nedbrytning som er etablert startet en tidlig på NILU med beregning av kostnader relatert til materialnedbrytning. (Henriksen et al., 1981). De data en trenger til slike beregninger er:

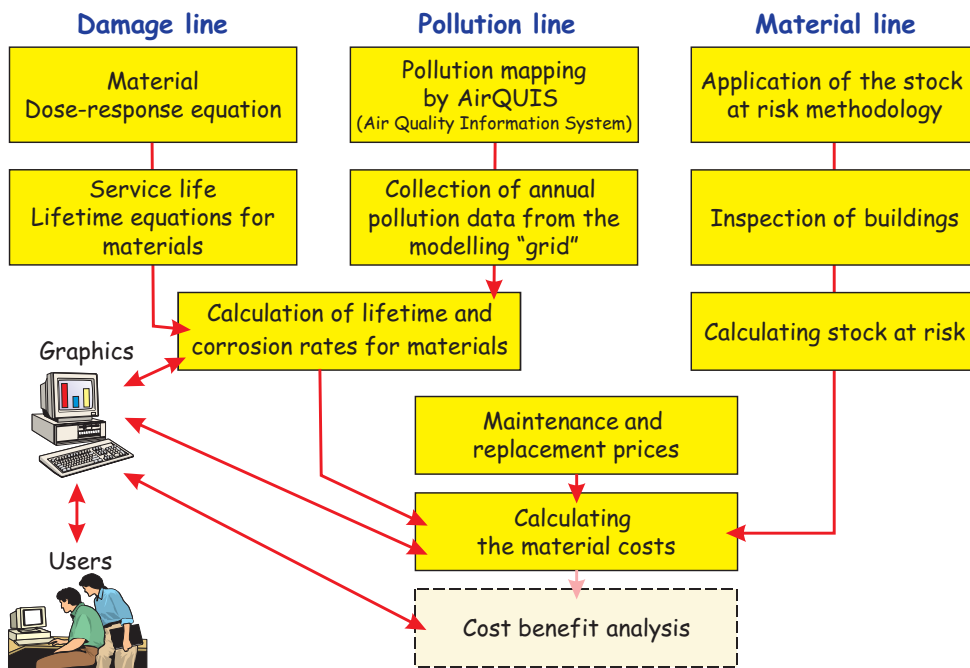
- Levetidsligninger for materialene.
- Forurensningsdata som passer til ligningene i de områder hvor materialene befinner seg,
- Data om materialmengder og deres geografiske fordeling
- Priser for reparasjon og vedlikehold av materialer.

Som det fremgår av kapittel 4 så finnes det gode ligninger for enkelte materialer mens ligningene fra MOBAK-undersøkelsen er betydelig enklere. MOBAK-undersøkelsen gav derimot en betydelig forbedret database for materialer i norske byer og bedre priser for vedlikehold. Disse dataene har blitt benyttet i to kostnadsstudier hos SSB (Glomsrød, 1989 og 1996).

NILU var også tidlig ute med å beskrive korrosjonsbelastningen i et område og hvorledes den forandret seg med forurensningsnivået i området (Henriksen et al., 1984). Beskrivelse av korrosjon og kostnader i et geografisk område har gjort det naturlig å utarbeide et GIS-basert modelleringsverktøy for materialskader, ”CorrCost ” etter de samme prinsipper som i NILUs modellverktøy for lokale luftforurensninger, AirQUIS.

4.2 CorrCost systemet

De første versjonene av CorrCost ble etablert utenfor AirQUIS. Til Guangzhou-prosjektet ble det laget et Excel-basert verktøy (Tian Kai et al., 1999). Også i SSB undersøkelsen i 1996 ble kostnadene i Oslo beregnet i en GIS-basert modell. Den første integrerte CorrCost modellen basert på ENSIS-plattformen ble utarbeidet og testet REACH prosjektet (Henriksen 2001). Prinsippene for CorrCost modellen er vist i Figur 1.



Figur 1: Prinsippene for CorrCost modellen.

Via "Skadelinjen" introduseres de mest aktuelle dose-responsligningene og levetidsligningene. Disse er definert i CorrCost og må omkodes hvis en ønsker å bruke nye ligninger. "Forurensningslinjen" baserer seg enten på utregninger av årsmiddelkonsentrasjoner av aktuelle forurensninger i AirQUIS eller import av filer med verdiene av forurensningene gitt i et rutenett. Ved å kombinere disse datafilene så regner CorrCost ut enten korrosjonshastigheten i rutenettet eller levetiden for materialet, enten som vedlikeholdsintervaller eller som utskiftingsperioder. "Materiallinjen" har definert seks ulike hustyper med gjennomsnittlig ytre overflate og med en statistisk fordeling av materialer per hustype, basert på MOBAK undersøkelsen. I andre land med andre byggeskikker må en definere andre hustyper og andre statistiske materialfordelinger. I Norge kan vi koble opp denne statistiske materialfordelingen mot bygningsregisteret for Norge (GAB). Dette registeret vil gi GIS basert husfordeling som CorrCost regner om til materialfordeling. Det er mulig å legge inn reelle materialverdier for reelle hus i CorrCost og regne med dem i stedet for å bruke statistiske størrelser. I CorrCost er det lagt inn standard priser for vedlikehold og reparasjon per kvadratmeter overflate. Prisene er basert på opplysninger om standard anbudspriser som bransjen benytter. De siste prisene som er innhentet og som ligger i basen er fra 1994. Prisene kan lett justeres hvis en skal bruke modellen i andre land eller når en får nye norske priser.

Ved å kombinere rutenettverdiene for levetid og materialmengder i de samme rutene med kostnadene regner CorrCost ut de totale vedlikeholdskostnadene for hver rute. Videre må en definere hva den realistiske bakgrunnsforurensningen i området er. Ut fra disse opplysningene regner CorrCost ut hva vedlikeholdskostnadene ville vært uten lokale forurensning siden alle materialer vil nedbrytes over tid også uten forurensninger. Differansen mellom disse verdiene vil bli de kostnadene som kan relateres til forurensningene i området. En brukermanual for

CorrCost skal være ferdig i løpet av 2002. En demonstrasjon av hvorledes CorrCost modellen fungerer i praksis er gitt i Case Study ”Kristiania Kvadraturen ” i Oslo (Henriksen et al., 2001).

Tabell 10: De levetidsligningene som er lagt inn i CorrCost.

Materialnavn	Levetidsfunksjon, år
Forsinket stålplate, utskiftning m=30	$L = 1/((0.14*(SO_2)^{0.26} * \exp(0.021*100*RH+0.073*(T-10)))/m^{1.18} + 4.1 * \text{regn} * (H^+)/m) \quad T \leq 10^\circ C$ $L = 1/((0.14*(SO_2)^{0.26} * \exp(0.021*100*RH-0.025*(T-10)))/m^{1.18} + 4.1 * \text{regn} * (H^+)/m) \quad T > 10^\circ C$
Forsinket stålplate, vedlikehold m=20	$L = 1/((0.14*(SO_2)^{0.26} * \exp(0.021*100*RH+0.073*(T-10)))/m^{1.18} + 4.1 * \text{regn} * (H^+)/m) \quad T \leq 10^\circ C$ $L = 1/((0.14*(SO_2)^{0.26} * \exp(0.021*100*RH-0.025*(T-10)))/m^{1.18} + 4.1 * \text{regn} * (H^+)/m) \quad T > 10^\circ C$
Forsinket ståltråd m=30	$L = 1/((0.14*(SO_2)^{0.26} * \exp(0.021*100*RH+0.073*(T-10)))/m^{1.18} + 4.1 * \text{regn} * (H^+)/m) \quad T \leq 10^\circ C$ $L = 1/((0.14*(SO_2)^{0.26} * \exp(0.021*100*RH-0.025*(T-10)))/m^{1.18} + 4.1 * \text{regn} * (H^+)/m) \quad T > 10^\circ C$
Forsinket stålprofil m=60	$L = 1/((0.14*(SO_2)^{0.26} * \exp(0.021*100*RH+0.073*(T-10)))/m^{1.18} + 4.1 * \text{regn} * (H^+)/m) \quad T \leq 10^\circ C$ $L = 1/((0.14*(SO_2)^{0.26} * \exp(0.021*100*RH-0.025*(T-10)))/m^{1.18} + 4.1 * \text{regn} * (H^+)/m) \quad T > 10^\circ C$
Koppertekking på tak m=100	$L = 1/(((0.00018*(SO_2)^{0.34} * (O_3)^{0.84} * 100 * RH^{1.06} * \exp(0.028*(T-10)))/m^{1.06} + 8 * (\text{regn} * (H^+)/m)^{0.93})^{1.2} \quad T \leq 10^\circ C$ $L = 1/(((0.00018*(SO_2)^{0.34} * (O_3)^{0.84} * 100 * RH^{1.06} * \exp(-0.054*(T-10)))/m^{1.06} + 8 * (\text{regn} * (H^+)/m)^{0.93})^{1.2} \quad T > 10^\circ C$
Kalkstein Dekor m=1000 Bygningsstein m=5000	$L = (m / (2.7 * SO_2^{0.48} * \text{Exp}(-0.018 * T) + 19 * \text{regn} * H+))^{1.04}$
Kalkholdig sandstein Dekor m=1000 Bygningsstein m=5000	$L = (m / 2.0 * SO_2^{0.52} + 28 * \text{regn} * H+)^{1.1} \quad T \leq 10;$ $L = (m / 2.0 * SO_2^{0.52} * \text{Exp}(-0.013 * (T - 10)) + 28 * \text{regn} * H+)^{1.1} \quad T > 10;$
Kalk/Sement puss	$L = 1000 / (0,124(SO_2) + 15,5 + 13(H+)(\text{regn}))$
Malt Puss	$L = 1000 / (0,278(SO_2) + 18,8 + 70(H+)(\text{regn}))$
Båndlakkert aluminium	$L = 1000 / (0,107(SO_2) + 32,2 + (27(H+)(\text{regn}))$
Båndlakkert malt aluminium	$L = 1000 / (0,37(SO_2) + 62,9 + (95(H+)(\text{regn}))$
Båndlakkert forsinket stål	$L = 1000 / (0,155(SO_2) + 38,0 + (39(H+)(\text{regn}))$
Båndlakkert malt forsinket stål	$L = 1000 / (0,37(SO_2) + 62,9 + (95(H+)(\text{regn}))$
Malt forsinket stål	$L = 1000 / (0,803(SO_2) + 81,5 + (200(H+)(\text{regn}))$
Malt stål	$L = 1000 / (1,37(SO_2) + 103 + (350(H+)(\text{regn}))$
Takpapp	$L = 1000 / (0,327(SO_2) + 47,7 + (80(H+)(\text{regn}))$
Malt/Beiset tre	$L = 1000 / (1,03(SO_2) + 87,5 + (260(H+)(\text{regn}))$

L er levetid i år, SO₂ i µg/m³, O₃ i µg/m³, RH relativ fuktighet, T temperatur i °C, regn årsnedbør i meter, H+ i mg/lm, m er reduksjon av tykkelsen i µm.

De mest relevante dose-responsligningene og skadefunksjonene er lagt in som ligninger i CorrCost. For beregninger av korrosjonshastighet så er dette dose-responsligningene i Tabell 2 som er lagt inn. Det er viktig at en gjør en kvalitativ vurdering om ligningene er representative for området før en benytter dem. For skadefunksjonene er det lagt inn en kombinasjon av ligninger fra MOBAK og ECE ICP materialprosjektene

5 Standardisering av korrosjonsmiljøet

Gamle nasjonale og internasjonale standarder bruker en miljøbeskrivelse som er rent beskrivende, som eksempelvis bymiljø, landmiljø o.l.. NILU har helt fra 1970-årene vært med i nasjonalt og internasjonalt arbeid for å få en bedre forståelse for at en trenger en mer kvantitativt beskrivelse av miljøet. Dette arbeidet har vært gjennomført i ISO/TC156/WG4 og endte opp med fire standarder. ISO 9223 "Corrosion of metals and alloys-Corrosivity of atmospheres-Classification", ISO 9224 gir "Guiding values for the corrosivity categories", ISO 9225 gir "Measurement of pollution" og ISO 9226 gir "Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity" (ISO, 1992A,B,C og D).

Standard ISO 9223 er bygd opp ved at korrosjonshastigheten til bruksmetallene stål, sink, kobber og aluminium er definert i fem ulike korrosjonsklasser. I tillegg til korrosjonsklassene defineres det fire klasser for SO₂ og klorid som korrosjonsfremmende forurensninger og våtid TOW i fem klasser. I Tabell 11 er disse parameterene lagt ut som en matrise hvor hver kombinasjon av miljøparametrene gir en korrosjonsklasse.

Tabell 11: Matrise for korrosjonen av karbonstål og dens avhengighet av SO₂, klorid og våttid.

ISO 9223: 1992(E)

Derivation of corrosivity of atmospheres for carbon steel

Corrosivity category	Corrosion rate		Time of wetness expressed in hours where RH > 80 %, t > 0° C (h/a)				Airborne salinity Chloride deposition rate [mg/m ² · d]	Site: Borregaard							
	r _{corr} (1st year) g/(m ² · a)	r _{lin} (steady state) µm/a	τ ≤ 10 (class τ ₁) Indoor, no climatic control	10 < τ ≤ 250 (class τ ₂) Indoor, no climatic control except in damp climates	250 < τ ≤ 2500 (class τ ₃) Outdoors in dry, cold climates, ventilated sheds in temperate climates	2500 < τ ≤ 5500 (class τ ₄) Outdoors in temperate climates, unventilated sheds in temperate climates, ventilated sheds in damp climates		S ₀	S ₁	S ₂	S ₃				
C 1	τ corr ≤ 10	τ corr ≤ 0,1					S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	
C 2	10 > τ corr ≤ 200	0,1 > τ corr ≤ 1,5					S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	
C 3	200 < τ corr ≤ 400	1,5 < τ corr ≤ 6					S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	
C 4	400 < τ corr ≤ 650	6 < τ corr ≤ 20					S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	
C 5	650 < τ corr ≤ 1500	20 < τ corr ≤ 90					S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	
Industrial pollution by sulphur dioxide (SO ₂)	Concentration µg/m ³	Category	Deposition rate mg/(m ² · d)	Airborne salinity				Chloride deposition rate [mg/m ² · d]							
				S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃				
	P _C ≤ 12 12 > P _C ≤ 40	P ₀ P ₁	P _d ≤ 10 10 > P _d ≤ 35	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
	40 > P _C ≤ 90	P ₂	35 > P _d ≤ 80	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
	90 > P _C ≤ 250	P ₃	60 > P _d ≤ 200	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃

Note: Corrosivity is expressed as the numerical part of the corrosivity category code (for example: 1 instead of C1)

Klassifiseringen i denne ISO standarden var basert på tilgjengelige data og forskeres erfaring på 1980-tallet. For å verifisere tabellene ble det innen ISO startet et feltprogram, ISOCORRAG, i 1987. Prøveprogrammet omfattet alle materialene i standarden og materialene ble eksponert både som standard plater 15x10 cm og som åpen helix se kapittel 11.5. Kravet til miljømålingene er de samme som i standarden. Feltprogrammet hadde deltakere fra alle verdensdeler og korrelasjonen mellom korrosjon og miljø var rimelig god for de fleste metaller, men en viss justering av grensene i klassene vil være nødvendig (Dean, 1993). En revisjon av ISO standard 9223 er derfor planlagt men en diskuterer fremdeles hvorledes resultatene skal presenteres. Noen ønsker å gå bort fra bruken av tabeller, og å gå over til ligninger fra ECE-ICP material prosjektet for å anslå korrosiviteten. Ved å benytte disse ligningene kan flere miljøparametere inkorporeres.

For tiden arbeider ISO/TC156/WG4 med tilsvarende standarder for innemiljø. NILU har hatt ansvaret for standarden som beskriver målemetoder for disse miljømålinger. Definisjonen av korrosjonsklasser har vært enkel å bestemme, men det er betydelig vanskeligere å kombinere forurensningsparametre til korrosjonen innendørs siden det er flere forurensninger med i prosessene og korrosjonshastigheten er lavere. Foreløpig er følgende miljøparametere definert: Relativ fuktighet, SO₂, NO₂, O₃ og NH₃. Arbeidet er kommet så langt at utkast fra komiteen Committee Draft (CD) er sendt ut på høring. Følgende utkast er sendt ut: ISO/CD 11844, ISO/CD 15964 og ISO/CD 15965.

NILU har også vært aktivt med i klassifiseringsarbeidet for korrosjonshindrende malinger. Dette arbeidet utføres i ISO/TC35/SC14. Standardene skulle både bli ISO og EN standarder. NILU hadde ansvaret for miljøstandarden og det ble lagt vekt på at det ikke skulle være noen uoverensstemmelse mellom malingsstandardene og ISO 9223. Korrosjonsklassene er derfor sammenfallende i begge standardene, men klassen med høyest korrosjon ble delt i en marin og en industri del med de samme korrosjonsgrenser. Dette ble innført siden det er svært ulike malingsystemer som anbefales for marint miljø og i forurenset surt industrimiljø. Standarden "Maling og lakk- Korrosjonsbeskyttelse av stålkonstruksjoner med beskyttende malingsystemer" er delt i åtte deler EN ISO 12944-1 til 8, hvor miljøstandarden har nummer 12944-2 (ISO, 1998). Standardene er oversatt til norsk.

NILU var aktivt med i ISO-arbeidet i ISO/TC59/C3/WG9 "Design Life of Buildings" så lenge Svein Haagenrud var på NILU. Internasjonalt er dette arbeidet en del av arbeidet i CIB W80 og RILEM 140-TSL, Sub-Group 2. Her ble det utarbeidet en større rapport "Environmental Characterisation including Equipment for Monitoring" (Haagenrud S. E., 1997). Internasjonalt har det vært stor interesse for at NILU skal fortsette som medlem i arbeidsgruppene i RILEM og CIB.

6 Innemiljø

Etablering av dose-responsligninger og levetidsfunksjoner i et innemiljø er vanligvis mer komplisert enn i et utemiljø. Utemiljøet er dominert av enkelte forurensninger som er enkle å måle. Konsentrasjonene av disse forurensningene

blir redusert på veien inn i bygninger. I tillegg så finnes det andre forurensninger innendørs som en ikke behøver å ta hensyn til ute. NILU hadde et større prosjekt med Teledirektoratet i Norge på 1980-tallet (Henriksen et al., 1986). Dette prosjektet ble utvidet til et nordisk prosjekt for elektronikk korrosjon i 1983 (Henriksen et al., 1991).

6.1 Elektronikkprosjektene

Elektronikkprosjektene fulgte samme forskningsmetodikk som feltstudiene i utemiljø. Det ble eksponert metallprøver på 48 utvalgte lokaliteter samtidig som en målte et utvalg av forurensninger. Måleutstyret for luftforurensningene var de samme som ved utemålingene, mens prøvestykkene var forskjellige. Metallprøvene var strips på 1x8 cm og foruten temperatur og relativ fuktighet ble følgende forurensninger målt SO₂, NO₂, H₂S, Cl₂, NH₃+NH₄, klorid og sot. I tillegg til feltundersøkelsene ble det utført simulerte tester i klimaskap primært for å komme fram til standard tester som kunne være representative for ulike miljøer. Resultatene ble sammenfattet i en håndbok "Corrosion of Electronics- A handbook based on Experiences from a Nordic Research Project" (Henriksen et al., 1991). Resultatene ble sammenlignet med resultatene i et større amerikansk prosjekt (Abbot, 1987). Som mål for korrosjonshastigheten aksepterte en klassifiseringen i fire klasser som allerede ble benyttet i en amerikansk standard ISA-S71.04-1985 (ISA; 1986). Denne benyttet kobberstrips som ble eksponert 1 til 3 måneder hvorefter korrosjonsbelegget tykkelse ble bestemt ved katodisk reduksjon. Tabell 12 gir en oversikt over klassene,

Tabell 12: Klassifisering av korrosjonsklasser i innemiljø etter ISA-S71.04-1985.

Korrosivitetsklasser	Korrosjonshastighet for kobber (Ångstrøm/første måned)	Vurdering av korrosjonsklassene
G1 Lav	<300	Områder hvor korrosjon ikke bestemmer instrumentenes pålitelighet
G2 Moderat	<1000	Områder hvor korrosjon kan bestemmer instrumentenes pålitelighet
G3 Kraftig	<2000	Områder hvor korrosjon vil bestemmer instrumentenes pålitelighet og levetid
GX Meget kraftig	>2000	Områder hvor bare spesielt beskyttet utstyr vil funksjonere over tid

Forurensningsparametrene ble delt i 5 klasser for alle parameterene, mens fuktigheten ble delt i 6 våttidsklasser slik at både ute-og innemiljøet ble dekket.

Med basis i resultatene fra det nordiske prosjektet ble det på samme måte som i ISO 9223 laget en matrise for korrosivitetsklassene ved ulike belastninger. Grensene for forurensningsklassene P 1-5 for ulike forurensninger og våttidsklassene τ 1-6 finner en håndboken. Matrisen er vist i Tabell 13. Lite korrosjon G1 finner en ved lav forurensning og lav fuktighet. En mer detaljert beskrivelse av systemet er gitt i håndboken.

Tabell 13: *Matrise for å bestemme korrosjonsklassene når en kjenner forurensningsnivået i innemiljøet*

Våttids- klasser	Forurensningsklasser som gjelder for SO ₂ , NO ₂ , H ₂ S, Cl ₂ , NH ₃ +NH ₄ ⁺ , Cl ⁻ , sot				
	P1	P2	P3	P4	P5
T 1	G1	G1	G1-2	G1-2	G2
T 2	G1	G1-2	G2	G2	G2
T 3	G1-2	G2	G2	G2-3	G3
T 4	G1-2	G2	G2-3	G3	G3-X
T 5	G2	G2-3	G3	G3-X	GX
T 6	G2	G3	GX	GX	GX

I denne matrisen tar en kun hensyn til den forurensningen som gir høyest belastning og en ser bort fra synergistiske effekter i blanding av gasser.

7 Prosjekter relatert til steinmaterialer

På 1980-tallet ble det startet en del prosjekter som var relatert til problemer med nedbrytning av steinmaterialer og mørtel i bygging av stein. Et studium av stein fra Nidarosdomen var gjennomført tidligere (Haagenrud, 1973). Den første feltstudien ble startet i 1980 og var et NATO/CCMS prosjekt "Conservation and restoration of monuments" (Henriksen et al., 1983 og 1985). I 1991 ble NILU partner i et EU prosjekt STEP-CT90-0108 "Physicochemical parameters, including pollutants interaction, affecting the rate of dry deposition on stone surfaces" (Henriksen, 1994B og 1995).

Under planleggingen av vernebygget for domkirkeruinene på Hamar ble det gjennomført to undersøkelser ved NILU. Den ene var en "state of the art" undersøkelse om bevaring av arkeologisk materiale i jord (Dahlin og Presterud, 1992) og den andre en miljømessig vurdering av forholdene rundt Hamar domkirkeruin (Henriksen, 1994A).

En ny vinkling på problemet steinforvitring kom med INTERREG-prosjektet i 1995 (Dahlin et al., 1999) hvor nedbrytning av helleristninger var problemstillingen.

7.1 NATO/CCMS prosjektet

Undersøkelsen hadde som mål å bestemme nedbrytningen av kalkstein og kalkholdig sandstein som funksjon av miljøbelastningen. I tillegg skulle en vurdere et nytt tysk utstyr som skulle måle avsetningen av gasser og partikler (IRMA-apparatet). I Norge ble prosjektet supplert med noen norske steintyper hvorav noen var behandlet med konsolideringsmidler. I dette prosjektet ble eksponering av steinprøver montert på en karusell benyttet for første gang ved NILU. Se kapittel 11.10. eksponering av stein. Denne teknikken ble senere også benyttet til steinprøvene i ECE/ICP-materialprogrammet. NILU gjennomførte i dette prosjektet den første regresjonsanalysen av nedbrytningen av stein mot forurensninger (Henriksen et al., 1985). Se Tabell 14.

Tabell 14: Dose-responsligninger for vekttap(ML) av kalkstein og kalkholdig stein bestemt i NATO/CCMS-prosjektet.

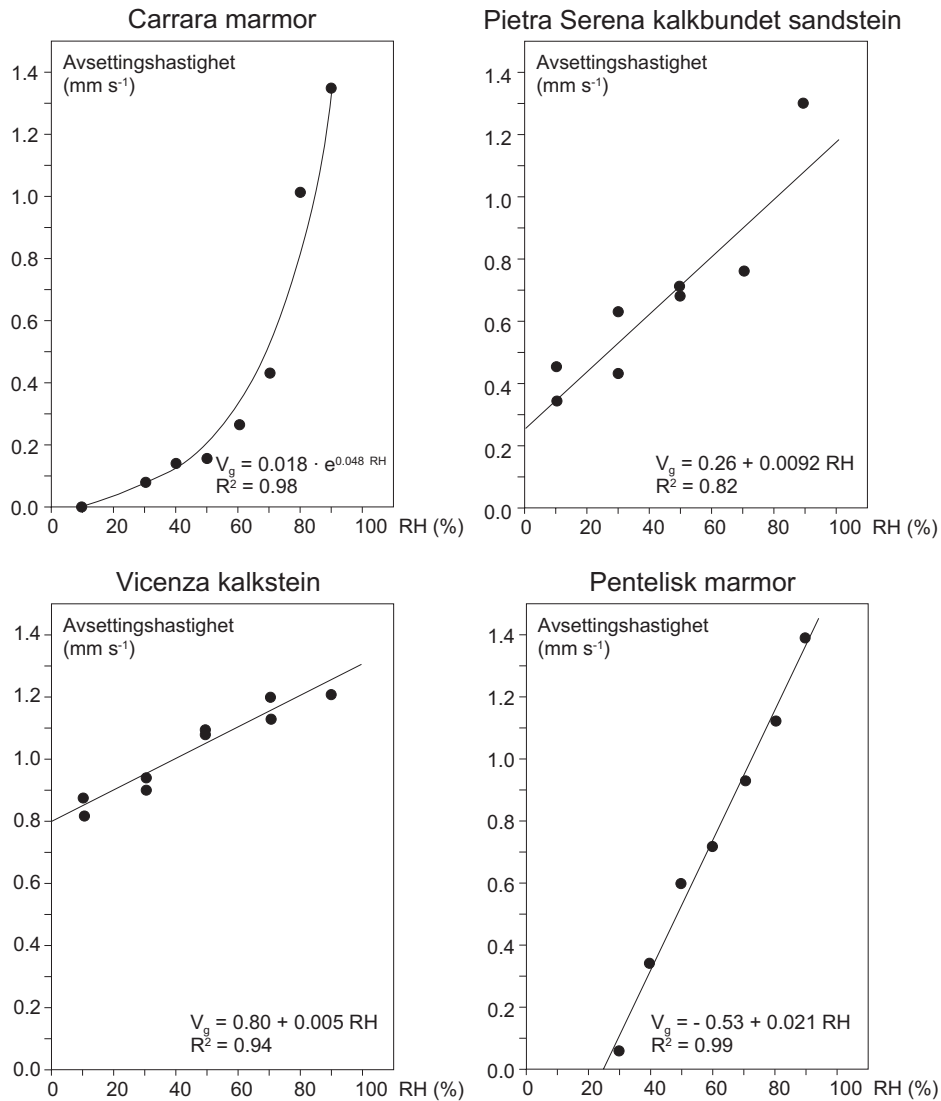
kalkstein	$ML=0.05 \cdot SO_2 \text{ (avsetning)} + 0.08 \cdot RD \text{ (regndager)} - 1.9$	R=0.79
Kalkholdig sandstein	$ML=0.03 \cdot SO_2 \text{ (avsetning)} + 0.01 \cdot RD \text{ (regndager)} - 1.4$	R=0.69

SO₂-avsetningen ble her målt med det tysk produserte instrumentet (IRMA) og den statistiske behandlingen ble gjort med programmet MULREG (Gram, 1972). Det ble også foretatt en "cluster" analyse av datasettene ved Norsk Regnesentral uten at en kom til andre resultater.

7.2 EU prosjekt STEP-CT90-0108 "Physicochemical parameters, including pollutants interaction, affecting the rate of dry deposition on stone surfaces"

Denne undersøkelsen inneholdt både laboratorie- og feltundersøkelser. I laboratorieundersøkelsene ble avsetningen av gasser på steinprøver målt ved at en målte gasskonsentrasjonen inn og ut av NILUs eksponeringskammeret produsert ved Chalmers tekniske høgskole i Gøteborg. Samme teknikk er brukt og videreutviklet på NILU i IMPACT-prosjektet. IMPACT-prosjektet er et EU-prosjekt EVK4-2000-00695 "Innovative Modelling of Museum Pollution and Conservation Thresholds" hvor NILU deltar. Metoden ble også testet ved at en analyserte mengden av svovel som ble avsatt og reagerte med steinen. Det ble brukt en endefres som tok ut steinprøver i tynne sjikt fra overflaten og innover. Prøvematerialet ble analysert for sulfat på K-lab for å bestemme hvor langt inn i steinmaterialet SO₂ reagerte.

Resultatene av avsetningsmålingene er vist i Figur 2 og Tabell 15.



Figur 2: Avsetningshastigheten av SO₂ på fire kalkholdige steintyper ved ulike relativ fuktighet i en atmosfære med SO₂-og NO₂-forurensning.

Tabell 15: Avsetningshastigheten til SO₂ på steinmaterialer ved 22°C og 90% relativ fuktighet og konstant dosering av 350 μg/m³. Hastigheten bestemmes etter 3 døgns eksponering.

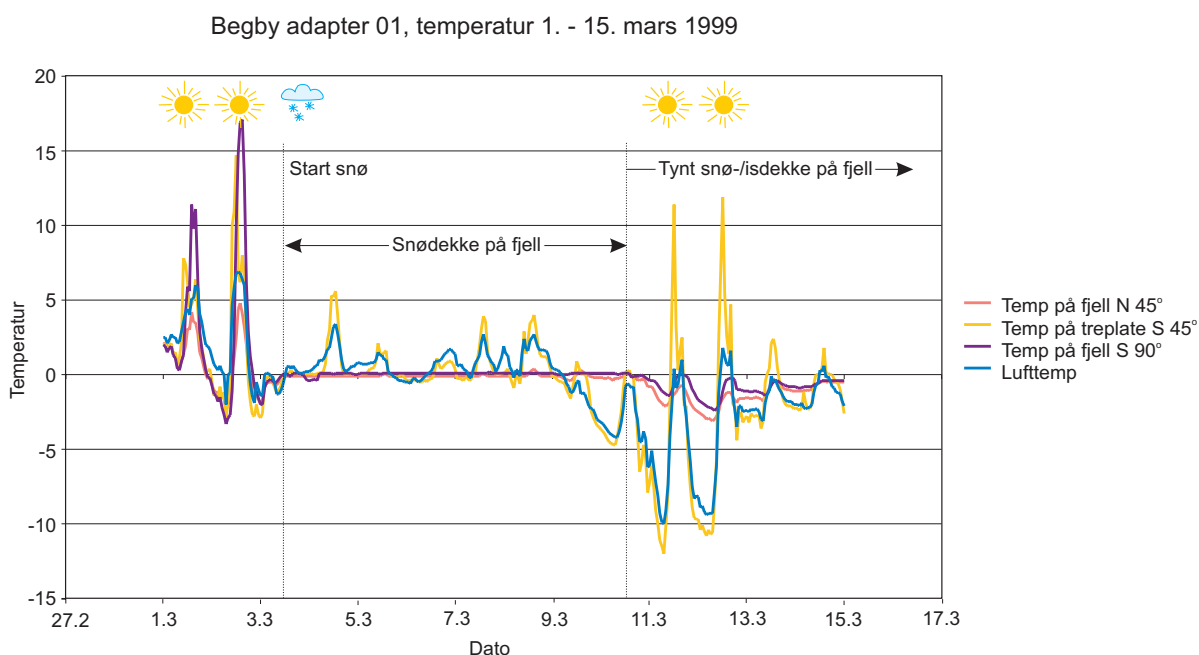
Material	Avsetningshastighet av SO ₂ i mm/s	% forandring når NO ₂ er til stede
Kalkholdig puss	1,12	
Kalkstein Vicenza	1.00	+ 25%
Kalkholdig sandstein Pietra Serena	0.93	+ 17%
Marmor Pentelisk	0.69	+ 97%
Marmor Carrara	0.58	+ 133%
Granitt grå og rød	0.38	
Kleberstein fra ulike steinbrudd	0.07-0.40	
Monzonitt grønn (Larvikitt)	0.27	
Syenitt rød	0.27	
Monzonitt blå (Larvikitt)	0.09-0.18	
Glass	~ 0	

Testen som er presentert i Tabell 15 er markedsført overfor norsk steinindustri som en SO₂ følsomhetstest. For å få et referansepunkt for norske stein som kunne sammenlignes med stein som er bedre kjent i Europa ble Pentelisk marmor brukt som referansemateriale.

7.3 INTERREG

INTERREG-prosjektet var et norsk-svensk samarbeidsprosjekt for å studere nedbrytning av helleristninger i Østfold og Bohuslän. Prosjektet var tverrfaglig hvor både geologi-, biologi- og miljøkompetanse var viktig. NILUs bidrag på miljøsidan var konsentrert om å måle våt- og tørravstningen på feltene samt å måle mikromiljøet på utvalgte steder på feltet med WETCORR-instrumentet. Resultatene viste at forsureningseffekten i dag betyr mindre enn de klimatiske forhold. I tillegg så en effekten av lokale aktiviteter som gjødsling og kalking av omliggende jorder og at kronedrypp fra trær kan gi betydelig tilskudd til saltbelastningen på feltet.

WETCORR-målingene ga informasjon om fuktighet på målepunktene, opptørkingstid og temperaturvariasjoner. Eksempelvis ble det registrert antall frysepunktspasseringer og store temperaturvariasjoner over et døgn (mer enn 20 °C). Figur 3 viser en periode hvor en først hadde fint tørt vær, så en periode som startet med snø slik at fjellet ble dekket og en siste periode hvor snøen hadde smeltet og en fikk store svingninger rundt null hver dag. Under snødekket var temperaturen helt stabil på 0 °C, mens utetemperaturen varierte.



Figur 3: Resultater fra INTERREG-prosjektet med temperaturmålingene for sensorene tilkoblet sensor adapter 01 på Begby, Østfold i perioden 1. til 15. mars 1999.

8 Prosjekter relatert til trematerialer

Trematerialer er det mest anvendte bygningsmaterialet for hus i Norge. Tre er et godt byggemateriale med lang levetid hvis konstruksjonen er fornuftig og vedlikeholdet blir utført i henhold til anbefalte retningslinjer. NILU startet sitt arbeid med trematerialer i ECE-ICP materialprosjektet ved eksponering av malte paneler (Henriksen et al., 1998A). I et senere prosjekt PROWOOD ble malingsundersøkelsene utvidet med flere systemer (Anda og Henriksen, 2001). Senere har en hatt to prosjekter hvor en skulle vurdere tilstanden til hele trebygningen, Wood-Assess og MMWood (Haagenrud et al., 1998), (Henriksen et al., 1998B) og (Krigsvoll et al., 2000).

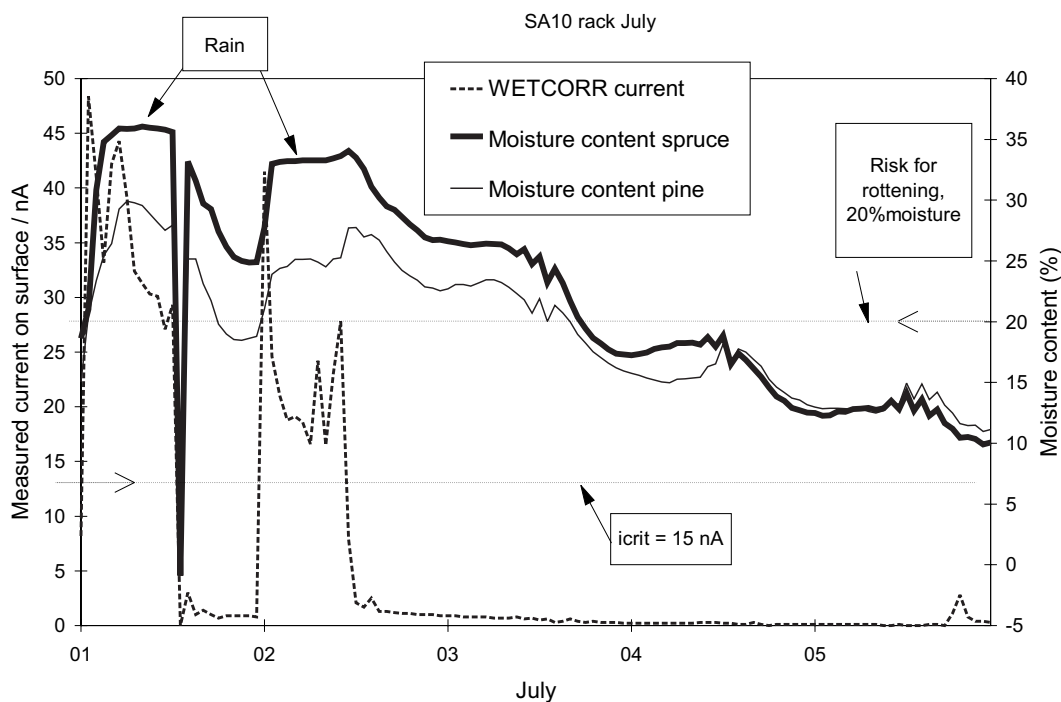
8.1 Wood-Assess EU prosjekt ENV4-CT95-0110

Wood-Assess var et EU-prosjekt koordinert av NILU. Hovedmålene for prosjektet var:

1. Utvikle et PC-basert system for å vurdere tilstanden til de ytre deler av bygninger hvor tre var et viktig konstruksjonsmateriale.
2. Utvikle metoder for å måle overflate fuktighet og det resulterende vanninnholdet i trekonstruksjoner
3. Metode for å kartlegge risikofaktoren for nedbrytning av trematerialer basert på klimatiske faktorer

Målsetting 1: Det ble utarbeidet en egen protokoll hvor systematikken for en tilstandsvurdering ble beskrevet (Veit et al., 1998A). For den praktiske gjennomføringen ble det utarbeidet et orienteringssystem for å beskrive hvor på bygget skaden ble observert samt et skadeatlas hvor ulike skadetyper ble gradert, beskrevet og illustrert med bilder (Veit et al., 1998B). Dette arbeidet er videreført i EU-Craft prosjektet MMWood.

Målsetting 2: Til å utvikle metoder for vurdering av fuktbelastningen ble NILU-WetCorr instrumentet benyttet. Ved siden av å bruke den vanlige WetCorr sensoren, så ble det også benyttet en sensor som ble skrudd inn i trevirket, InWood sensor. WetCorr-sensoren ble kalibrert med basis i feltmålinger på Maihaugen som vist i Figur 4 med kritisk strøm på 15 nA. InWood sensoren ble kalibrert ved målinger i klimaskap hvor grensen for råte risiko ble satt til 20% vann i trevirket som tilsvarte en strømmengde for IW sensoren på 26 nA. 20% vann ble bestemt både med veiing av prøvestykkene og med målinger med et kommersielt standard instrument (Henriksen et al., 1998A).



Figur 4: Variasjon i vanninnhold i gran- og furupanel eksponert på Maihugen i juli 1997 sammenlignet perioder med regn.

Målsetting 3: Modelleringen ble utført i Arc-Info (Henriksen et al., 1998B). En videreutvikling av modellen med bruk av Arc-View som programvare blir gjennomført i 2001 finansiert av NILU. Modellen er blitt et supplement til CorrCost modellen. Se kapittel 4.

9 Måling av fuktighet

9.1 Bakgrunn

Korrosjonsprosessen er avhengig av fuktighet. Nedbrytning av metaller er elektrokjemiske prosesser som trenger en elektrolytt for å få strømkretsen til starte. Biologiske angrep som råte trenger høy fuktighet før den blir et problem. Allerede på 1950-tallet ble prinsippet for slike målinger beskrevet av professor Thomashov (Thomashov et al., 1956). Mangel på følsom måleteknikk som kunne benyttes utendørs gjorde at de første sensorene for å måle våttid på overflater først kom på 1970-tallet (Kucera og Mattsson, 1974). Også på NILU startet en med slike målinger i 1970-årene (Haagenrud, 1976, 1980, Haagenrud et al., 1984A). En kartlegging av korrosjonsforholdene på en bil med bruk av denne teknikken ble gjennomført sammen med Volvo i 1981 (Ericsson et al., 1982) og en elektrokjemisk teori for sensoren ble utarbeidet ved NILU i 1984 (Haagenrud et al., 1985). Både sensorene og elektronikken ble gradvis forbedret ut gjennom 1980-årene. Sensoren med tynnfilmsteknikk ble testet så tidlig som i 1982 (Haagenrud et al., 1983), men den store satsningen kom med etableringen av EURO CARE WETCORR prosjektet i 1991 (Henriksen og Haagenrud, 1994).

9.2 WetCorr instrumentet

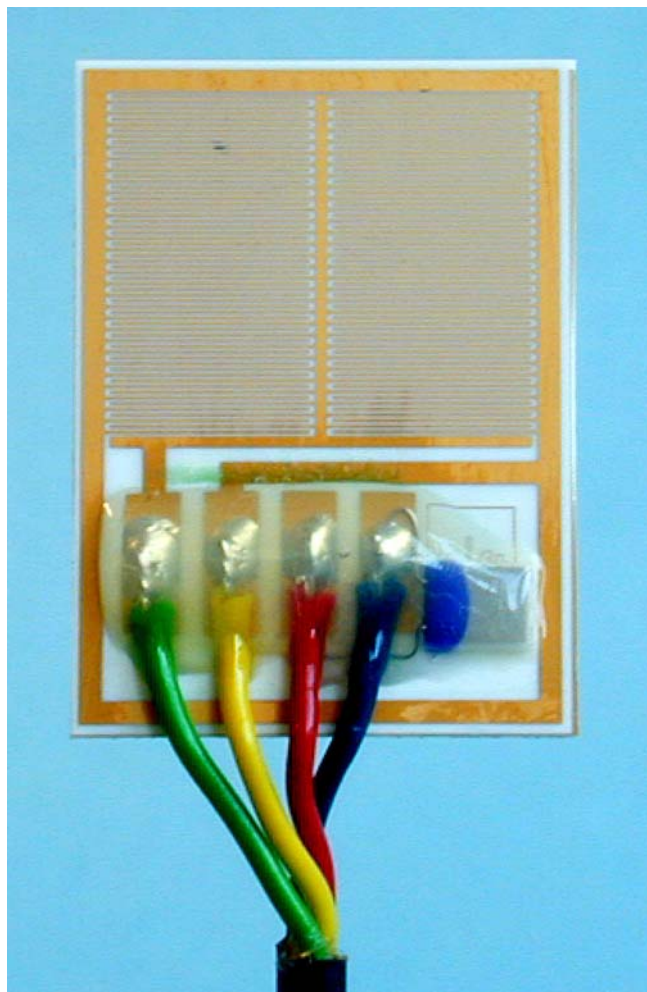
WetCorr instrumentet er et NILU-utviklet instrument som skal måle den lokale fuktbelastningen samt temperatur på utvalgte målepunkter. Instrumentet selges gjennom NILU Products og som måleinstrument i prosjekter på NILU (Ref kapitlene 8.3 og 9.1).

Da NILU satset på å konstruere WetCorr instrumentet satte en følgende krav til selve sensoren. Sensoren skulle produseres ved tynnfilmteknikk på samme måte som for et kretskort. Sensoren skulle være små og enkle å produsere og bruke og den skulle måle både temperatur og våttid samtidig. Dette stilte krav både til design og materialvalg. Temperaturen som en ønsket å måle var overflate-temperaturen på det materialet som sensoren sto på. Materialet som sensorene skulle monteres på burde derfor ha liten egenmasse og god termisk ledningsevne, slik at den fulgte temperaturforandringer på overflaten. Tynne plater av aluminiumoksid har denne egenskapen og ble derfor valgt. Materialet hadde også den egenskapen som platen måtte ha for å kunne virke som en backing for den elektrokjemiske sensoren. Platen måtte ikke være elektrisk ledende og den skulle være minst mulig hygroskopisk.

De teoretiske betraktningene som ble gjennomført i 1984-85 (Haagenrud et al., 1985) hadde vist at strømmengden i en målecelle var proporsjonal med lengden av elektroden og omvendt proporsjonal med avstanden mellom elektrodene. Hovedmengden av strømmen ble generert fra kanten av elektrodene så bredden av elektrodene kunne derfor være liten. Elektrodene ble derfor konstruert som to kammer som gikk i hverandre, som vist på Figur 5. Elektrodene ble laget i gull for at elektrodene skulle være mest mulig identiske gjennom hele bruksperioden. For å hindre at det skulle gå lekkstrømmer mellom to elektroder på samme flate ble sensoren konstruert slik at den ene elektrodene virket som jordingsskjerm for den andre. Med konstant spenning over elektrodene ville elektrodene polarisere og strømutflyttet ville bli redusert med tiden. For å unngå dette så skiftet en polaritet på elektrodene ved å snu strømmen hvert minutt.

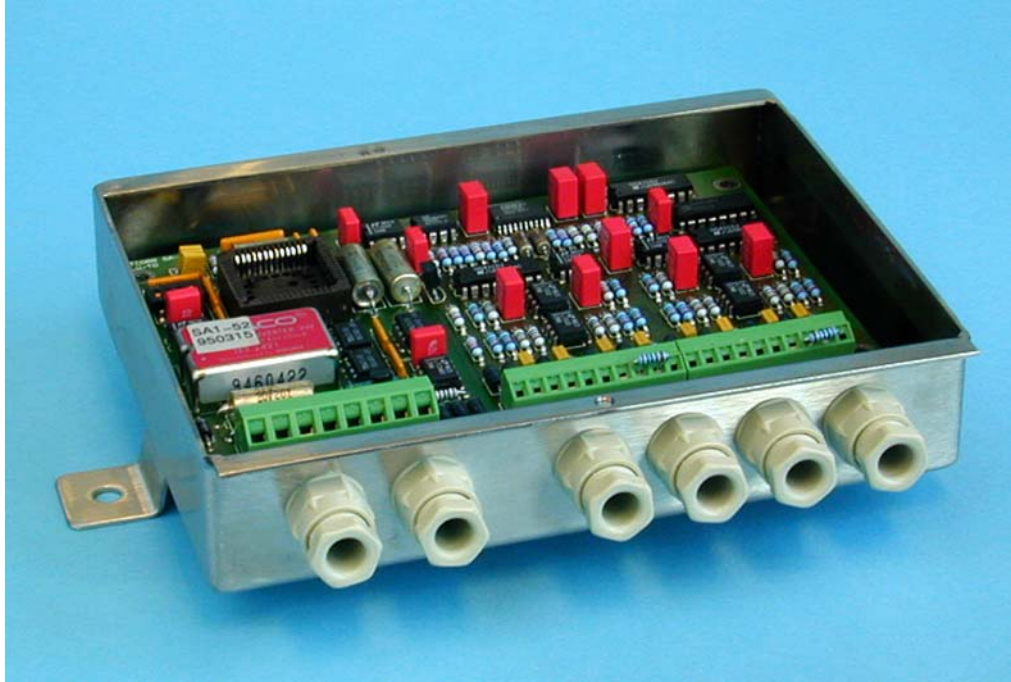
Med basis i de utviklede WetCorr sensorene ble WetCorr instrumentet konstruert slik det er vist i Figur 5 til Figur 7. Instrumentet består av tre moduler.

- WetCorr sensorer
- Sensor Adaptere
- System Kontroller



Figur 5: Bilde av dagens design av en WetCorr sensor.

a)



b)



Figur 6: Bilde av WetCorr sensor adapter (a) åpen og b) lukket.



Figur 7: Bilde av en WetCorr Controller.

Et instrumentet består av 1 System Kontroller, opptil 16 System Adaptere og opptil 64 Sensorer. En prinsippsskisse av systemet og hvorledes det kan anvendes på en bygning er vist på Figur 8.

En System Kontroller er kontrollenheten for systemet og den kommuniserer med alle tilkoblede adaptere. Den er også spenningskilden til hele systemet og er datalageret for alle måledata. Kontrolleren kan kommuniserer med andre databehandlingsenheter som en PC. Kommunikasjonen kan skje direkte eller via et modem.

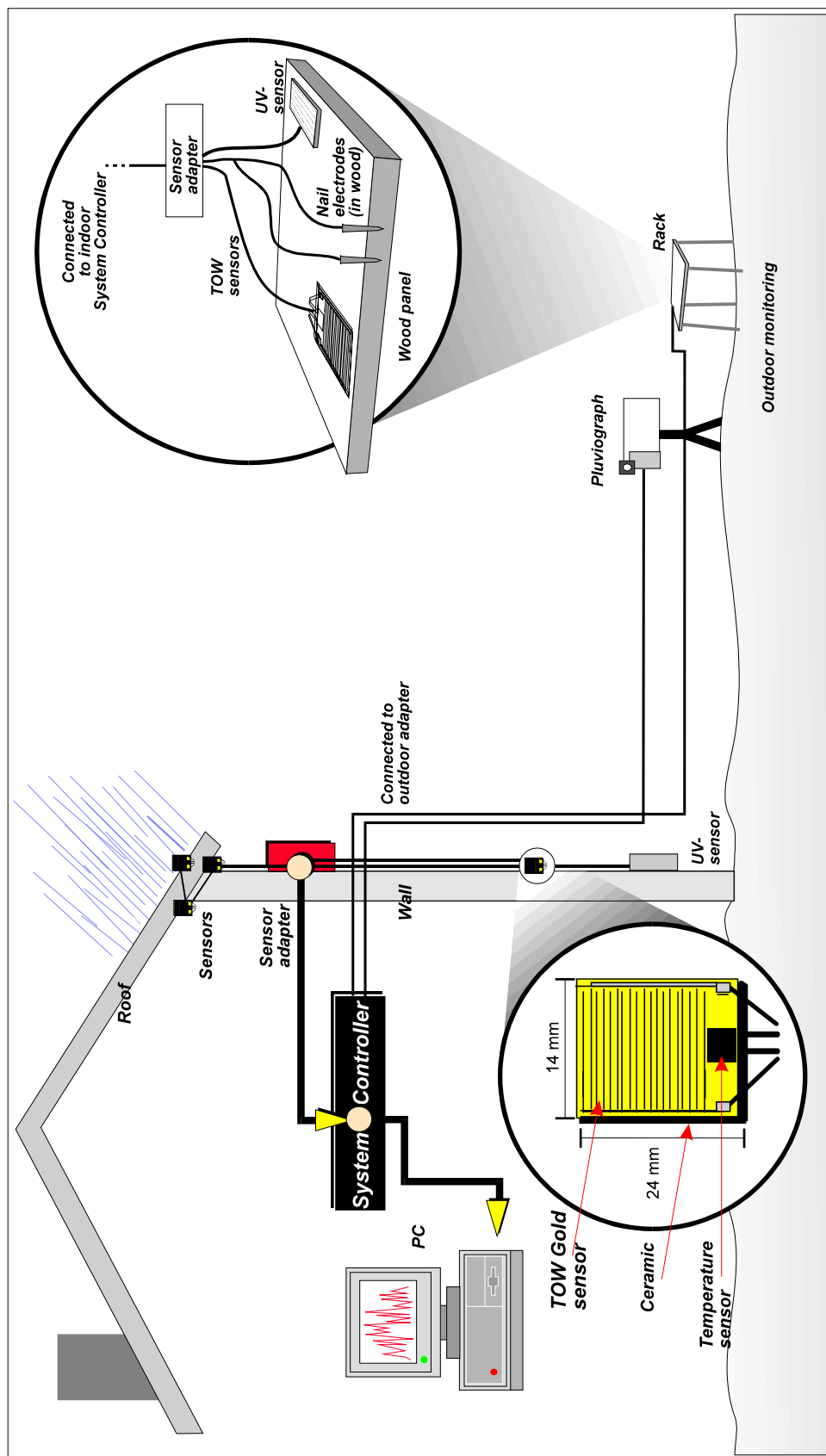
En System Adapter er kontroll-og måleenhet for fire sensorer. Den er konstruert for å kunne stå ute i all slags vær. Dataene blir samlet i adapteren som middelverdier over et minutt. Adapteren konverterer de analoge signalene fra sensorene til digitale signaler som sendes til System Kontrolleren. Dette gjør at instrumentet er lite følsomt for elektrisk og magnetisk støy, og avstanden mellom en Kontroller og en Adapter kan derfor være opptil 250 meter. Avstanden er ikke begrenset av signalbehandlingen, men av de strømmengdene som skal sendes fra Kontrolleren til Sensorene.

Sensorene er produsert som en tynnfilm på en aluminiumoksyd flate med to elektroder av gull (1.5 μ m tykkelse). Avstanden mellom elektrodene er 127 μ m og hele sensoren er 17x14 mm. Ved siden av elektrodene for måling av fuktigheten er det montert en temperaturføler på flaten, Type AD-529 AN.

I Wood Assess-prosjektet er det utviklet en ny sensor beregnet til å måle fuktinnholdet i trevirke. Se kapittel 8.1.

En omfattende kalibrering av systemet for å bestemme grensen mellom våtstrøm og tørrstøm ble gjennomført i Wood Assess-prosjektet. Videre ble det gjennomført laboratorieforsøk å bestemme strømgrensen for 20% vanninnhold i trevirket.

I 1991 ble det gjennomført noen innledende forsøk med å studere fuktighetsopptak i malingsfilmer. Hensikten var å dokumentere ovenfor malingsindustrien at sensorene var velegnet til å karakterisere hvor hygroskopiske malinger kan være. Resultatene var etter vår mening interessante, men malingsindustrien har ikke vært interessert i problemstillingen (Rode og Henriksen, 1992)



Figur 8: Prinsippet for måling med et WetCorr instrument.

10 Spesielle undersøkelser

10.1 Bestemmelse av korrosive partikler i innemiljø

NILU har vært engasjert av norsk industri ved flere tilfeller hvor en har vært redd for at lokalet har blitt kontaminert eller at det har vært usikkerhet om lokalet har hatt den nødvendige kvalitet som behøves for det utstyret en har der. Undersøkelsene har vært svært varierende, fra forurensninger brakt inn fra nærliggende aktiviteter (Anda et al., 1983) til forurensning som skyldes aktiviteter inne i lokalet (Henriksen og Anda, 1998). En annen type vurdering har vært økt risiko for skade på elektronikk i lokaler etter brann (Henriksen, 1985,1987,1990).

De partiklene som kontaminerer et utstyret i et rom og rommet er alle vannløselige. For å bestemme mengden av avsatte partikler på ulike flater kan en derfor benytte svært enkle metoder. Metoden ble første gang beskrevet av forskere fra Bell Telephone Company (Sinclair, 1982). Metoden besto i at en avskjermet et område på overflaten og fuktet den flaten med vann. Etter at vannet hadde fått virket i 5 minutter ble vannet samlet opp igjen og analysert for kationer på NILUs laboratorium. På NILU avgrenset vi området ved hjelp av filterpapir.

Klorid har vært det ionet som har vært mest aktuell å vurdere. Ved evalueringen av resultatene så må en ta hensyn til at det er en naturlig bakgrunnskonsentrasjon av klorid i alle innemiljøer. En beskrivelse disse nivåene og de krav som blir stillet i ulike lokaler i er gitt håndboken om elektronikkorrosjon (Henriksen et al., 1991).

10.2 Ammoniakkmålinger i Bøverdalen

Det var flere momenter som gjorde en undersøkelse av ammoniakkfordelingen i en norsk dal var interessant for NILU:

Riksantikvaren mente å registrere økt råte på gamle tømmerhus i Øst-Norge. En mulig årsak var økt tilfang av nitrogenforbindelser i form av ammoniakk i dalen på grunn av driftsforandringer innen landbruket. Husdyrbesetningene hadde økt i dalene etter at bøndene i de flatere delene av Østlandet hadde gått over til kornproduksjon. Seterdriften var redusert slik kuene var i dalen hele året. Det var nye bestemmelser for behandling av gjødsel for å hindre tilsig til elver og vann. Gjødselen ble lagret som våtgjødsel i tanker og spredd på jordene flere ganger under sommer og høst.

Et annet moment var at det europeiske måleprogrammet EMEP hadde dårlige modelleringsresultater for ammoniakk. Databasen viste systematisk lavere beregningsverdier enn målte verdier, noe som en antok skyldtes usikkerhet om de lokale tilskuddene. Det var derfor av interesse å få bedre oversikt over de lokale utslipp av ammoniakk i norske daler

Undersøkelsen ble utført i perioden 26. juni til 16. oktober 1991 med passive prøvetakere på 20 målesteder. Målingene ble utført med 13 målepunkter i dalbunnen fra Bøverdalen kirke til Lom kirke, samt tre traverser opp dalsidene. Resultatene vist en klar tendens til økt belastning i den del av dalen hvor en drev med husdyr, mens det lokale bidraget ikke ble registret oppover i lien. I perioder

hvor en visste at en gjødslet jordene så en klar økning av ammoniakkkonsentrasjonen (Hanssen et al., 1993).

10.3 UV prosjektet

I perioden 1985-86 deltok NILU i et nordisk prosjekt for å utvikle en passive dosemeter for UV-stråling. Målingene ble utført på 10 steder i Norden og NILU hadde ansvaret for tre målestasjoner i Norge (Berre og Lala, 1989). Statens Institut för Byggnadsforskning i Gävle ledet prosjektet. Som dosemeter benyttet en PPO-filmer. Resultatene var vellykket på de fleste steder, men de målingene som en hadde på Finse ble ofte ødelagt av vind og at strålingen var så sterk at filmen ble for sprø til å tåle belastningen. Dette prosjektet har gitt noe av det bakgrunns materialet en har når en nå forsøker å benytte denne sensoren til å måle totalbelastningen på organisk materiale i museer og samlinger.

11 Eksponering av materialer ved feltundersøkelser

11.1 Korrosjon av metallplater

NILU startet med rutinemessige målinger av korrosjon av metaller sommeren 1973 på stedene Tuentangen ved Lillestrøm, Alvim og Borregaard i Sarpsborg, Klyveåsen ved Skien og på Åsen ved Brevik. Siden har flere stasjoner kommet til og flere har blitt avviklet. Korrosjonsmålingene ble stort sett fulgt opp med miljømålinger da et viktig formål med målingene var å finne matematiske sammenhenger (modeller) mellom korrosjon og miljøparametrene. Den første datarapport kom i 1979, og omhandlet perioden 1973-1978 (Haagenrud et al., 1979).

Korrosjonsmålinger kan ha ulike formål. Ved langtidseksponering av metallplater i eksempelvis 1, 2, 4 og 8 år vil man få kunnskaper om metallens korrosjonsegenskaper over tid i det aktuelle området og derved få muligheten til å anslå total levetid for et materiale, eksempelvis for et kobbertak.

Noen metaller vil etter hvert få dannet et korrosjonsprodukt som gir redusert korrosjon fordi korrosjonsproduktene i seg selv vil virke beskyttende. Andre metaller kan danne korrosjonsprodukter som enten er porøse eller lett vaskes bort eller løses opp i regnvann. Her vil man få en jevnere korrosjon over tid.

Et annet formål kan være å studere tidstrender for å registrere av forandringer i korrosjonshastigheten i et område hvor forurensningsnivået har endret seg. For å studere tidstrender er det vanlig å benytte ett-års eksponeringer av vanlige bruksmetaller som sink og karbonstål (Ofstad, 2000).

En systematisk og god oversikt over hvorledes en skal planlegge, instrumentere og evaluere feltforsøk er gitt av Sheldon Dean (Dean, 1988 B, C, D og 1989).

11.2 Eksponering av flate prøver

Både the International Organisation for Standardisation (ISO) og American Society for Testing and Materials (ASTM) har standarder som beskriver anbefalt praksis for utføring av atmosfærisk felttesting av metaller (ISO 8565:1995 og

ASTM G 50-76). Evalueringsmessig er standardene er tildel identiske, men skadeskalaene er helt forskjellig. ASTM skalaen går fra 10 til 1, mens ISO standarden går fra 1 til 5. Prøvene skal bestå av metaller av standard størrelse 10x15 cm. Prøvene skal stå vendt mot sør med en vinkel på 45° mot horisontalplanet. I Amerika har en på en del større feltstasjoner en standard vinkel på 30° siden solen står høyere på himmelen midt på dagen så langt sør.

NILU har alltid laget sine egne stativer for eksponering av metallprøver bestående av en bukk med påmontert aluminiumsramme på 2x2 m eller 1x2 m (Se Vedlegg C). For å unngå at vegetasjonen vokser inn i stativet så skal nedre kant av rammen stå 1 m over bakkenivå. For å få mest mulig like betingelser på hele prøven festes prøvene mellom isolasjonssneller av keramikk eller plast. Fire sneller er tilstrekkelig. NILU har dårlig erfaring med å bruke galvaniserte skruer og muttere til snellene siden de korroderer og blir sittende helt fast etter en viss tid. Dette skjer særlig i kystnære strøk. Rustfritt stål er dyrere men vil lønne seg på lang sikt.

ISO har utarbeidet en standard hvor man klassifiserer korrosjonshastigheten i fem klasser basert på vekttingsmålinger av platene (ISO 9223, 1992 og Dean, 1993). Se også avsnittet om standardisering.

11.3 Prøveplater

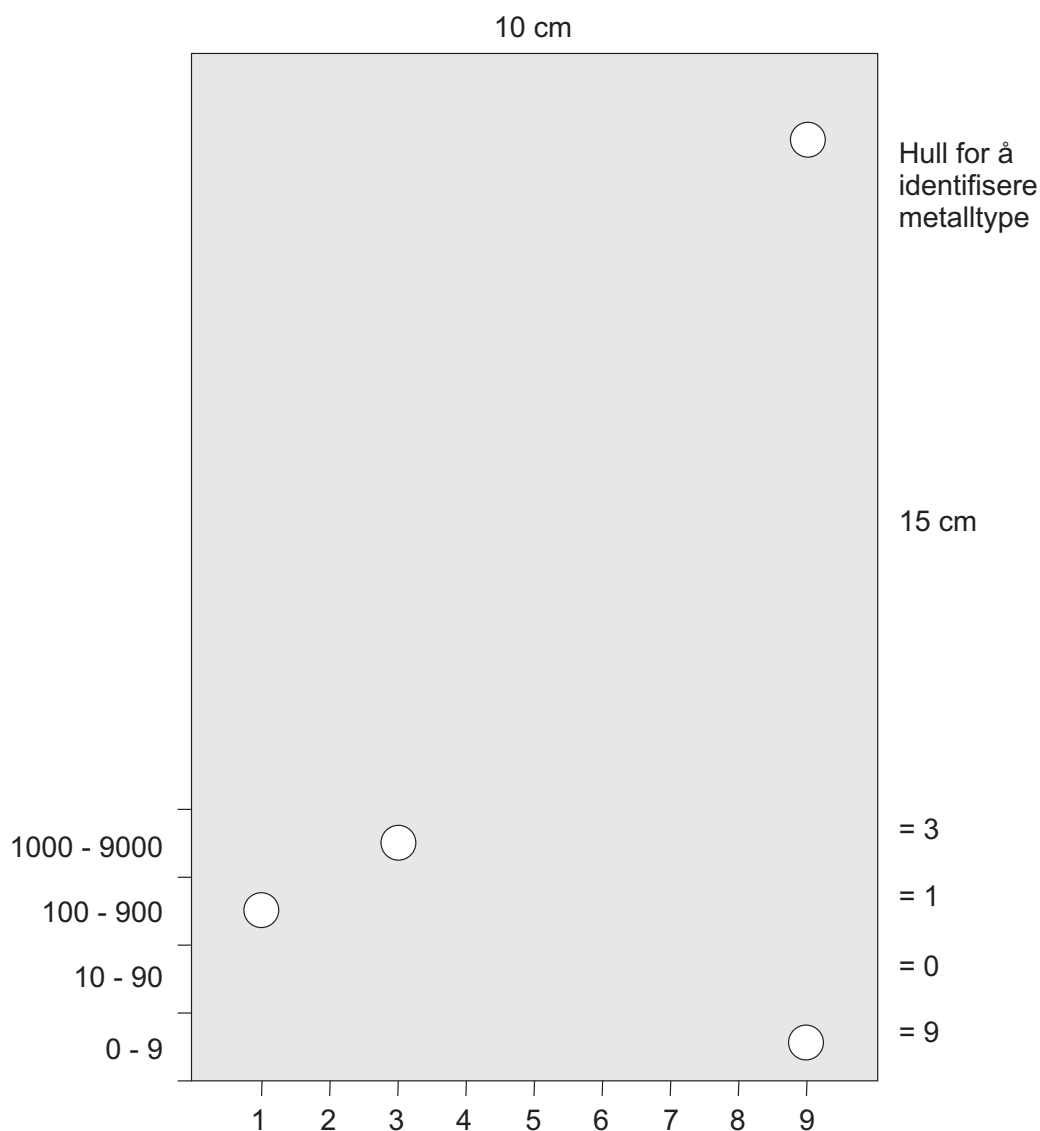
Metaller som er brukt som prøvemateriale i ulike prosjekter ved NILU er: Karbonstål, patinastål (Cor-Ten stål eller rusttregt stål), varmforsinket karbonstål, sink, aluminium (2S), sjøbestandig aluminium, kobber og bly. Kjemisk sammensetning av noen av prøvematerialene er oppgitt (Atteraas og Hagerup, 1976).

For å klassifisere miljøets korrosivitet i henhold til ISO 9223 er følgende materialer klassifisert:

Kobber:	99,5 % min.
Sink:	95,5 % min.
Karbon stål:	Ulegert karbonstål (Cu 0.03% til 0.10%, P < 0.07%)
Aluminium	99.5% min.

Prøveplatene har i de internasjonale standardene en størrelse på 10 x 15 cm, og tykkelse ca. 1 mm (noe avhengig av materialtype). I enkelte nasjonale prosjekter har vi benyttet halv størrelse 10 x 7.5 cm. Dette har ikke skapt noen avvik for materialer med tilnærmet jevn korrosjon som stål, sink og kobber, men bør unngås for aluminium som korroderer med groptæring.

Platene må være godt merket. ASTM anbefaler en hullkode siden nummer som stemples inn eller malte nummer på baksiden kan forsvinne med økt korrosjon. Hullkoden er vist i Figur 9.



Figur 9: Hullkode for nummerering av metallprøver. Prøve nr. 3109.

I Figur 9 er vist hvorledes nummeret 3109 fremkommer. Nederste rad viser tall fra 0 til 9. 0 betyr ingen hull i raden. Tallet 1 betyr et hull 1 cm fra venstre kant slik at 9 blir 9 cm fra venstre kant. Neste rad fra bunnen gir titallene fra 10 til 90, neste hundretallene og siste rad tusentallene. Plasseringen av hullet på toppen viser hvilket materiale en eksponerer. Merking av materialet med hull er primært nødvendig hvis en tester legeringer av samme grunnmateriale.

Etter merking veies platene. Vekten må ha en nøyaktighet på 0,1 mg.

11.3.1 Behandling av prøveplatene

De materialene som brukes som referansematerialer for trendanalyser og til klassifisering av miljøet bør være så identiske som mulig. To leveranser av samme materiale vil alltid ha litt forskjellig korrosjonshastighet. Det er derfor viktig å skaffe et stort antall nye prøver hver gang det er behov for mer materiale. Likeledes bør en eksponere prøver fra begge leveranser over en periode for å

bestemme hvor stor forskjellen mellom de to leveransene er. Det er dessuten nødvendig at en har gode lagringsforhold for de prøvene en til enhver tid har på lager. Stål blir levert med et tynt lag med fett på overflaten. Dette fett må ikke fjernes under lagring, men først når en skal sette ut prøvene. Tørt lager er viktig. Helst bør den relative fuktigheten i lokalet aldri bli over 45%. Under lagring og behandling av prøvene må en berøre prøvene så lite som mulig. Fingeravtrykk vil alltid inneholde salter som er korrosive, spesielt hvis en svetter på hendene. Vask av hender og behandling hvor en bare holder i kanten av prøvene eller ved at en bruker engangshansker er viktig. Forbehandling av prøvematerialet (eksempelvis avfetting, lagring mm.) er beskrevet i standarden ISO 1514 (ISO, 1978B).

Korrosjonshastigheten bestemmes normalt ved vekttapsmålinger og eksponeringsbetingelsene er beskrevet i ISO 8565 (ISO, 1995). Det er nødvendig med en nøye ført protokoll alle prøvene som settes ut., hvor og når de settes ut, vekt ved utsettelse og vekt ved inntak. Oftest refereres det til årskorrosjon, men i sterkt korrosive miljøer kan det være aktuelt med kortere eksponeringstider.

For noen metaller som sink kan værforholdene den første tiden etter montering av prøveplaten ha betydning for det videre korrosjonsforløp ("memory effect"). Det kan eksempelvis være en lang periode med regn og fuktige forhold. En kan da få spesielle korrosjonsforhold som endrer korrosjonshastigheten sett i forhold til korrosjonen hvis starten hadde vært i en tørr periode.

I Norge vil det normalt være mest gunstig å sette ut prøveplater om våren, da denne perioden vanligvis vil ha en stadig veksling mellom fuktighet og opptørring samt også store temperaturvekslinger. Man vil således oppnå en mer normalisert start på korrosjonsprosessen og det vil bli lettere å sammenlikne prøver fra år til år. Man bør imidlertid alltid være oppmerksom på at ekstreme klimatiske forhold naturligvis kan inntreffe ved alle årstider.

Behandlingen av prøvene ved nedtak er også beskrevet i ISO 8407 (ISO, 1991). Prøvene bør tas inn mens de er tørre og hvis de må tas inn våte så må de tørkes så snart som mulig og ikke pakkes våte. Vekttapet bestemmes ved veiing av prøven etter at alle korrosjonsproduktene er fjernet. Korrosjonsproduktene fjernes fra platen ved "beising". Ved denne prosessen fjernes oksidene ved behandling i et beisebad uten at testmetallet angripes. For de ulike metaller brukes forskjellige beisevæsker som i hovedsak består av syreblandinger. En evaluering av de ulike typene væsker som er anbefalt i de ulike standardene ble utført ved NILU i 1991 og dagens bruk er basert på denne undersøkelsen ved NILU (Ofstad, 1991). I vedlegg B er listen over de beisevæsker NILU bruker gitt.

Korrosjonshastigheten (R_{corr}) oppgis som g pr. m^2 pr. år eller omregnet i μm tykkelsesreduksjon (R_t) pr. år.

$$R_{corr} = (G_1 - G_2) / A$$

$$R_t = R_{corr} / \rho$$

G_1 = vekt av platen før eksponering i gram

G_2 = vekt av platen etter ett års eksponering og fjerning av korrosjonsproduktene i gram.

A = arealet på prøven i meter

ρ = spes. vekt materialet $\{g/cm^3\}$

11.4 Måling av groper ("pits")

I noen tilfeller kan man følge korrosjonsforløp ved å måle dybde, eventuelt også diameter, på groper som dannes. Dette kan særlig være anvendelig for testing av aluminium og aluminiumlegeringer. Her kan nevnes et prosjekt utført for A/S Årdal og Sunndal Verk (Haagenrud et al., 1982). Det ble brukt standard plater av ulike aluminiumlegeringer. Gropdybder ble målt ved hjelp av mikroskop av de 5 største gropene på to paralleller av hver legering. Dette ble gjort etter henholdsvis 3, 6, 12, 24 og 36 måneders eksponering. På denne måten kunne man følge korrosjonsforløpet uten å ødelegge prøvematerialet. Om ønskelig kunne prøvene utplasseres igjen.

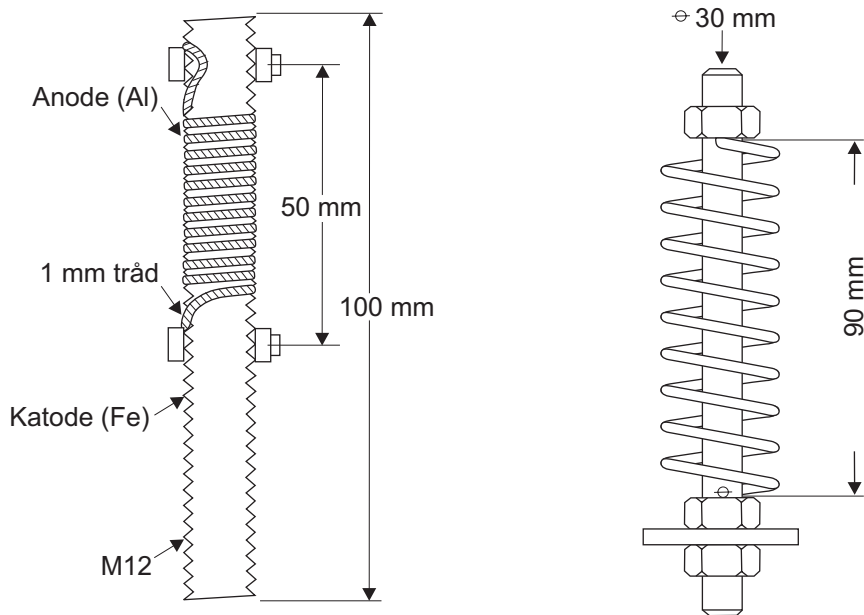
Det finnes standard for bestemmelse av utbredelse av groptæring, hvor man også tar hensyn til gropenes form, dybde og bredde (ASTM G 46 – 94 :1999)

11.5 Eksponering av tråd på bolt og helixprøver

Tråd på bolt og helixprøver er prøvetyper med standardiserte mål, men metodene er ikke akseptert som standard prøvetype innen ISO og ASTM. NILU har benyttet disse prøvetypene i enkelte prosjektet som ISOCORRAG (Dean, 1988A), EFI prosjektet (Refsnæs og Anda, 1987) og for korrosjonsmålinger langs den russisk - norske grense (Henriksen et al., 1992)

Tråd på bolt eller også kalt tråd på skrue er en atmosfærisk korrosjonsprøvningsmetode som består av en bolt (ugjenget eller gjenget) med en metalltråd viklet stramt rundt. Ved å kombinere dette på ulik måte kan man få et mål for spalt- eller galvanisk korrosjon. Således vil ståltråd viklet stramt til stålbolt gi spaltkorrosjon og ulike metaller i tråd og bolt vil gi galvanisk korrosjon.

Helixprøve har en metalltråd viklet åpent rundt en plastbolt Den vil gi generell korrosjon. Både tråd på bolt og helix eksponeres i vertikal stilling. En skisse av prøvetypene med mål er vist i Figur 10.



Figur 10: Til venstre er vist "tråd på bolt" prøve. Her er aluminiumtråd på 1 mm viklet på bolt av jern. Utstyret kan brukes til å måle galvanisk korrosjon. Til høyre er vist oppsettet med åpen tråd ("open helix"). Trådlengden er 1 m, diameteren 3 mm og er festet i en bolt av polyamid.

Vekttapene ved disse metodene bli høyere enn ved bruk av plater; men korrelasjonen mellom disse prøvene og flate plater har vist seg å være meget god (Dean, 1988A).

11.5.1 Tråd på bolt og helixprøver

Det stilles de samme krav til materialkvalitet, lagring og behandling av disse prøvetyperne som for flate prøver.

Tråd-på-bolt metoden er utviklet ved Bell Laboratories og har vært benyttet av ALCAN (Alum. Company of Canada). Eksponeringstiden som har vært benyttet i NILUs prosjekter har vært 3 mnd., og med tre parallellprøver. Metoden beskriver at ved bruk av tynn aluminiumtråd som vikles tett på gjenget bolt av stål så kan man regne ut en marin korrosivitetsindeks (M.C.I.) som prosent vekttap av aluminiumtråden. Benytter en aluminiumstråd viklet på gjenget kobberbolt så kan en få en industriell korrosivitetsindeks (I.C.I.). NILU har bare benyttet metoden i marint miljø. (Refsnæs og Anda, 1987).

Åpen helix er en metode benyttet i Tyskland primært for å vurdere korrosjonsforholdene rundt brukonstruksjoner. av plastbelagt tråd. Ved NILU har metoden vært benyttet til å vurdere korrosjonsbestandigheter for ulike trådkvaliteter for gjerder. Det ble testet både galvanisert tråd og plastbelagt tråd (Henriksen et al., 1992B).

Merking av prøvene før utsettelse må bli svært forskjellig fra flate prøver. Ved NILU ble det alltid satt ut paralleller og merkingen ble gjort på boltene. Med to

paralleller var en bolt var uten merke og en var merket med et kutt på tvers av bolten. Benyttet vi tre paralleller ble den siste bolten merket med et kryss. Plasseringen på stativet ble protokollført og ble benyttet til registrering av startpunktet. Tråd på bolt prøver ble eksponert så kort at vi i enkelte tilfeller kunne merke bolten med vannfast tusj. Over lengre tid vil vannfast tusj blekne i solen og merkingen forsvinne.

Prøvene ble veid etter at de var montert på bolten. Bolten var veid på forhånd så vekten av tråden kunne bestemmes som differansen mellom målingene. Det er i prinsippet ikke nødvendig å bestemme vekten på tråden så lenge en kjenner trådens diameter, men vi har ønsket å bruke vekten som en ekstra garanti ved bestemmelsen av korrosjonshastigheten.

11.5.2 Behandling av tråd på bolt og helixprøver

Etter eksponering tas prøvene inn for å bestemme korrosjonshastigheten. Det er enda viktigere for disse prøvene å bli holdt tørre under transport og lagring siden fuktighet lett samles i spalten mellom metallene

Korrosjonsbestemmelsen foregår ved at tråden blir viklet av bolten, og en del av hver ende, der tråden har ligget rundt festeskruen blir fjernet, og lengden på resttråden målt eller beregnet etter beisingen. Tråden blir så beiset for å fjerne korrosjonsproduktene. Deretter blir den rensset med acetone og veiet.

Korrosjonsdybden regnes ut slik:

$$\text{Lengde av resttråd i cm: } L = 4 \cdot G_1 / \pi \cdot D_1^2 \cdot \rho - \Sigma \Delta L$$

$$\text{Gjennomsnittsdiameter av resttråd (L) i cm: } D_2 = \sqrt{G_2 \cdot 4 / \pi \cdot L \cdot \rho}$$

Gjennomsnittlig korrosjonsdybde i μm over eksponeringstiden

$$R_t = (D_1 - D_2) \cdot 10^4 / 2$$

G_1 = vekt av tråd før eksponering {g}

D_1 = diameter av tråd før eksponering {cm}

$\Sigma \Delta L$ = sum av resttråd etter eksponering {cm}

G_2 = vekt av resttråd etter eksponering {g}

ρ = spes. vekt av tråd {g/cm³}

For helixprøvene ble spiralen beiset og veid. Tråd på bolt prøvene ble ofte sprøe og vanskelig å ta av hel. I enkelte tilfeller ble hele tråden beiset uten at en tok hensyn til at endene på tråden hadde hatt andre korrosjonsforhold enn resten av prøven. En antok at resultatet ved denne behandlingen avvek lite fra den ideelle metoden siden bitene bare utgjør 1 til 2% av trådens lengde.

11.6 Parametervalg

Valg av parametre som måles samtidig med eksponeringen av prøvene er meget viktig. Da dette også er ressurskrevende vil det ofte være økonomisk vanskelig å utstyre alle stasjoner med ønsket utrustning lokalt. I mange tilfeller kan en da utnytte andre målinger i nærheten. Særlig brukes meteorologiske data fra Det

norske meteorologiske institutt (DNMI), men også flyplasser og i noen tilfeller også bedrifter kan ha egne værobservasjoner. Av og til er forurensningsdata tilgjengelig fra målestasjoner i regi av kommuner eller bedrifter.

De meteorologiske og kjemiske parametrene som NILU tradisjonelt har ansett som viktige i sammenheng med korrosjon av metaller og andre materialer har vært:

Nedbørmengde (mm)

Relativ fuktighet (%)

Våttid (Time of wetness) Tid med temperatur over 0° C og relative fuktighet over 80%.

Temperatur (°C)

Nedbørens kjemiske sammensetning: pH, ledningsevne (μS), konsentrasjoner ($\mu\text{g/ml}$) av særlig kalsium (Ca), magnesium (Mg), ammonium (NH_4^+), klorider (Cl), sulfater (SO_4^{2-}) og nitrater (NO_3^-). De samme komponentene kan også oppgis som avsetning i $\text{mg/m}^2 \cdot \text{døgn}$

Gasser i luft (middelkonsentrasjoner, $\mu\text{g/m}^3$): Normalt vil de mest interessante gassene være svoveldioksid (SO_2), nitrogenoksider (særlig nitrogendioksid, NO_2) og ozon (O_3). Rundt industrianlegg og andre områder med spesielle gassutslipp er også andre gasser aktuelle, eksempelvis H_2S og Cl_2 rundt mange papirindustrier og maursyre rundt siloer for gress. Det er derfor viktig å kartlegge potensielle kilder i nærmiljøet av målestedet.

Havsaltaerosoler beregnet som klorid ($\text{mg/m}^2 \cdot \text{døgn}$) og målt med NILUs aerosolfelle. Aerosolfellen er beskrevet i vedlegg A.

11.7 Evaluering av metalliserte og malte stålplater samt malte trepaneler

NILU har hatt et eksponeringsprogram for beskyttelses-systemer for stål bestående av metalliserte belegg (sink og aluminium) og ulike malingsystemer som har pågått over en 24 års periode. Prosjektet som var et samarbeidsprosjekt mellom NILU, maling-produsenter og brukere, startet i 1976. Over lang tid har NILU således kunnet opparbeide seg ekspertise i vurdering av nedbrytning av slik beskyttelsessystemer eksponert i ulike atmosfæriske miljøer (Anda, 1991 og 2001B).

NILU har også deltatt i et større internasjonalt prosjekt (International Co-operative Programme on Effects on materials, including Historic and Cultural Monuments) i regi av United Nations Economic Commission for Europe (UN ECE). Dette ECE-prosjektet som startet i 1987 omfatter 39 teststasjoner i 12 europeiske land og i USA og Canada. Her testes en rekke materialer fordelt på de ulike land. NILU har hatt ansvaret for testing av malt stål og tre (Henriksen et al., 1998A)

11.7.1 Uteprøver av metalliserte og malte stålplater

Ved utprøving av metalliserte og malte prøver benyttes normalt standard metallplater (10x15 cm). Etter påføring av beskyttelsessystemet ble det laget et riss ned til stålflaten. Risset skal være 1 mm bredt, fra 6 til 8 cm langt, parallelt med nedre kant og i avstand 3 til 4 cm fra denne. Risset er en introdusert skade som vil gi en viss akselerasjon i nedbrytningsforløpet.

Utsettingen og plasseringen av prøveplatene skjer på samme måte som for metallprøveplater (se kapittel 2.2). Merkingen av prøvene er imidlertid forskjellig. Prøvene merkes med vannfast og mest mulig lysbestandig maling på baksiden av prøvene.

Koden for merkingen må skille mellom de ulike malingsystemene og inntaksbetingelse. I Tabell 16 er kodesystemet som ble benyttet på treprøver i PROWOOD prosjektet gitt som et eksempel på hvor omfattende en slik kode kan bli. (Anda og Henriksen, 2001)

Tabell 16: Det anvendte kodesystem i PROWOOD prosjektet utarbeidet av Jotun. Systemet gir en unik kode for hver enkelt prøve.

Posisjon 1	Posisjon 2	Posisjon 3	Posisjon 4	Posisjon 5	Posisjon 6
Prosjekt ID	Stasjon ID	Tresort ID	Forbehandling ID	Toppstrøk ID	Vedlikeholdes ID
Alfabet	Alfabet	Alfabet	Num	Num	Num
Prosjekt (Posisjon 1)		Forbehandling (Posisjon 4)			
SIB	= S		Ubehandlet	= 0	
ECE	= E		Tråtek Impregn.	= 1	
Tråtek	= T		Jotun Impregn.	= 2	
			Ultra wood	= 3	
			Tråtek forbehandling	= 4	
Stasjon (Posisjon 2)			Forbehandling 1	= 5	
Stockholm slott	= S		Jotun Oljegrunning	= 6	
Pragborgen	= P		ECE-grunnlag	= 7	
Madridslottet	= M		Hydrofob	= 8	
SIB Gävle	= G		Visir	= 9	
Birkenes	= I				
Bergen	= B		Toppstrøk (Posisjon 5)		
Manger	= A		Ikke toppstrøk	= 0	
Casaccia	= C		Systemgrunn 1	= 1	
Kopisty	= K		Systemgrunn 2	= 2	
Tråtek	= T		Alkyd	= 3	
			Renakrylat	= 4	
Tresort (Posisjon 3)			ECE-Demidekk	= 5	
Furu	= F		Hydrofob HS	= 6	
Gran	= G				
Aldret gran	= A		Vedlikehold (Posisjon 6)		
			Ikke vedlikehold	= 0	
			Alkyd	= 1	
			Renakrylat	= 2	

Evalueringsparametrene er noe forskjellige alt etter som belegget på stålplatene er maling eller metall (sink, aluminium). Nedenfor er de parametrene som bare brukes for malingbelegg merket med stjerne. De andre parametrene brukes for både malte og metalliserte belegg. I parentes er nevnt de standarder som kommer nærmest slik NILU har evaluert prøvene.

Alle parametrene er ikke alltid like aktuelle. Typer prøver og atmosfærisk miljø avgjør hvilke man bør velge eller velge bort. De parametre som anvendes er:

Generelt utseende	(ISO 4628/1, ASTM D 1150-55)
Smuss	(ASTM D 3719-87)
Blæring	(ISO 4628/2, ASTM D 714-87)
Rustgjennomslag	(ISO 4628/3, ASTM D 610-68)
Sprekking ("Cracking")*	(ISO 4628/4, ASTM D 661-86)
Sprekking ("Checking") *	(ASTM D 660-87, ASTM D 660-44)
Avflaking*	(ISO 4628/5, ASTM D 772-86)
Kritting*	(ISO 4628/6:1990, ASTM D 4214-82 og D 659-86, SS 18 41 97)
Slitasje (Erosjon)*	(ASTM D 662-86)
Rust i riss	(NILU-skala))
Filiformkorrosjon*	(SS 18 42 19)
Skade i avstand fra riss*	(ASTM D 1654-79a, SS 18 42 19)
Glans*	(ISO 2813)
Heftfasthet*	(ISO 2409/cross-cut test, ISO 4624/pull-off test)
Sopp	(NILU-skala, ASTM D 3274-82 og D 4610-86)

I tillegg til disse parametrene bør man også notere andre typer skader som måtte forekomme. Det kan være rusting eller avflaking (slipp) fra kantene, bleking eller annen fargeendring av malingen.

NILU har også laget seg en egen skadegradsskala som i en sum skal fortelle om prøvens tilstand. Denne skala må tilpasses de aktuelle prøvetyper, og anskueliggjøres med fotostandarder. Skalaen bør være 6- eller 10-delt slik som henholdsvis ISO 4628/1 (ISO, 1982A) eller ASTM D 1150-55 (ASTM 1987D) legger opp til. Figur 11 viser eksempel på en slik skadegrad-skala som ble brukt i prosjektet som varte i 24 år og som er nevnt ovenfor.

11.7.2 Kommentarer til de enkelte parametrene

Det finnes skalaer for de ulike parametrene i ISO- og ASTM-standardene. Disse er gjerne anskueliggjort med fotos. Likevel kan disse være vanskelige å bruke fordi de aktuelle prøvene får utseende og skader som avviker så mye fra standarden at sammenlikninger er vanskelig. NILU har imidlertid forsøkt å legge seg så tett opp til standardene som mulig. Men i tillegg bør man lage seg en egen fotostandard slik at evalueringen lettere kan benyttes av flere personer og gi tilnærmet samme resultat. Nedenfor er vist en del eksempler på slike selvproduserte standarder.

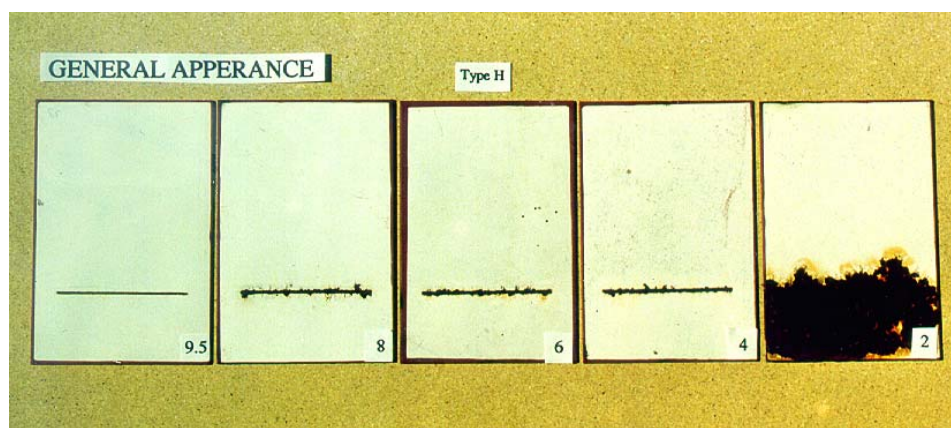
11.7.2.1 Generelt utseende:

Generelt utseende er basert på en visuell betraktning, gjerne i felt. Innvendingen mot denne parameter er at den primært tar mer hensyn til overflatens estetiske tilstand og ikke til hvor alvorlig den eller de skader er som er grunnlaget for karaktergivningen. Dersom karakteren for generelt utseende således er mindre bra bør man kontrollere de andre parametrene for å kunne vurdere hvor alvorlig skaden er for systemets levetid. Det er åpenbart at i eksempelvis industrielle strøk eller i områder med mye trafikk vil smuss ofte være den dominerende faktor for

karakteriseringen av generelt utseende, og i fuktige områder kan også soppvekst virke skjemmende på malte flater. De ovennevnte faktorene kan imidlertid normalt ikke oppfattes som skade av malingsfilmen

Figur 11 viser eksempel på karakterskala anvendt i ECE-prosjekt (Henriksen et al., 1998A). I begynnelsen av en eksponeringsperiode vil karaktergivingen ofte bli den samme for generelt utseende og smuss. Etter hvert som nedbrytningen får bedre tak vil andre faktorer som forringer helhetsinntrykket komme inn; faktorer som ikke har noe med smuss å gjøre (rust, blæring, sprekking mm). For å få en vurdering som primært vurderer den korrosjonsbeskyttende evnen til belegg bør en bruke en skala som i praksis er lik skadegradsskalaen som ble utarbeidet for metallisering og malingsprosjektet.

a)



b)

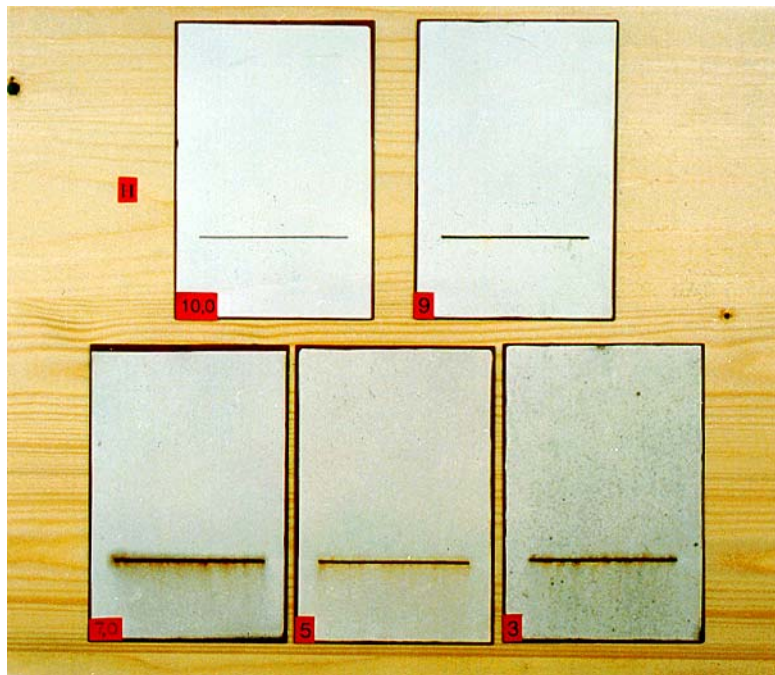


Figur 11: Eksempel på skala for grad av forandring av det generelle utseende. a) For malt tre, b) for malt stål. (foto Odd Anda).

11.7.2.2 Smuss:

Maling kan ha ulik evne til å motstå tilsmussing. Det vil derfor i noen sammenheng kunne være en viktig parameter der hvor det estetiske er av større betydning. En karakterskala kan eksempelvis være slik som vist på Figur 12.

Dersom malingflaten er angrepet av sopp (svertesopp) kan dette forveksles med smuss. Man har en egen evaluering for sopp hvor det normalt er nødvendig å anvende lupe og/eller mikroskop (se kapittel 2.7.2.13). I praksis vil en huseier ikke visuelt oppfatte en mørkhet på en malt flate som sopp, men betrakte soppdannelsen som smuss.



Figur 12: Eksempel på skala for graden av smuss. Hver metallplate er 10x15 cm. (Foto Odd Anda)

11.7.2.3 Blæring og metallgjennomslag:

Blæring vil lettest være synlig på malt metall, og da særlig i umiddelbar nærhet til en mekanisk skade (eksempelvis et introdusert riss). Dersom blærer har oppstått over hele overflaten kan man bruke ISO-standarden.

Oftest får man først blærer nær skade (riss) og, ingen andre steder. Hvis eksponeringstiden videre er kort vil ISO-standarden være lite hensiktsmessig å bruke. Det er mer praktisk å lage en egen fotoskala basert i så stor grad som mulig på ISO-standarden.

I noen tilfeller kan det være tilstrekkelig å angi blæring bare i anmerkningsform eksempelvis som lite, moderat og mye. Grunnen til det er at blæringen er inkludert i parameteren ”skade i avstand fra riss”, og den kan også være involvert i forbindelse med avflaking.

Ved langtidseksponeringer vil angrepspunkter som gir rust kunne føre til blærelignende former på overflaten. Blir disse høye nok vil slike blærer sprekke på toppen og en får etter hvert brunlige rustgjennomslag som sammen med regnvann fører til at den malte flaten blir lite pen.

Rustgjennomslag er en alvorlig skade og vil degradere et malingsystem kraftig. Dersom gjennomslaget er over hele flaten kan man bruke ISO-standarden. I andre tilfeller kan det være mest praktisk å gi en anmerkning. Dette avhenger av hvor sammenlignbar skaden er med standarden.

Dersom underlaget for malingen eksempelvis er sink eller aluminium vil en på samme måte få korrosjon av disse metallene. Dette kan gi blærer som når de sprekker og gir lyse korrosjonsflekker på overflaten. Korrosjonsprodukter som ikke løses opp av surt regn vil kunne beskytte stålet og det samlede system av metallisert belegg og maling vil fremdeles kunne ha en teknisk lang levetid selv om det visuelle inntrykket er dårlig. Det er derfor viktig, dersom man anvender offisielle standarder på slike blærer dannet av korrosjonsprodukter, å gjøre anmerkninger med beskrivelser av tilstand og utseende.

11.7.2.4 Sprekking (krakelering)

ISO-standarden skiller mellom 3 typer sprekker ("Cracking").

- a) Overflatesprekker som ikke helt trenger gjennom toppstrøket.
- b) Sprekker som går gjennom toppstrøket.
- c) Sprekker som gjennomtrenger hele beskyttelsessystemet.

Punkt a) og b) dekker det begrep som i ASTM-standarden betegnes "Checking".

Forekommer sprekkdannelse over hele overflaten bør en bruke de offisielle standardene. Sprekkdannelsen kan fremkomme i ulike former (eksempelvis sigdformede sprekker). Det er derfor viktig med kommentarer til denne type skade som må karakteriseres som alvorlig.

11.7.2.5 Avflaking (flassing)

Avflaking vil ofte være svært ujevnt fordelt på overflaten. Det kan derfor være vanskelig å sammenligne den aktuelle avflaking med figurene i de offisielle standardene. Avflakingen starter gjerne ved riss eller kanter, og malingen kan da raskt slippe i store flak nær disse, mens de sentrale deler av overflaten synes upåvirket.

Avflakingskader vil derfor kanskje i de fleste tilfeller best dokumenteres i beskrivende tekst. For annen type underlagsmateriale som eksempelvis tre er det nødvendigvis ikke slik.

11.7.2.6 Krittning

Krittning kommer som et resultat av kjemisk nedbrytning av maling. En får da et mer eller mindre løst pulver på den malte overflate. Den viktigste nedbrytningsfaktor her er sollys (UV-stråling). Kombinert med nedbør, vind og i noen tilfeller støv (som eksempelvis sand), vil man få slitasje eller erosjon. Man vurderer likevel gjerne begge parametrene krittning og slitasje fordi motstanden

mot disse varierer for ulike malingstyper. Måling av krittning vil således være et mål for gjenværende løst pulver på overflaten.

ISO-standarden er basert på hvit maling med avtrekk på fargeløs tape som klebes på sort underlag.

Det går også an å bruke sort tape som klebes på fargeløs folie. Anvendes dette bør man lage seg en egen skala som ligger så nær ISO-standarden som mulig.

11.7.2.7 Slitasje (erosjon)

Som nevnt ovenfor er det en sammenheng mellom slitasje og krittning. I et værhardt område vil resultatet ofte gi maling med lite krittning og stor slitasje, mens i et annet mye roligere værmessig område vil det for samme maling kunne være omvendt. Er det mye slitasje kan toppstrøket delvis eller helt forsvinne, og man sitter igjen med underlagsmalingen (primer).

Slitasje kan evalueres etter ASTM-standarden. Figur 13 viser eksempel på slitasje.



Figur 13: Eksempler på slitasje eller erosjon. Dette skyldes dels vær og vind og dels kjemisk forvitring. Det øverste malingsjiktet er i større eller mindre grad slitt bort. Underlagssjiktet blir lettere synlig om det har en annen farge enn den eroderte toppfilmen. Prøvene som er fra Sarpsborg (Borregaard) har vært eksponert i ca. 24 år. Prøveplatene er 10x15 cm. (Foto Odd Anda).

11.7.2.8 Rust i riss

Riss eller andre former for introduserte feil lages i prøven for å legge forholdene til rette for atmosfæriske og miljømessige angrep. Hensikten er å fremkalle en akselerasjon i nedbrytningen som ellers vil kunne gå langsomt.

Ut fra et riss kan det oppstå en rekke skader relativt raskt. Eksempler er blæring, avflaking, filiformkorrosjon og rustdannelser i selve risset.

Et metallisert belegg eller en sinkholdig maling skal virke katodisk beskyttende for underliggende stål. Mengden rust i risset vil således være mål for den katodisk beskyttende evnen til systemet.

NILU har benyttet egen skala for rust i riss. Skalaen bør fotograferes og den bør være tilpasset de aktuelle prøver. I ECE-prosjektet har NILU beskrevet rustgraden slik (Henriksen et al., 1992A):

- Ingen rust
- Svak korrosjon (ofte som et tynt mer eller mindre løst pulveraktig lag)
- Moderat korrosjon
- Betydelig korrosjon
- Meget alvorlig korrosjon: Hele rissområdet er svulmet opp av ”rustkaker”.

Mengdeangivelsene har henholdsvis fått følgende betegnelser: 0, (r), r, rR og R. Se Vedlegg D.

11.7.2.9 Filiformkorrosjon

Filiformkorrosjon er en form for underkorrosjon som gir seg til kjenne ved uregelmessige hårfine sammenbundete ganger. Disse gangene kan sees som trådformede forhøyninger av malingfilmen, og de har sitt utgangspunkt i skader, som for eksempel riss.

NILU har evaluert filiformkorrosjon etter svensk standard SS 18 42 19 (SS,1991). (Henriksen og Anda, 2000).

Eksempel på filiformkorrosjon er vist i Figur 14.



Figur 14: *Filiformkorrosjon (leksikalt referansefoto). Det vannrette risset er 1 mm bredt. (Foto Odd Anda).*

11.7.2.10 Skade i avstand fra riss

Skaden måles i mm fra rissets øvre kant til skadens endepunkt slik som beskrevet i de offisielle standardene ASTM D 1654-79a (ASTM, 1984) og SS 18 42 19 (SS, 1991). Man kan også måle bredden på hele skadefeltet, dvs på begge sider av risset og så trekke fra rissets bredde og eventuelt dividere på to for å få et gjennomsnitt av de to sidene av risset. Hva man velger vil være avhengig av hva som passer best (er mest entydig) ut fra de skader som fremkommer. I et prosjekt bør en holde seg til evalueringstype slik at en får sammenlignbare data mellom ulike belegg eller mellom ulike miljøer.

En får her et tall som ikke forteller hvilken type skade det dreier seg om (se filiform- korrosjon ovenfor). Slike opplysninger må gis i en anmerkningskolonne.

Dersom skaden er meget ujevnt fordelt langs risset slik at en middelverdi i mm ikke gir noen tilfredsstillende mening brukes fortrinnsvis den typiske ”skadebredde”. Men sterkt begrensede ekstremverdier bør anmerkes. Eksempel på en skade som vil gi en ekstremverdi og som således ikke er relevant for parameteren vil være en enkelt blære plassert 20 mm fra risset, mens den generelle skade i form av avflaking langs riss kun strekker seg 2 mm fra riss. I et slikt tilfelle vil det være naturlig å bruke tallet 2 i stedet for 20 med bemerkning om blæren i merknadskolonnen.

11.7.2.11 Glans

Glans er en parameter som kan være vanskelig å forholde seg til. Det skyldes at flere forstyrrende faktorer virker inn på målingen. Glans er en funksjon av kjemiske endringer i malingens overflate. De fremkalles hovedsakelig ved påvirkning av kortbølget lys. Glans eller evnen til å reflektere lys er således relatert til krittning.

Men parametrene glans og krittning behøver ikke følge hverandre helt (på grunn av slitasje, blotting av pigmenter mm).

Smuss og soppdannelser vanskeliggjør måling av glans. Av og til kan man løse problemet ved å vaske prøven (med vann tilsatt litt syntetisk vaskemiddel) før måling. Da må man imidlertid være oppmerksom på at man samtidig kan fjerne krittning som er en naturlig årsak til glansreduksjon.

Til sammenligninger av ulike malingsystem i samme miljø kan man imidlertid i mange tilfeller med fordel bruke glansmålinger.

Til måling av glans brukes et såkalt glossmeter med spesifikasjoner som anført i de offisielle standarder. NILU har et glossmeter ERICHSON Glossmaster 295/1. Overflater som er ujevne i struktur slik som malte treoverflater gir lite reproducerbare resultater, og vil normalt være uegnet for måling med glossmeter.

11.7.2.12 Heftfasthet

De to vanligste prinsippene for måling av heftfasthet er ”gitter snitt” (cross-cut test) og ”avtrekk”. NILU har i begrenset utstrekning benyttet ISO 2409 (ISO,1972) for gitter snitt.

Metoden går ut på å bruke et spesielt risseverktøy (iflg. spesifikasjoner i standarden) til å lage et rutenett som går gjennom malingfilmen. Hjørnene på de enkelte rutene som da dannes vil da mer eller mindre flasse av alt etter hvor stor hefteevne malingen har. Standarden har en skala hvor malingens hefteevne kan klassifiseres.

Når NILU bare i liten grad har brukt denne parameteren, så skyldes det at heftfasthet og så vil bli kommentert i forbindelse med andre parametere (eksempelvis skade fra riss, avflaking og blæring).

11.7.2.13 Sopp

Sopp, smuss og alger forekommer oftest blandet på malte overflater. Det er ikke alltid like lett å atskille dette visuelt. ASTM D 3274-82 (ASTM, 1982) har således fotoskala hvor mengde-angivelsen ikke skiller mellom sopp, smuss og alger.

Dersom man vil ha en genuin soppevaluering må man bruke lupe, eventuelt mikroskop. Det er imidlertid også nødvendig med en skala for mengdeangivelse som er dokumentert med fotografier.

Den skala NILU har anvendt har hatt følgende klassifisering (inndeling som i ASTM-standard):

- 10 Ingen observerte soppangrep. En har da foretatt en inspeksjon av overflaten med lupe (ca. 16X).
- 9,5 Spor av hyfer kan sees 2-3 steder på overflaten.
- 9 Små mengder kan sees flere steder.
- 8 Sopp forekommer spredt i omtrent halvparten av de undersøkte arealene.

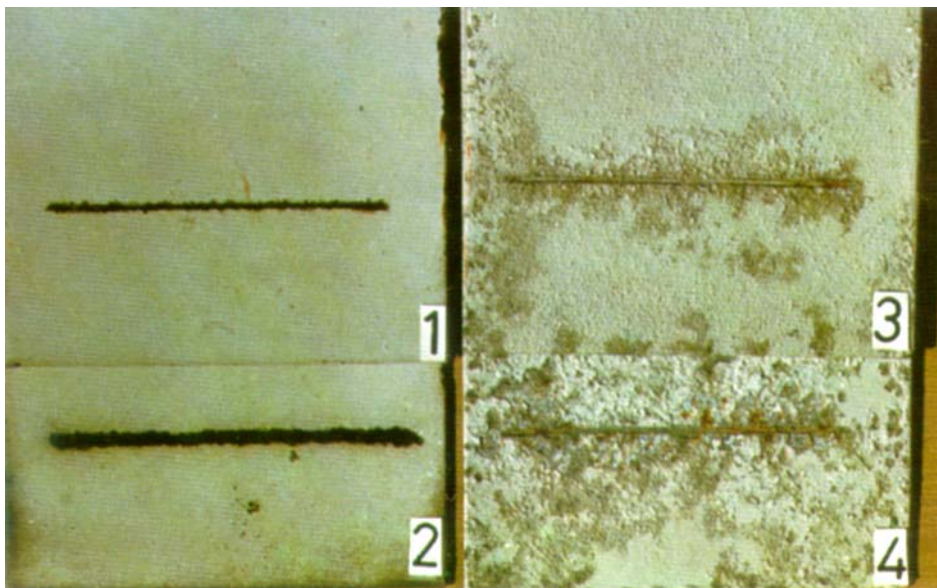
- 7 Sopp påvist i tilnærmet alle de undersøkte arealer, dvs tynt spredt over hele overflaten.
- 6¹ Moderate mengder, dvs 1-5 ansamlinger (hoper) pr. synsfelt.
- 5 Over 5 ansamlinger pr. synsfelt.
- 4 Ansamlingene ligger så tett at det bare er lite rom mellom dem.
- 3 Soppen er jevnt fordelt over hele flaten uten tydelige mellomrom.

Dersom hyfene ikke lenger er et fint nettverk men er grov i strukturen slik at overflaten blir helt mørk kan man gå enda lavere på skalaen.

I særlig fuktig klima vil en ofte sammen med svartesoppen også ha grønne alger. De kan være vanskelige å atskille når de ligger sammen med sopp og smuss. Man kan lettere se om det finnes grønne alger ved å fukte en finger og stryke den over et mistenkelig område med lett trykk. Grønn farge vil da lett komme til syne dersom alger tilstede. En detaljert beskrivelse av hvorledes en skal skjelne mellom sopp og smuss er gitt i Partikkelhåndboken (Anda 2002)

11.7.2.14 NILUs skadegradsskala

Figur 15 viser den skadegradsskala NILU anvendte i et omfattende samarbeidsprosjektet på beskyttelsessystemer for stål. (Anda, 2001). Denne skalaen fulgte skadegradstallene for ISO standarden. ISO-skalaen starter med null som beste karakter og fortsetter med 1-1,5-2-2,5-3 osv til 5 som dårligste karakter. ISO standarden skal dekke samme skadeområdet som ASTM-standard, men den skalaen starter med 10 som best karakter og går til 1 som dårligste.



Figur 15: NILUs skadegradsskala. Metallplatene er 10 cm brede. (Foto Odd Anda)

Både ISO-og ASTM-skalaene er idealiserte standarder som vurderer hver skadeform for seg. NILUs skadegradsskalaen skal i utgangspunktet også ta hensyn

¹ Fra og med karakteren 6 og lavere er soppen så utbredt at det er tale om å vurdere hyfenes tetthet og siden masse. Til dette brukes fotoreferanser som det er vist eksempler på i Figur 12 i neste kapittel (Evaluering av malte trepaneler).

til beskyttelsessystemets totale tilstand. Det betyr at mindre alvorlige feil (f. eks. utseende og smuss) ikke veier så tungt ved karaktergivingen selv om prøven visuelt ikke ser så bra ut.

Det er viktig at vedlikeholdsaspektet er inkludert i skadegradsskalaen. Selv om deler av beskyttelsessystemet er helt ødelagt (f.eks. ved at slitasje har fjernet hele toppstrøket) kan reparasjonskostnadene likevel være små dersom en slipper omfattende overflatebehandlinger og bare kan føre på et nytt toppstrøk.

Det kan også være slik at eksponering kan gi skader bare knyttet til riss og kantene; mens skadeutviklingen ved langtidseksponering tilsynelatende nesten stopper fullstendig opp, og hvor overflaten for øvrig forblir uskadet. I slike tilfeller vil skadegradstallet kunne gi gal informasjon om malingsystemets beskyttende evne.

Skadegradsskalaen bør derfor tilpasses formålet med undersøkelsen. Dette kan eksempelvis føre til at man korrigerer skalaen underveis. En slik endring må forklares og suppleres med ny fotodokumentasjon.

For at skadegradstallene tilnærmet skal dekke samme skadenivå som det som benyttes ved evaluering av malte konstruksjoner i praksis, skal en ta hensyn til at skadegrad 2.5 skal representere det skadenivået hvor vedlikehold eller reparasjon anbefales av malingsprodusentene når en bruker ISO-skalaen og skadegrad 5 hvis en bruker ASTM skalaen.. En tekstet beskrivelse av skadegradene etter ASTM skalaen kan være som følger²:

Feilfri eller uforandret	10
Fremdeles god	9
Ganske god	8
Litt medtatt	7
En del medtatt	6
Betydelig medtatt	5
Sterkt medtatt	4
Meget sterkt medtatt	3
Nesten helt ødelagt	2
Helt ødelagt	1

På NILU har vi benyttet tilnærmet samme skala både i ECE ICP materialprosjektet (Henriksen et al., 1998A) og i PROWOOD-prosjektet (Anda og Henriksen, 2001)

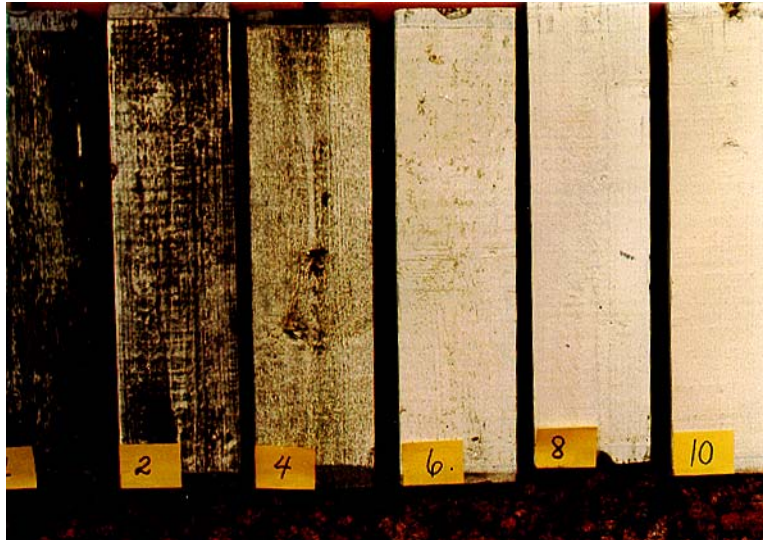
² Skalatekstene er hentet fra rapport fra Statens tekniske institutt (STI) ved Atle Øvregard. Rapporten omhandler et eksponeringsprogram over 14,5 år og som ble avsluttet i 1983. Skalaen ble her kalt "almen tilstand".

11.7.3 Kommentarer til evaluering av malte trepaneler

Mange av de samme parametrene som brukes ved evaluering av maling på stål gjelder også for treunderlag (generelt utseende, smuss, blæring, sprekking, avflaking, krittning, slitasje, glans, heftfasthet, sopp og NILUs skadegradsskala).

11.7.3.1 Generelt utseende

Figur 16 viser eksempel på fotoserie for generelt utseende for granpaneler gradert fra 1 til 10. Skalaen er brukt i et eksponeringsprogram (PROWOOD) fra slutten av 90-årene (Anda og Henriksen, 2001).



Figur 16: NILU-standard for evaluering av generelt utseende gradert fra 1 til 10. Panelene som er av uhøvlet gran er 10 cm brede og malt med hvit alkyd maling. (Foto Odd Anda)

11.7.3.2 Sprekker:

Små sprekker i veden kan av og til være vanskelig å skille fra sprekker i malingfilmen.

For å angi mengde sprekker har NILU brukt lupemikroskop (ca. 15 X) og gitt skala enhetene følgende tekst:

- 10 Ingen sprekker eller slitasjer³ kan observeres ved inspeksjon av hele panelet.
- 9,5 Vanskelig å avgjøre om det er sprekker i malingen eller veden eller slitasje.
- 9 Sjelden forekommende; men tydelige sprekker i malingfilmen.
- 8 Sprekker forekommer flere steder i synsfeltet med lupemikroskop.
- 7 Sprekker er vanlige; men ikke i alle synsfelt.
- 6 Sprekker forekommer i alle synsfelt; men tettheten er liten.
- 5 Sprekker overalt i synsfeltene; men tettheten er fremdeles relativt liten.

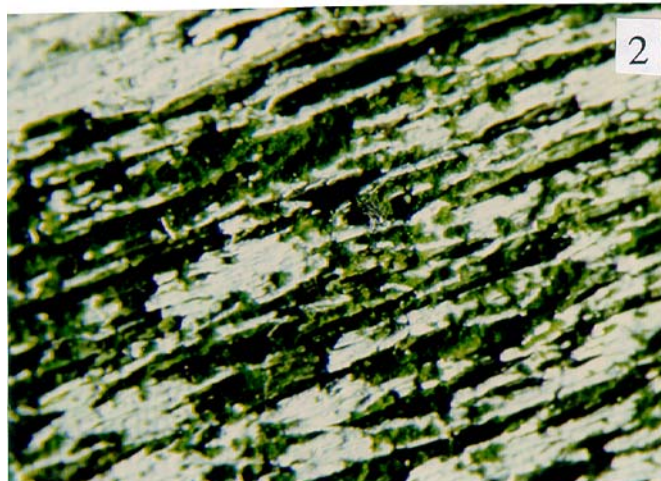
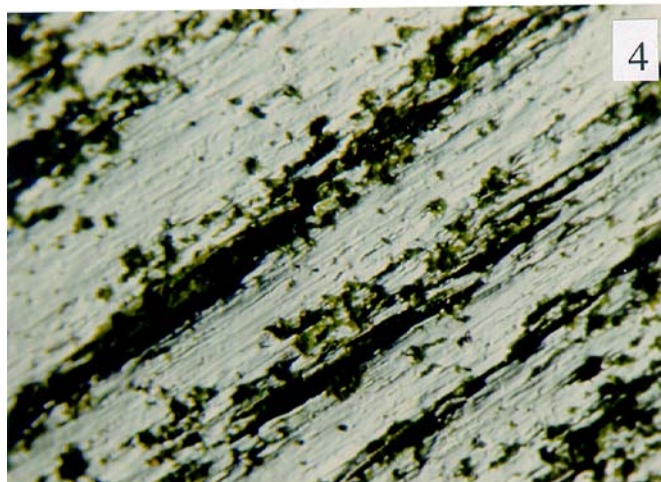
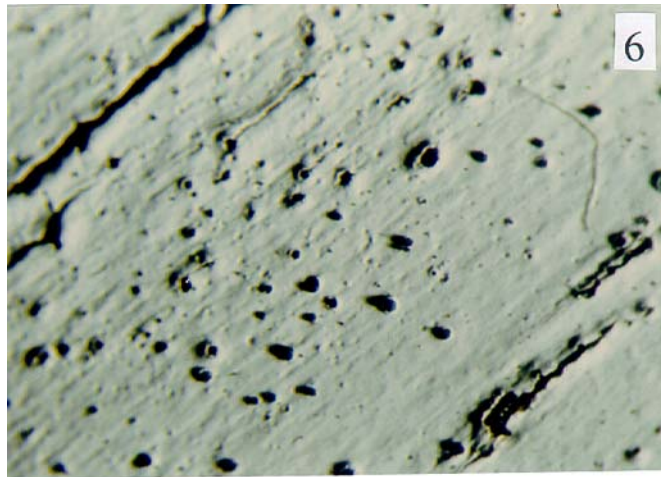
³ Ved påføring av maling på særlig uhøvlet tre vil en der hvor trefibrer stikker opp få tynnere malingfilm enn i de lavere delene i på overflaten. Disse "toppene" vil raskere utsettes for slitasje enn den øvrige delen av flaten. Når slitasjen bryter gjennom malingsfilmen vil dette kunne forveksles med sprekker.

4 Sprekker dominerer synsfeltene og tettheten begynner å bli stor.

Ettersom tettheten øker kan en nå legge inn lavere karakterer dokumentert med fotografier.

Som anmerkning bør alltid sprekktypene nevnes, dybder og ulike former (eksempelvis sigdformede sprekker eller sigmoider).

Figur 9 viser eksempel på fotoserie for sprekkdannelse for gradene 2, 4 og 6. Bildene er tatt i lupemikroskop med forstørrelse ca. 15 X.



Figur 17: Skalering av mengder oppståtte sprekker. Underlagsmateriale er gran. Forstørrelse er på ca. 13X. (Mikroskop-innstilling (Wild M 38) ca. 15X). (Foto Odd Anda).

11.7.3.3 Avflaking

Figur 18 viser eksempel på fotoserie for graden av avflaking gradert mellom 1 og 10. Også dette er en egen standard laget av NILU og anvendt i prosjektet PROWOOD.



Figur 18: NILU-standard for evaluering av mengde avflaking gradert mellom 1 og 10. Panelene som er av uhøvlet gran er 10 cm brede og malt med hvit alkyd maling. (Foto Odd Anda).

11.7.3.4 Slitasje

Begynnende slitasje kan være vanskelig å vurdere dersom trepanelet er uhøvlet og har oppstikkende trefibrer.

11.7.3.5 Glans

For at glansmålingene på trepaneler skal gi tilfredsstillende resultater kreves at overflaten er plan og jevn uten strukturer. Hvis dette ikke er tilfelle vil det være vanskelig å oppnå reproduserbare tall fordi måleapparatet bare måler på et lite avgrenset areal. En vil i så fall være avhengig av å måle i nøyaktig i samme punkt hver gang da refleksjonen varierer på overflaten på grunn av ujevnheter.

11.7.3.6 Heftfasthet

NILU har ikke benyttet heftfasthets-tester på treunderlag.

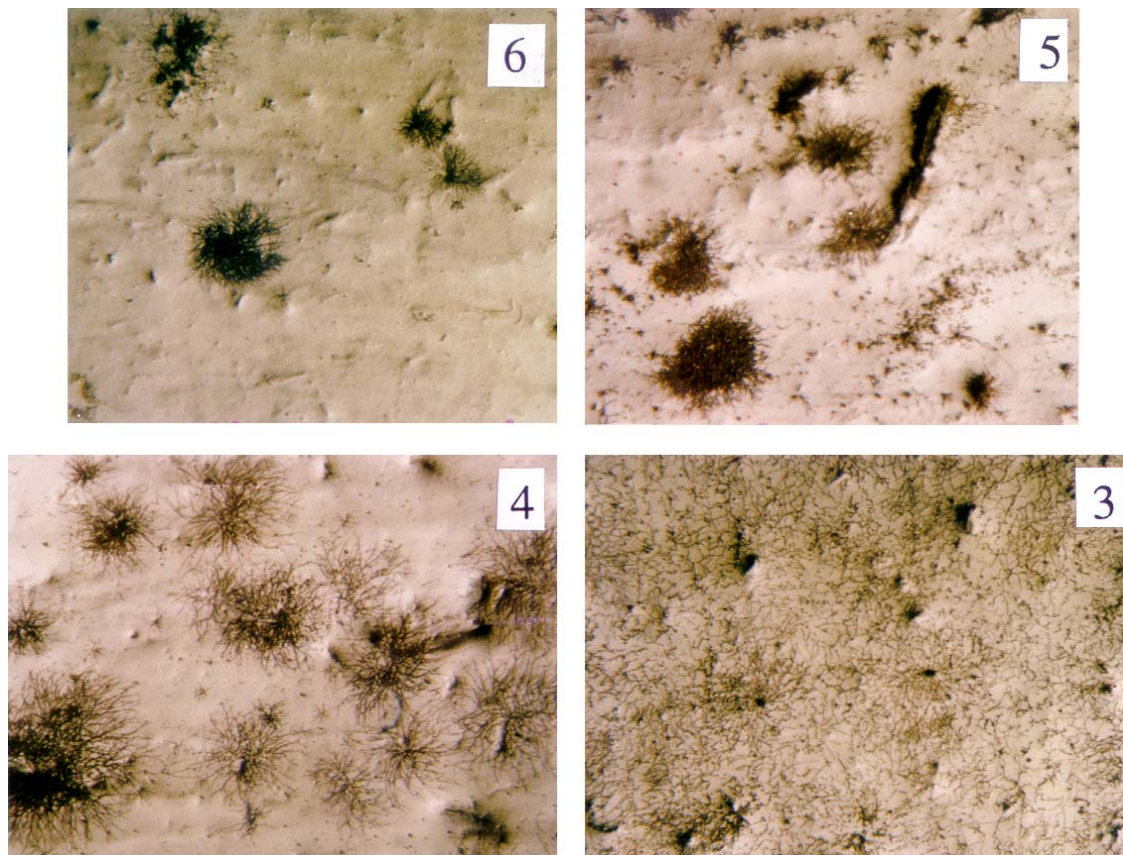
11.7.3.7 Sopp (svertesopp)

Se for øvrig kapittel 2.7.2.13 (Sopp).

Som tidligere nevnt bruker man lupemikroskop når man evaluerer soppmengde eller utbredelse.

Figur 19 viser en fotoserie av mengdeskala anvendt på NILU (PROWOOD-prosjektet) for evaluering av sopp. Underlagsmaterialet er malt gran.

Også ved evaluering i felt må man bruke lupe for å få en tilfredsstillende evaluering.



Figur 19: Skala laget på NILU og gradert mellom 1 og 10 for å evaluere sopp-utbredelse på malt tre (gran). Forstørrelse er på ca. 13X. (Mikroskop-innstilling ca. 15X). (Foto Odd Anda).

11.8 Evalueringsskjema

Skjemaene som benyttes ved evaluering, det være seg i felt eller på laboratoriet må tilpasses prosjektet og de aktuelle parametrene.

I laboratoriet vil det være mulig å foreta en grundigere og mer fullstendig undersøkelse av prøvematerialet. Dette skyldes at man har tilgang på mer avansert måleutstyr og at man ikke er avhengig av værforholdene. Det kan derfor i noen tilfeller være hensiktsmessig å lage et annet noe forenklet skjema for feltbruk.

I vedlegg D er vist eksempler på evalueringsskjemaer hvor prøvematerialet har vært av den type som til nå er gjennomgått.

11.9 Feltprøver og evaluering av karbonatholdig materiale

11.9.1 Kalkmørtel

NILU var i 1993 og 1994 deltaker i et prosjekt om restaureringmørtlers bestandighet "EUROLIME" sammen med Norges byggforskningsinstitutt (NBI), Trondheim og Riksantikvaren. Formålet med prosjektet var å teste restaureringmørtlers bestandighet i ulike typer klima (Anda, 2001A)

Ved siden av en visuell tilstandsvurdering av prøvene, samlet en også avrenningsvann fra prøvene og foretok en kjemisk analyse av vannet.

Prøvestykkene fulgte Norsk Standard for Mur og pussmørtler (NS; 1988). Prøvene ble festet til et vanlig NILU korrosjonsstativ vendt 45° mot sør. Mørtelen ble applisert på to typer underlag. Det ene underlaget var stein som ble betraktet som ikke sugende underlag. Det andre var tegl som ble antatt å være noe sugende. På en stasjon (Tananger) ble prøvene vendt mot havet da en var spesielt interessert i sjøsaltets effekt på mørtelen. Prøvene som skulle vurderes visuelt ble merket ved at sidekantene på prøvene av hver mørteltype ble skjermet med maling med ulik farge.

Et sett med prøver ble utstyrt med en samleanordning for regnvann i nedkant av prøvene. Sidekantene var forsynt med plastplater som hevet seg noe over pussoverflatenivået. Dette skulle forhindre vanntap ut til sidene under regnvær. Fra pussprøven ble regnvannet ledet ned på baksiden av stativet til 1,5l plastflasker (mineralvannflasker), en flaske for hver prøve.

Figur 20 viser oppsettet på Birkenes.



Figur 20: Feltprøving av puss med oppsamling av regnvann fra prøvene (Birkenes). (Foto Odd Anda).

De parametre som ble målt var følgende:

Nedbørmengde med ionekonsentrasjoner (klorid, nitrat, sulfat, natrium, kalium, kalsium, magnesium og ammonium og dessuten surhetsgrad, pH og ledningsevne, μS).

I avrenningsvannet ble de samme kjemiske parametrene som for nedbør bestemt. Det ble også brukt aerosolfelle for å måle tørravsatt klorid, sulfat, nitrat og magnesium ($\text{mg}/\text{m}^2\text{d}$).

Meteorologiske data ble også innhentet fra NILUs stasjon på Birkenes og fra relevante DNMI-stasjoner for de andre prøvefeltene.

For å finne hvor mye av bindemidlet (i dette tilfelle kalk) som ble løst av regnvannet og fjernet fra pussoverflaten kan man bruke kalsiumverdiene fra avrenningsvannet og trekke fra regnvannets bakgrunnsverdi for kalsium. Etter

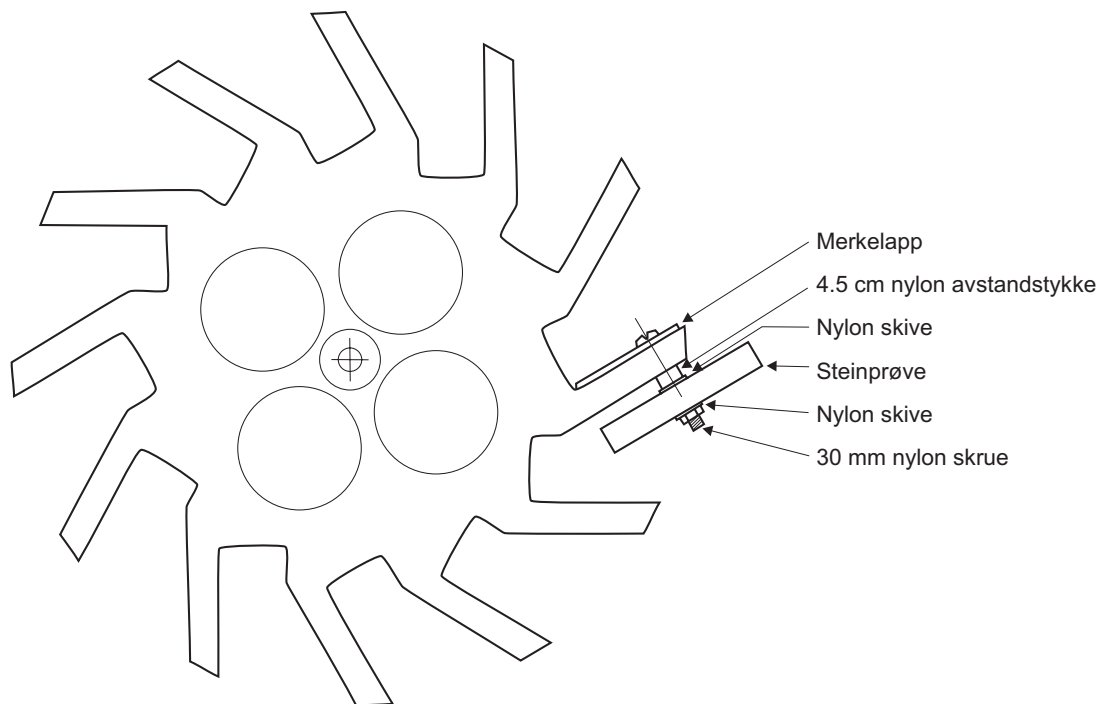
hvert som bindemidlet løses ut vil annet ikke-vannløselig materiale (eksempelvis tilslagsmateriale) løsne, og vekten av det som fjernes fra prøven blir således høyere enn det kalsiumverdiene skulle tilsi.

Den ovennevnte prøvetakingsmetode kan i prinsippet anvendes på alle typer materialer hvor eksponering i uteklima fører til dannelsen av vannløselige forbindelser eller hvor materialene selv inneholder vannløselige komponenter, eksempelvis betong.

Hvilke kjemiske parametere man da velger å måle er avhengig av hvilken type materiale man skal teste.

11.9.2 Eksponering av stein

Eksponering av steinprøver i feltstudier har vært gjennomført med ulik utforming av prøvestykkene. For testing av steintyper til praktisk bruk benyttes ofte kubiske prøver hvor en av flatene vender skrått mot sør. Til dose-respons studier er denne prøvetypen mindre anvendelig. Prøven blir tung og belastningen på de ulike flatene blir forskjellig. I flere av de prosjektene som NILU har deltatt i har en derfor benyttet tynnere prøver, 5x5x0.5 cm. For at alle prøvene skal ha samme belastning har prøvene vært montert vertikalt på en karusell. Karusellen har plass til 6 prøver og siden den roterer med vinden så antar en at belastningene blir meget ensartet. Prøvene er festet til karusellen ved at det bores et hull sentralt på prøven og at prøven monteres ved hjelp av maskinskruer med mutter. I det første prosjektet benyttet en stålskruer og mutter. En svakhet med systemet var at en hadde problemer med å få passende trykke på prøven. Dro en til for hardt så sprakk prøven og hvis den ble for svak beveget prøven seg i vind og en fikk ekstra slitasje. Dette gjør metoden vanskelig å benytte for løse og eventuelt spesielt sprø steintyper I de senere prosjektene har en gått over til plastskruer som ikke knekker prøven hvor slitasjen er mindre. Under tak hvor gass og partikler virker har en også benyttet vertikale prøver i stativ. Et bilde av steinkarusellen er vist på Figur 21.



Figur 21: Bilde av en steinkarusell benyttet til dose-respons forsøk ved NILU.

En del av resultatene er det referert til i Kapittel 7.

12 Oversikt over utstyr spesielt innkjøpt til materialstudiene

1. Klimaskap Weiss:

Klimaskapet regulerer temperaturen mellom -40 C og $+60\text{ C}$. Klimaskapet regulerer den relative fuktigheten i skapet ved at all luften som kommer inn i skapet blir mettet i et vannbad før den blir varmet opp inne i skapet til en bestemt temperatur. Dette betyr at ved høy temperatur i skapet kan en innstille fra lav til høy relative fuktighet. Ved lavere temperaturer blir reguleringsmulighetene mindre og under frysepunktet for vann kan ikke skapet regulere fuktigheten og gjennomstrømming av luft i skapet må stoppe. Skapet er utstyrt med et innerskap for eksponering med forurenset luft. Den forurensede luften blir laget ved at gassene tilføres fra trykkflasker via en doseringspumpe til innerskapet hvor den blandes med luft med bestemt fuktighet. Via en utvendig trykkbeholder kan en tilføre ”regn” til skapet over kortere perioder. Regnvannet i beholderen skal justeres for pH og ionestyrke før forsøkene.

2. Klimaskap Chalmers:

Utstyret er konstruert og kjøpt fra Chalmers tekniske høyskole i Gøteborg. Skapet er spesielt beregnet for å måle belastning og korrosjon på materialer under kontrollert temperatur og relativ fuktighet. Opptil tre ulike gasser kan tilføres kamrene via permeasjonsrør. Temperaturen kan ikke justeres nevneverdig, men relativ fuktighet kan varieres fra 0 til 100%. Utstyret er avhengig av kontroll med gasskonsentrasjonen inn i kammeret og bestemmelse av konsentrasjonen i gassen etter kammeret.

3. Salttåkekammeret:

Kammeret er konstruert for å kjøre salttåketester på materialer og materiell etter internasjonale standarder. I de senere år har kammeret blitt benyttet til en test for elektronikkindustrien med sur tåke. Tåken lages ved at vann mettes med SO₂. (DEF-STAN; 1955)

4. Steinsag:

Denne sagen er en liten sirkelsag beregnet til å skjære til steinprøver til laboratorie-og felt tester.

5. Poleringsmaskin:

Maskinen har to roterende skiver hvor en kan bytte slipepapir. Polering benyttes primært til prøver før mikroskopering.

6. Skikttykkelsesmåler:

Elcometer 256 FN, T2. Brukes til måling av tykkelsen til malingfilmer på metaller.

7. Glansmåler:

Glossmaster Modell 507 Erichsen. Måler glansen på en malingfilm. Primært på glatte overflater

8. Gittersnitt apparat:

D 6870 Hermec, Model 295/I og 295/II, Erichsen. Et apparat som kutter malingen i et fint gitter som skal gi et mål for malingens heftfasthet til underlaget. De to typene gir ulik bredde mellom rissene. Model 295/I følger Standardene DIN 53151 og ISO 2409 og Model 295/II ISO 4623.

9. Risse apparat:

Type 463, Erichsen. Apparatet brukes til å lage et 1 mm kutt gjennom malingsfilmen for testing av korrosjon fra riss. Apparatet følger standard DIN 53167 og 53021.

10. Fuktmåler for tre:

Protimeter, Timbermini med tilleggsutstyr. Instrumentet er et håndinstrument for å måle vanninnholdet i tre. Det brukes primært til fastsette risiko for råtedannelse.

11. Vaisala instrument:

Vaisala instrument HMI 32: Instrumentet måler temperatur og relativ fuktighet i luft.

12. CORRATER:

CORRATER Model 1120 Magna: Instrument for å måle vanns og andre væskers korrosivitet.

13. Oxygen meter:

YSI Model 57: Instrumentet er en sonde som måler løst oksygen i vann.

13 Referanser

- Abbot, W.H. (1987) The Development and performance characteristics of mixed flow gas test environments. In: *Proc. of the Holm Conference on Electric Contacts, Chicago, Ill. 1989*. New York, IEEE., pp. 123.
- Anda, O. (1979) Forsøk med aerosolfelle på Folehavnen. Lillestrøm (NILU IN 9/79).
- Anda, O. (1981) Aerosolfelleforsøk. Lillestrøm (NILU IN 1/81).
- Anda, O. (1982) Korrosjonsmiljømålinger på Karmøy. Lillestrøm (NILU OR 41/82).
- Anda, O. (1983) Korrosjonsmiljømålinger i området ved Leirvåg, Mongstad. Lillestrøm (NILU OR 42/83).
- Anda, O. (1991) Atmosfærisk korrosjonsprøving av metall – og malingbelegg-systemer under ulike miljøforhold. Rapport etter 14^{1/2} års eksponering. Lillestrøm (NILU OR 63/91).
- Anda, O. (1997) Sjøsaltdrift- og korrosjonsmålinger i Moss. Kjeller (NILU OR 6/97).
- Anda, O. (2001A) Restaureringsmørtlers bestandighet. Prøving i felt og laboratorier. Kjeller (NILU IR 02/2001).
- Anda, O. (2001B) Atmosfærisk korrosjonsprøving av metall- og malingbelegg-systemer på stål under ulike miljøforhold. Sluttrapport (etter ca. 24 års eksponering). Kjeller (NILU OR 52/2001).
- Anda, O. (2002) Partikkelhåndbok. Kjeller (NILU TR 5/2001).
- Anda, O. og Haagenrud S.E. (1984) Havsaltavsetninger målt med NILUs nedbørsamler og aerosolfelle. Avsetningene sett i sammenheng med metallers korrosjonshastighet. Lillestrøm (NILU TR 8/84).
- Anda, O. og Henriksen J.F. (2001) PROWOOD-resultater. En oppsummering etter 5 års eksponering på ECE-stasjoner. Sluttrapport. Kjeller (NILU OR 47/2001).
- Anda, O., Henriksen, J.F. og Haagenrud, S.E. (1983) Kloridbelastning i ulike lagere ved Kongsberg Våpenfabrikk. Lillestrøm (NILU OR 14/83).
- Andesson, B. (1994) Korrosionsskadekostnader orsakad av svoveldioxid emissioner. Svenska Miljöräkenskaper.
- ApSimon, H., Pearce, D. and Özdemiroglu, E. (1997) Acid rain in Europe, counting the cost. London, Earthscan.

- Atteraa og Hagerup (1976) Atmospheric corrosion. Listing of test data from up to six years of exposure in Norway. Tekn. notat. Det norske Veritas, Bergen.
- Berre, B. og Lala, D. (1989) Investigation on Photochemical dosimeters for ultraviolet radiation. *Solar Energy*, 42, 405-416.
- Dahlin, E. og Presterud, O. (1992) EU 446 EURO CARE CAREBUILD. Arbeidsgruppe 1: Arkeologi – Bevaring av arkeologisk materiale i jord. Lillestrøm (NILU OR 65/92).
- Dahlin, E, Henriksen, J.F., Anda, O., Mattsson, J., Iden, K., Åberg, G., Bjelland, T., Thorseth, I., Hannes, G.M. og Torssander, P. (1999) Helleristninger i grensebygd, INTERREG II A, delprosjekt 3A: Kunnskapsutvikling omkring nedbrytning og forvitring, samt utvikling av verneteknikk for bergkunst. Kjeller (NILU OR 76/99).
- Dean, S.W. (1988A) ISO CORRAG collaborative atmospheric exposure program – a preliminary report. In: *Degradation of metals in the atmosphere*. S.W. Dean, T.S. Lee, eds. Philadelphia, PA, ASTM (ASTM STP965), pp. 384 – 439.
- Dean, S.W. (1988B) Planning, Instrumentation, and evaluation of atmospheric corrosion tests (Part 1). *Materials Performance*, 27, no. 10, 56-59.
- Dean, S.W. (1988C) Planning, instrumentation, and evaluation of atmospheric corrosion tests (Part 2). *Materials Performance*, 27, no 11, 64-67.
- Dean, S.W. (1988D) Planning, instrumentation, and evaluation of atmospheric corrosion tests (Part 3). *Materials Performance*, 27, no. 12, 35-37.
- Dean, S.W. (1989) Planning, Instrumentation, and Evaluation of atmospheric corrosion tests (Part 4). *Materials Performance*, 28, no. 1, 52-64.
- Dean, S.W. (1993) Classifying atmospheric corrosivity - A challenge for ISO. *Materials Performance*, 32, no. 10, 53-58.
- Ericsson, R., Haagenrud, S.E. and Henriksen, J.F. (1982) Simultaneous measurements of corrosivity and environment on different parts of the automotive body. NACE Corrosion 85 Houston USA.
- Fossestøl, B. (1988) Saltmålinger på Kårstø. Lillestrøm (NILU OR 9/88).
- Glomsrød, S., Godal, O., Henriksen, J.F., Haagenrud, S.E. and Skancke, T. (1996) Air pollution – impacts and values. Corrosion costs of building materials and cars in Norway. Oslo (Statens forurensningstilsyn. Rapport 96:03. TA-1311E/1996).
- Glomsrød, S. og Rosland, A. (1989) Luftforurensning og materialskader: samfunnsøkonomiske kostnader. Oslo, Statistisk sentralbyrå (Rapport 88/31).
- Gram, F. (1972) Program MULREG. Kjeller (NILU TR 22/72).

- Hanssen, J.E., Henriksen, J.F. og Pedersen, U. (1993) Lokale kilder og fordeling av NH₃ i en norsk dal – Bøverdalen. I: *Tilførsel og virkninger av lufttransporterte forurensninger (TVLF): Forskning og overvåkning*. Sammendrag av foredrag og postere fra møte på Olavsgaard Hotell 2.-3. desember 1991. F. Stordal og I. Fløisand, red. Lillestrøm (NILU OR 26/93).
- Haagenrud, S.E. (1973) Steinforvitring Nidarosdomen. Kjeller (NILU OR 57/73).
- Haagenrud, S.E. (1976) Miljø- og korrosjonsmålinger ved posefilteranlegg Fiskaa verk. Lillestrøm (NILU OR 30/76).
- Haagenrud, S.E. (1980) Atmospheric corrosion of zinc as measured by an electrochemical technique. *Werkstoffe u. Korrosion*, 31, 543-550.
- Haagenrud, S.E. (1997) Environmental characterisation including equipment for monitoring. CIB W80/RILEM 140-PSL. SubGroup 2 Report. Kjeller (NILU OR 27/97).
- Haagenrud, S.E., Henriksen, J.F., Anda, O., Rode, A. (1982) Atmosfærisk feltprøving av aluminiumlegeringer. Lillestrøm (NILU OR 34/82).
- Haagenrud, S.E., Henriksen, J.F., Danielsen, T. and Rode, A. (1984A) An electrochemical technique for measurements of time of wetness. Lillestrøm (NILU TR 17/84).
- Haagenrud, S.E., Henriksen, J.F. og Gram, F. (1984B) Basisundersøkelse av luftkvaliteten i Sarpsborg og Fredrikstad 1981-1983. Delrapport B: Korrosjon og miljø. Lillestrøm (NILU OR 28/84).
- Haagenrud, S.E., Henriksen, J.F. og Rode, A. (1983) Videreutvikling av elektrokjemisk teknikk for kontinuerlig registrering av atmosfærisk korrosjonshastighet og våttid. Lillestrøm (NILU OR 33/83).
- Haagenrud, S.E., Henriksen, J.F. and Wyzisk, R. (1985) Electrochemical characteristics of the NILU (SCI) atmospheric corrosion monitor. In: *Corrosion 85*. Boston USA,. NACE. Paper no. 83.
- Haagenrud, S.E., Rode, A. og Anda, O. (1979) Korrosjonsdata samt klimatologiske og kjemiske data for perioden juli 1973 t.o.m. september 1978 fra NILUs 9 korrosjonsteststasjoner. Lillestrøm (NILU TR 5/79).
- Haagenrud, S.E., Veit, J., Eriksson, B. and Henriksen, J.F. (1998) EU-project ENV4-CT95-0110 Wood-Assess. Project Deliverable no. 5. Final report. Kjeller (NILU OR 40/98).
- He Langwan, Tian Kai and Henriksen, J.F. (1999) Field test report in the Guangzhou area. Task 6-2 Materials damage assessment Guangzhou. Guangzhou, GRIEP (Technical/Task report B1).

- Henriksen, J.F. (1985) Tiltak etter brann i Frogner Telesentral. Lillestrøm (NILU OR 58/85).
- Henriksen, J.F. (1987) Tiltak etter brann ved Tandberg Data, Skårer. Lillestrøm (NILU OR 16/87).
- Henriksen, J.F. (1990) Frogner Telesentral - tilstand 4 år etter brannen i sentralen. Lillestrøm (NILU OR 2/90).
- Henriksen, J.F. (1994A), EU 446 EUROCORE CAREBUILD - Miljømålinger rundt Hamar domkirkeruin. Lillestrøm (NILU OR 4/94).
- Henriksen, J.F. (1994B) Dry deposition on stone surfaces: preliminary Norwegian results from an EEC-STEP project. In: *International symposium on conservation of monuments in the Mediterranean basin, 3. Venice 1994. Proceedings*. Ed. by V. Fassina, H. Ott and F. Zezza. Venezia, Soprintendenza. pp. 189-193.
- Henriksen, J.F. (1995) Reactions of gases on calcareous stones under dry conditions in field and laboratory studies. *Water, Air, Soil Pollut.*, 85, 2707-2712.
- Henriksen, J.F. og Anda, O. (1998) Elektrisk sveising i kjelleren på Tandberg Data. Kjeller (NILU OR 64/98).
- Henriksen, J.F. and Anda, O. (2000) Evaluation of decay of painted systems for steel after 1 and 2 years of exposure (1997-1999). Kjeller (UN/ECE International co-operative programme on effects on materials, including historic and cultural monuments. Report no. 39) Kjeller (NILU OR 39/2000).
- Henriksen, J.F., Anda, O., Bartonova, A., Arnesen, K. and Elvedal, U. (1998A) Evaluation of decay of painted systems for wood, steel and galvanized steel after 8 years exposure. Kjeller (UN/ECE International co-operative programme on effects on materials, including historic and cultural monuments. Report no. 25) (NILU OR 42/98).
- Henriksen, J.F., Anda, O. and Ofstad, T. (2001) Case study of "Kristiania Kvadraturen" in Oslo. Kjeller (NILU OR 26/2001).
- Henriksen, J.F., Bartonova, A., Anda, O. and Rode, A. (1992A) Evaluation of decay of painted systems for wood, steel and galvanized steel after 1 and 2 years exposure. Lillestrøm (UN/ECE International co-operative programme on effects on materials, including historic and cultural monuments. Report no. 7) (NILU OR 41/92).
- Henriksen, J.F., Bartonova, A. og Ofstad, T. (1989) Utvendige bygningsmaterialer i Sarpsborg – mengder og nedbrytning. Lillestrøm (NILU OR 80/89).

- Henriksen, J.F., Dugstad, A., Davidsen, T. og Kristiansen, R. (1986) Miljø 82. Kartlegging av miljø og beleggdannelse i seks telesentraller 1982-85, Sluttrapport. Lillestrøm (NILU OR 73/86).
- Henriksen, J. F. and Fossetøl, B. (1989) Corrosion by SO₂ in Sulitjelma, a copper mining town in Norway. In: *11th Scandinavian Congress, Stavanger 1989. Proceedings*. Stavanger, Høgskolesenteret i Rogaland, 1989. Paper F48.
- Henriksen, J.F. and Haagenrud, S.E. (1994) The EUREKA project EU 615 EURO CARE WETCORR. Report from the NBS-MK seminar at ABB Conference Centre, Billingstad, 24 November 1993. Lillestrøm (NILU OR 37/94).
- Henriksen, J.F., Haagenrud, S.E. and Anda, O. (1983) Forvitring av stein og mulig effekt av luftforurensninger. Lillestrøm (NILU OR 40/83).
- Henriksen, J.F., Haagenrud, S.E., Eriksson, B., Norén, J., Klopfer, R., Häusler, J. and Elvedal, U. (1998B) EU-project ENV4-CT95-0110 Wood-Assess, Project deliverable no.8-Final report WP3: Mapping of environmental risk factors on meso and micro scale. Kjeller (NILU OR 44/98).
- Henriksen, J.F., Haagenrud, S.E. and Gram, F. (1981) Innvirkning av påbud av lavsvovlig olje på atmosfæriske korrosjonskostnader. Lillestrøm (NILU OR 17/81).
- Henriksen, J. F., Haagenrud, S.E. and Gram, F. (1985) Conservation and restoration of monuments part B – Multiple regression analysis between deterioration of calcareous stones and environmental variables. Lillestrøm (NILU OR 34/85).
- Henriksen, J.F., Hienonen, R., Imrell, T., Leygraf, C., and Sjögren, L. (1991) Corrosion of electronics. A Handbook based on experiences from a Nordic research project. Stockholm, Korrosionsinstituttet (Korrosionsinstituttet. Bulletin 102).
- Henriksen, J.F. and Mikhailov, A.A. (1997) Atmospheric corrosion tests along the Norwegian-Russian border. Part II. Kjeller (NILU OR 37/97).
- Henriksen, J.F. and Mikhailov, A.A. (2001) Corrosion in SO₂-polluted cold climate atmospheres in Northern Norway and at the border between Norway and Russia. In: *2001 NACE Conference "Shining a Northern Light on Corrosion"* Anchorage, Alaska 24 February-1 March, 2001. Conference proceedings. Paper CldCli10.
- Henriksen, J.F., Mikhailov, A.A. and Mikhailovski, Y. (1992B) Atmospheric corrosion tests along the Norwegian-Russian border. Lillestrøm (NILU OR 54/92).

- Krigsvoll, G. and Henriksen, J.F. (2000) MMWood Deliverable D04.02 Technical report on ERFM. Oslo, NBI.
- Kucera, V., Henriksen, J.F., Knotkova, D. and Sjöström, C. (1993) Model for calculations of corrosion cost caused by air pollution and its application in three cities. Progress in the understanding and prevention of corrosion. In: *10th European Corrosion Congress, Barcelona 1993*. Ed.by J.M. Costa and A.D. Mercer. London, Institute of Materials. Vol. 1, pp. 24-32.
- Kucera, V. and Mattsson, E. (1974) Electrochemical technique for determination of the instantaneous rate of atmospheric corrosion. In: *Corrosion in national environments*. Philadelphia, Pa. American Society for Testing of Materials, (ASTM STP 558) pp. 239-260.
- Kucera, V., Tidblad, J., Henriksen, J.F., Bartonova, A. and Mikhailov, A.A. (1995) Statistical analysis of 4-year materials exposure and acceptable deterioration and pollution levels. Stockholm, Swedish Corrosion Institute (UN/ECE International co-operative programme on effects on materials including historic and cultural monuments. Report no. 18).
- Ofstad, T.(1991) Utpøving av beisemetoder for metaller. Lillestrøm (NILU TR 1/91).
- Ofstad, T. (2000) NILUs feltstasjoner for korrosjon. Miljø- og korrosjonsmålinger 1996-1998. Datarapport. Kjeller (NILU OR 31/00).
- Refsnæs, S. og Anda, O. (1987) Korrosjon i marin atmosfære. Trondheim (EFI-TR nr. 3408).
- Rode, A. og Henriksen, J.F. (1992) Innledende forsøk med malte våttidsceller. Lillestrøm (NILU TR 9/92).
- Sinclair, J.D. (1982) Paper extraction for sampling inorganic salts on surfaces. *Anal. Chem.*, 54, 1529-1533.
- Tian Kai, He Langwan, Krigsvoll, G. og Henriksen, J.F. (1999) Building materials pollution cost in Guangzhou. NORAD Project CHN 013. Guangzhou, GRIEP (Technical/Task report B3).
- Tidblad, J., Kucera, V. and Mikhailov, A.A. (1997) Statistical analysis of 8 year material exposure and acceptable deterioration and pollution levels. Stockholm, Swedish Corrosion Institute. (UN/ECE International co-operative programme on effects on materials).
- Tomashov, N.D., Berukshtis, G.K. and Lokotilov, A.A. (1956) *Zavodskaiia Laboratoriaa*, 22, pp. 345-349.
- Veit, J., Haagenrud, SE., Eriksson, B., Henriksen, J.F., Norén, J., Dahlin, E., Mohn Jenssen, K., Klopfer, R., Krigsvoll, G., Nielsen, G.B. and Andreassen, V. (1998A) EU-project ENV4-CT95-0110 Wood-Assess. Project deliverable

no. 6 - Final report WP1: Development of prototype of PC-based assessment protocol. Kjeller (NILU OR 45/98).

Veit, J., Haagenrud, S.E., Eriksson, B., Henriksen, J.F., Norén, J., Dahlin, E., Mohn Jenssen, K., Klopfer, R., Krigsvoll, G., Nielsen, G.B. and Andreassen, V. (1998B) EU-project ENV4-CT95-0110 Wood-Assess. Project deliverable no. 6 - Final report WP1: Development of prototype of PC-based assessment protocol appendices. Kjeller (NILU OR 41/98).

Standardreferanser:

ISO:

ISO (1982A) Paints and varnishes – Evaluation and degradation of paint coatings – Designation of intensity, quantity and size of common types of defect –Part 1: General principles of rating schemes. (ISO 4628-1:1982).

ISO (1982B) Paints and varnishes – Evaluation and degradation of paint coatings – Designation of intensity, quantity and size of common types of defect –Part 2: Designation of degree of blistering. (ISO 4628-2:1982).

ISO (1982C) Paints and varnishes – Evaluation and degradation of paint coatings – Designation of intensity, quantity and size of common types of defect –Part 3: Designation of degree of rusting. (ISO 4628-3:1982).

ISO (1982D) Paints and varnishes – Evaluation and degradation of paint coatings – Designation of intensity, quantity and size of common types of defect –Part 4: Designation of degree of cracking. (ISO 4628-4:1982).

ISO (1982E) Paints and varnishes – Evaluation and degradation of paint coatings – Designation of intensity, quantity and size of common types of defect –Part 5: Designation of degree of flaking. (ISO 4628-5:1982).

ISO (1990) Paints and varnishes – Evaluation and degradation of paint coatings – Designation of intensity, quantity and size of common types of defect –Part 6: Rating of degree of chalking by tape method. (ISO 4628-6:1990).

ISO (1991) Corrosion of metals and alloys – Removal of corrosion products from corrosion test specimens. (ISO 8407:1991).

ISO (1992) Paints and varnishes – Cross-cut test. (ISO 240:1992).

ISO (1992A) Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Classification (ISO 9223:1992).

ISO (1992B) Corrosion of metals and alloys – Corrosion of atmospheres – Guiding values for corrosivity categories (ISO 9224:1992).

ISO (1992C) Corrosion of metals and alloys – Corrosion of atmospheres – Measurement of pollution (ISO 9225:1992).

ISO (1992D) Corrosion of metals and alloys – Corrosion of atmospheres – Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity (ISO 9226:1992).

ISO (1993) Paints and varnishes – Standard panels for testing. (ISO 1514:1993).

ISO (1994) Paints and varnishes – Determination of specular gloss of nonmetallic paint films at 20 degrees, 60 degrees and 85 degrees. (ISO 2813:1994).

ISO (1995) Metals and alloys – Atmospheric corrosion testing – General requirements for field testing (ISO 8565:1995).

ISO (1998) Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems. Part 2: Classification of environments (ISO 12944-2:1998).

ISO (2002) Paints and varnishes – Pull-off test for adhesion. (ISO 4624:2002).

ASTM:

ASTM (1986C) Standard test method for evaluating degree of chalking of exterior paints. (D 659-86). (Discontinued 1989) Replaced by D4214.

ASTM (1987D) Single- and multi-panel forms for recording results of exposure tests of paints. (D 1150-55; reapproved 1987). (Discontinued 1991). No replacement.

ASTM (1995) Standard test method of evaluating degree of surface disfigurement of paint films by microbial (fungal or algal) growth or soil and dirt accumulation. (D 3274-95).

ASTM (1998) Standard guide for determining the presence of and removing microbial (fungal or algal) growth on paint and related coatings. (D 4610-98).

ASTM (1998) Standard test method for evaluating degree of chalking of exterior paint films. (D 4214-98).

ASTM (1999) Standard guide for examination and evaluation of pitting corrosion. (G 46-94).

ASTM (2000) Standard test method for evaluating degree of chalking of exterior paints. (D 660-93).

ASTM (2000) Standard test method for evaluation of painted or coated specimens subjected to corrosive environments. (D 1654-92).

ASTM (2000) Standard test method for evaluating degree of erosion of exterior paints. (D 662 – 93).

ASTM (2000) Standard test method for evaluating degree of flaking (scaling) of exterior paints. (D 772-86).

ASTM (2000) Standard test method for evaluating degree of cracking of exterior paints. (D 661-93).

ASTM (2000) Standard test method for evaluating degree of blistering of paints. (D 714-87).

ASTM (2000) Standard test method for quantifying dirt collection on coated exterior panels. (D 3719-00).

ASTM (2001) Standard test method for evaluating degree of rusting on painted steel surfaces. (D 610-01).

Svensk Standard (SS):

SIS (1969) Färg og lack. Bedømning av kritningsgrad hos utenomhusfärg. (SIS 18 41 97).

SS (1991) Färg og lack - Användning av provpaneler med avsiktligt gjord skada i beläggningen för utvärdering av korrosionskyddförmåga. (SS 18 42 19).

Norsk Standard (NS):

NS (1988) Mur- og pussmørtler – Prøving – Kornfordeling i tilslagsmaterialer. (NS 3102).

Andre standarder

ISA(1986) Environmental conditions for process measurements and control systems: airborne contaminants. (ANSI/ISA-S71.04-1985).

DEF-STAN (1955) Test 3: Corrosion acid (DEF-STAN 07-55).

Vedlegg A
Aerosolfellen

Aerosolfellen

Materialer nedbrytes av de forurensningene som når overflaten. Prinsipielt er det derfor avsetningen på overflatene som en bør måle i stedet for konsentrasjonen i luft. For partikler er målemetoden ofte av stor betydning. Ved NILU har en derfor vært interessert i målinger med bruk av en aerosolfelle i stedet for konsentrasjonsmålinger for partikler.

NILU har utført egne måleforsøk med aerosolfellen for optimalisering og dokumentasjon av prøveutstyret (Anda, 1979 og 1981). Fellen er for øvrig brukt i en rekke prosjekter hvor målsettingen hovedsakelig har vært å se på forholdet mellom sjøsaltdrift og korrosjon. (Anda, O. 1982 og 1983; Anda, O. og Haagenrud, S.E., 1984; Fossetøl, B. 1988 og Anda, O. 1997)

Behandlingen av aerosolfellefilter i laboratorium med analyse foreligger som egen NILU-prosedyre, 1994 (Prøvetaking og analyse av partikler i luft med NILU aerosolfelle-prøvetaker).

Her følger en beskrivelse av aerosolfellen og dens bruk (engelsk versjon):

NILU aerosol trap for the determination of dry deposition rate of chloride in marine- type atmospheric environments.

1. Scope and field of application

This description specifies a method for the determination of dry deposition rate of chloride in marine-type of atmospheric environment. The method may also be used in rural and urban/industrial environments, provided deposition of interfering compounds is small compared to chloride, or where the samples can be also analysed for the interfering compounds. However, little testing of the method has been done in other environments than coastal areas. In such marine environments there is found for example a better correlation between steel corrosion and amounts of chloride by using the NILU aerosol trap than with other devices for chloride measurements.

2. General principals

A rain-protected wetted filter paper of known surface area is exposed horizontally for a specified period of time. The amount of chloride deposited is determined after the exposure of chemical analysis. From the analytical results, the deposition rate is calculated in mg chloride per m² per 24 hours (day).

3. Sampling apparatus

The sampling apparatus consist of an aerosol "trap" (AT) and a telescoping stand shown in the Figure A1.

The important part of the trap is a filter paper substrate (such as Whatman 40 or 41), 125 mm diameter. It rests on a plastic disc, 10 mm below a larger rain shield.

Telescope stand

The AT is attached to a vertical telescope stand. The stand has a clamping lever, for adjusting the height of the trap, and a wedge base that is driven directly into the ground. Alternately the trap could also be attached to a cross-footed base.

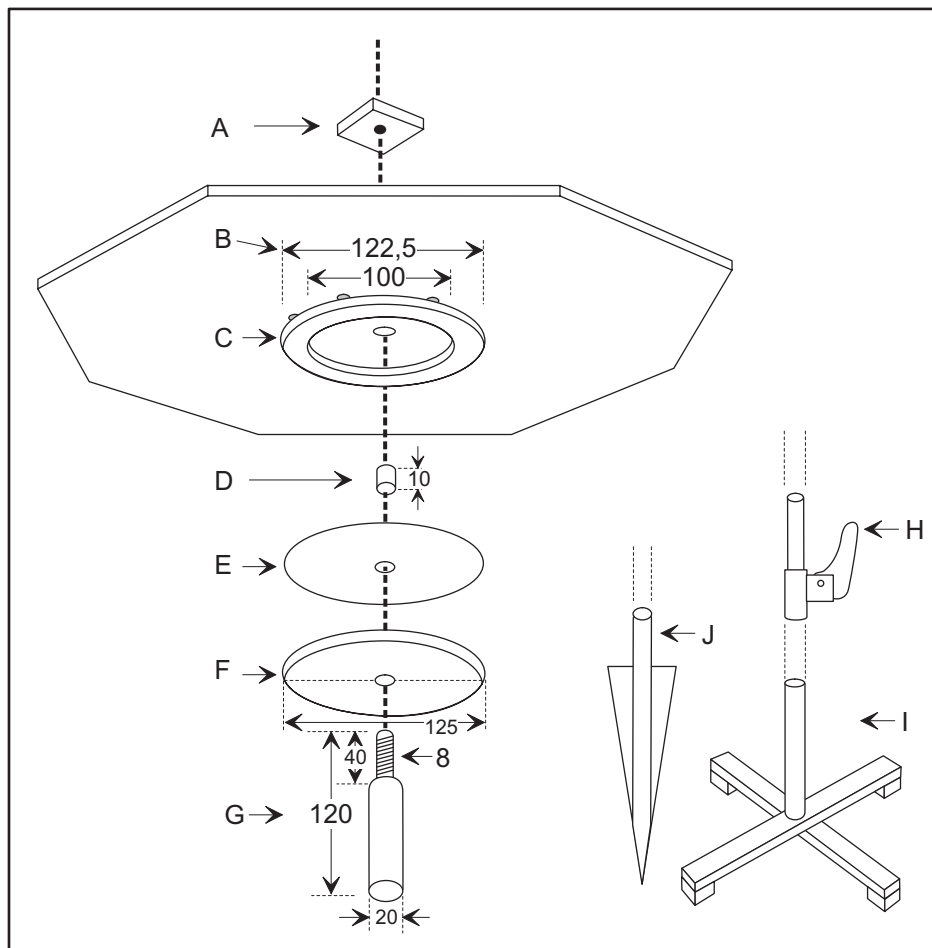


Figure A1: Design of the Aerosol trap

4. Sampling procedure

4.1 Setting up the AT (refer to Figure A1)

The AT assembly is normally placed in an open unsheltered area, with its base securely anchored to the ground. Placing the filter substrate (E) onto the plastic support disc, inserting the coupling piece (G) and tightening the screw-down piece (A) on top of the rain shield (B) assembles the trap. The assembled trap is then secured to the stand (H), and adjusted to desired height (about 2 m above the ground).

4.2 Filter substrate change

Normally the filter paper is changed monthly. The filters are transported to and from the sampling site in clean plastic bags. Before installation in the trap and exposure to the atmosphere, the substrate are soaked in 5% glycerol solution, to avoid drying out during the sampling period. The exposed filter is first folded in the middle (with the exposed side inside) and then placed in the plastic bag. The bag must be clearly labelled giving, (a) name of site, (b) number of trap, (c) dates of start and end of exposure. The exposed filters are returned to the laboratory for treatment and chemical analysis.

5. Chloride analysis

5.1 Procedure

It is necessary to analyse several unexposed filters (from the same batch) to determine average chloride blank for adjusting the measured chloride content of the exposed filter substrates.

It may be noted that in locations relative unaffected by anthropogenic air pollutants, such as coastal areas, it may be advantageous to measure magnesium, particularly when chloride levels are low. Generally filter substrates have much lower Mg blanks and the sensitivity of analytical methods for Mg is higher than for Cl. The corresponding Cl amounts are then obtained from the sea salt ratio: $Mg/Cl = 1/15$.

5.2 Substrate treatment

The exposed (and blank) filters are treated in the following way:

- the outer portion and some of the central area (under spacer) are removed to leave
ca 75 cm² of filter;
- the filter is extracted with 100 ml of distilled water by shaking for 40 minutes;
- the extract is then filtered through the same filter type as used for substrate;
- An aliquot of the filtrate is used for the analysis.

5.3 Calculation of results

The test results shall be expressed as chloride deposition rate, mg chloride per m² per 24 hrs, calculated according to:

$$Cl \text{ deposition rate} = K/d \times 13,33$$

where: K = chloride concentration in filtrate (µg/ml)
d = duration (length) of exposure (days)

Details of the aerosol trap and stand given in Figure A1.

A: Screw- down piece (threaded plastic plate);

B: Hexagonal or circular rain shield (aluminium, painted white), about 400 mm across flats, or 450 mm in circular diameter, and 3 mm thick. It has a central hole to accept the threaded top of the coupling piece (G).

C: Substrate clamping ring (polycarbonate), 1mm thick, with 6 spacers (9 mm long pieces of plastic pipe), screwed on to rain shield (B) with machine screws;

D: Centre spacer (10 mm long piece of plastic pipe for supporting rain shield (B) and clamping the central portion of the substrate (E);

E: Trap substrate (cellulose filter, e.g. Whatman 40 or 41; 125 mm in diameter, with central hole, 7 mm in diameter.

F: Substrate support disc (polycarbonate) 5 mm thick, with a central hole to accept the threaded top of the coupling piece (G).

G: Coupling piece (aluminium) ca 120 mm long, the 40 mm top part is threaded to match the screw-down piece (A); the ca 80 mm long bottom portion has a hollow recess, and a set-screw to accept and clamp on to the extension tube of the stand;

H: Telescoping stand (carbon steel), with can lever, to adjust and clamp the extension tube/trap assembly at the desired height above the ground;

I: Cross-footed base (wood), for level ground installation; needs stones, sandbags etc. for weighing down;

J: Ground wedge (painted steel), alternative for I.

Vedlegg B
Beisevæsker

Følgende beisevæsker har vært benyttet av NILU for beising av prøveplater (Ofstad, 1991):

Stål og støpejern: Antimonoksid, Sb_2O_3 : 20g + tinnklorid, SnCl_2 : 20g. Dette løses i konsentrert saltsyre til 1 liter (Clarks løsning). Beisingen skjer ved 20 °C til oksidene er fjernet, vanligvis 15-20 min. (ASTM-prosedyre).

Sink: Kromtrioksid, CrO_3 : 200g + bariumkromat, BaCrO_4 : 1g. Dette løses i vann til 1 liter. Beisingen skjer ved 80 °C i 1 min. (ASTM-prosedyre).

Aluminium: Fosforsyre (ca. 85%): 50 ml + kromtrioksid, CrO_3 : 20g. Dette løses i vann til 1 liter. Beisingen skjer ved 90-95 °C i 5 til 10 minutter. Dersom korrosjonsproduktene ikke blir fjernet helt på denne måte fortsetter man med beising i ca. 65% salpetersyre ved 20 til 25 °C i 1 til 5 minutter. (ISO-prosedyre).

Kobber: 1 del konsentrert svovelsyre til 10 deler vann. Beisingen skjer ved romtemperatur i 3 minutter. Lett skrubbing om nødvendig. (ASTM-prosedyre).

For beising av tråd ved bruk av tråd-på-bolt anvendes følgende prosedyrer (Engen et al., 1980):

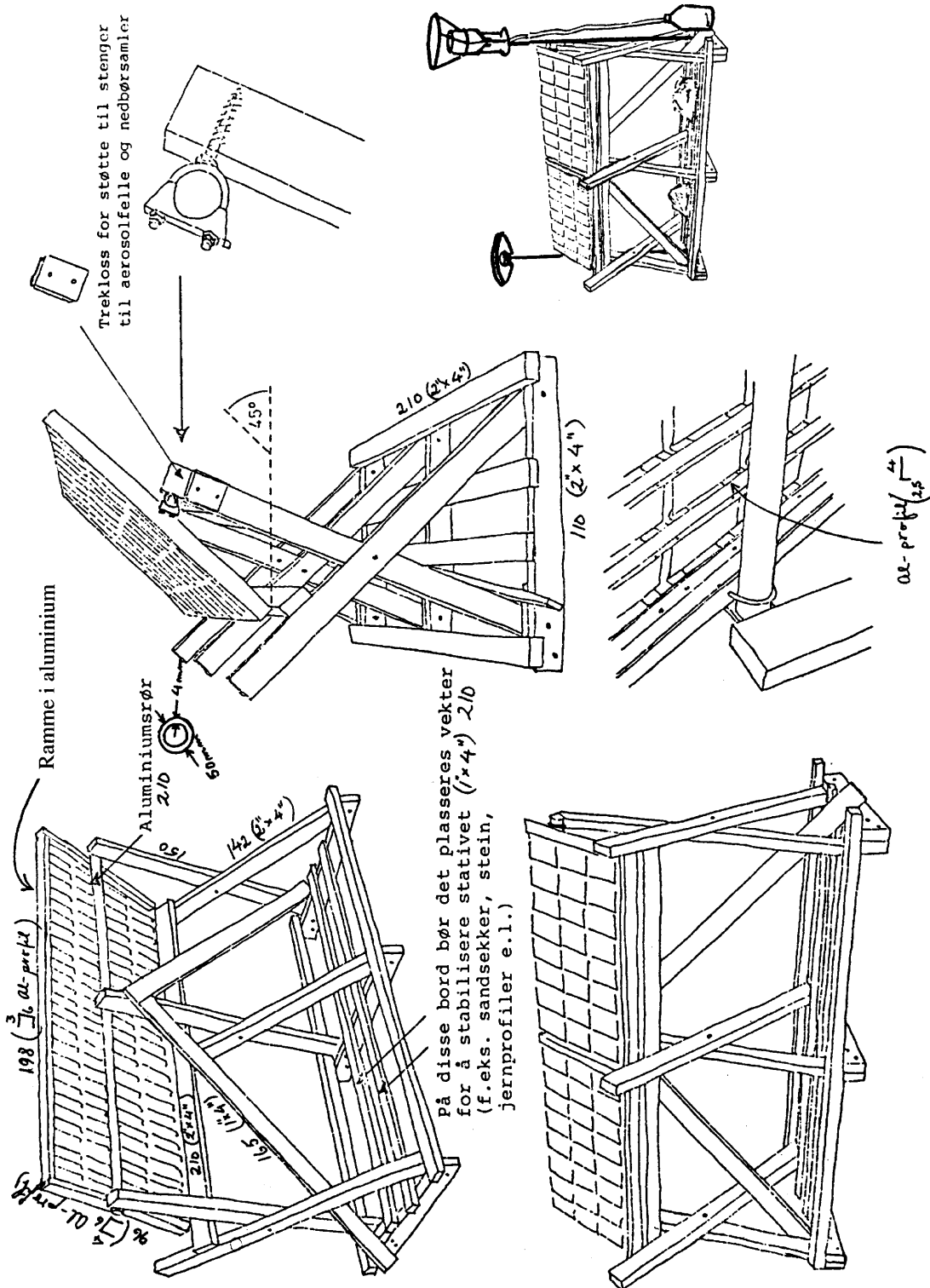
Stål: , Sb_2O_3 : 20g + SnCl_2 : 50g. Tilsett konsentrert saltsyre til 1 liter. Beisetid: ca. 5 min.

Sink: Mettet ammoniumacetat, $\text{CH}_3\text{COONH}_4$. Beisetid: ca. 2 min.

Aluminium: Fosforsyre: 35 ml + CrO_3 : 20 g. Beisetid: ca. 10 min.

Vedlegg C

Skisse over korrosjonsstativ



Vedlegg D

Eksempler på evalueringsskjemaer

D1. Evalueringsskjemaer

Eksempler på evalueringsskjemaer som er brukt ved evaluering av prøver av metall (med riss) med eller uten beskyttelsessystem samt malt tre ved eksponering i ulike utemiljøer.

Skjema 1: Enkelt skjema til bruk ved feltevaluering (ref. Jotun AS).

Skjema 2: Skjema brukt til evaluering av malte stålplater med riss (Haagenrud et al., 1981).

Skjema 3: Forenklet skjema som kan anvendes i felt (Anda, 1991).

Skjema 4: Et spesielt evalueringsskjema hvor man bl.a. sammenlikner to ulike parametere for almen tilstand, i tabellen kalt "tilstand" og "skadegrad". (Anda, 2001B).

Skjema 5: Skjemaet ble brukt i det tidligere omtalte PROWOOD-prosjektet til evaluering av malte trepaneler (både til felt- og laboratoriebruk).

Skjema 6: Evalueringsskjema for felt og laboratorium brukt i det tidligere omtalte ECE-prosjektet. Eksponeringen omfattet malte stålplater med riss.

Skjema 7: Skjema fra ECE-prosjektet beregnet for laboratoriebruk.

Skjema 1



UTENDØRSEKSPONERING

Prøve nr.:
 Produkt :
 Eksp.sted: Dato ut: Dato inn:
 Underlag :

Karakterskala: 0-10 (10 best)

- | | |
|-------------------------|----------------------------|
| 10 = uforandret | 4 = sterk endring (dårlig) |
| 8 = noe endring | 2 = meget sterk endring |
| 6 = betraktelig endring | 0 = totalt ødelagt |

Dato avlest:	Gen. utseende	Kritting	Sopp	Sprekke dannelse	Avskalling	Gjennomblødning	Slitasje	Dirt pickup	Glansendring

Skjema 2 EVALUERING ETTER 3 1/2-ÅRS FELTEKSPONERING

STASJON: BORREGAARD

TOPPSTRØKTYPE: Vinyl (1 og 3 strøk) m/ulike underlag (farge: grå)

1	2	3	4	5	6	Merknader (m/ref. til kolonne)
		Blærer (ASTM D1)	Skadeutbredelse (mm)	Rust i riss		
B14	(N)	N	4A 2A		2-2.5	2: Blærer i nederkant 6MD. Har stort sett sprukket og flasset av ganske mye
B15	N	N	3A 1A		1.5-2	
B21	(N)	N	0		1	2: Med lupe synlige krakkelerte blærer i nederste kant. Fllers lite maling på en del metalltopper.
B22	(N)	N	0		1	2: Godt synlige sprukne blærer i nedre kant-rand. Mye mindre av dette på ene plate.
B28	N	N	0		0	2: Den ru overflate samler lett opp skitt
B29 (og B29I) 1,	N	(N)	0		1.5-2	3: Krakkeleringer langs riss og kanter som bare er ordentlig synlig med lupe. For B29I kan dette såvidt sees med øye.
D37	(N)	N	< 1R		2	2: Noen meget få gjennombrudte rust-flekker (lupe). Litt mer på baksiden.
D38 (og D38I) 2,	N	N	< 1R		1.5	2: Ruster lett i kanter og skader. 4: Malingen oppbøyd noe i riss
D44	N	N	< 1R		1	2: Litt skader etter tørking
D45	N	N	1R		1.5	2: Flaker lett i kantskader
ES1	(9M)	N	1R		2.5	2: Sprukne blærer. Særlig nedre del. Må ses med lupe. Vanskelig å definere. Blir lett rust i skader.
ES2	N	N	2R		1.5-2	2: Oppstår lett rust og flaking i kantskader. 4: Malingen oppbøyd i riss.
ES7	N	N	1R		2	4: Meget sterk korr. i skader og riss, og sterk oppbøying av malingen.

KOMMENTARER: 1, B29I og D38I er eksponert i 2 1/2 år. 2, D38I er svært lik D38, men rustingen i risset har ikke kommet fullt så langt.

Forklaring til skjema 2. Evaluering i laboratoriet

Kolonne 2 angir tilstanden på testplatens overflate i området upåvirket av riss. Det er anvendt bl.a. ASTM's standard for malingblærers størrelse og tetthet gradert 2-4-6-8 (ASTM D714). 2 representerer de store blærer og 8 de små. Dessuten har en introdusert graden 9 for blærer som er så små at de best sees med lupe. Ved hjelp av bokstavene F(få), M(middel), MD(middels tett) og D (tett) angis tettheten av blærene. Alt er referert til standard fotografier. Foruten dette har en benyttet følgende forkortelser og symboler:

- N : Ingen blærer
 R : Rustflekker
 b : Relativt små blæredannelser som vanskelig lar seg beskrive av ASTM-Std.
 dH : Dårlig heft. Malingen løsner fra underlaget. Det er her ikke medregnet flaking fra riss, kanter eller skader.
 m : Missfarging
 () : En parentes vil bety at symbolet er befengt med noe tvil, eller at det behøver en nærmere forklaring.










OBS: Kolonne 2 bør aldri leses isolert, men i sammenheng med kolonne 4 og 6.

Kolonne 3 benytter de samme symboler som kolonne 2. Det kan være vanskelig å benytte ASTM standarden når risset fordi blærene ofte berører selve risskanten og således mister sin form. Det kan også være problematisk å skille mellom egentlige blærer og ujevn underrusting fra risset.

Kolonne 4 angir hvor mange mm fra nærmeste rissekant (max.verdi) malingen er fjernet, enten pga. underrusting eller avflaking. Den gir nødvendigvis ikke tilstrekkelig informasjon om eventuell heftsvikt. Det bør imidlertid gå frem av skadegradstallet i kolonne 6.

A står her for avflaking og R for underrusting, begge som forklaring på skaden i risset.

Kolonne 5 gir informasjon om utbredelsen og graden av rusting i risset, med følgende symboler:

	lite	} Ubetydelig korrosjon. Gir seg gjerne utslag i et lyst og løst brunlig pulveraktig støv som dekker rissebunnen mer eller mindre.
	ca 1/4 risseteareal	
	hele risseteareal	
	lite	} Fast rust med vanlig brun farge, men relativt tynt lag, ikke "kakeaktig".
	ca 1/4 risseteareal	
	hele risseteareal	
	lite	} Kraftig rustangrep som gir tykke rustlag, gjerne i kaker. Det kan være stor gradsforskjell innen denne kategori.
	ca 1/4 risseteareal	
	hele risseteareal	

En må ellers bemerke til vurderingen av rustangrepet i risset at kvaliteten på selve rissingen er sterkt variabel. Det er ganske klart at i flere tilfeller har rissingen ikke nådd helt ned til ståloverflaten, og i andre tilfeller bare delvis. Dette umuliggjør et helt ut rettfærdig utsagn om rustangrepet i risset. En har likevel valgt å betrakte risset som om det var helt gjennomrisset med de usikkerheter dette medfører.

Kolonne 6 gir skadegrad basert på en totalvurdering gradert fra 0 til 4. Se tabell 9 i hovedrapport. Standardene er vist i figur 1. Skadegradstallet skal gi en avurdering av metallbeleggets eller malingbeleggets.

Merknader: Denne kolonnen gir supplerende opplysning til de øvrige kolonner. Tallene angir hvilke kolonner det refereres til.

Skjema 3

Evaluerings skjema for de malte systemer på Borregaard. Kolonne 4 angir skadeutbredelse. En har her målt bredden av skadens utbredelse på begge sider av risset slik at selve rissets bredde også er inkludert. Rissets bredde skal opprinnelig være 1 mm, men er i noen tilfeller slipt opp igjen siden. Bredden kan derfor variere ganske mye. 0 vil her bety at risset er tilnærmet upåvirket. I kolonne 5 er angitt rustdekningen i risset. 0 betegner intet eller ubetydlig med rust, r betyr lite, og R vil si at hele risset er dekket med rust. Rust i store mengder i form av tykke lag forekom ikke.

1	2	3	4	5	6	7
SYSTEM	TILSTAND UTENFOR RISS	TILSTANDEN VED OG I RISS			SKADE GRAD 1991	DIV. MED FIG. REF.
		SKADETYPE	UTB. (mm)	RUST		
B10	Underliggende maling kan ses. Sorte pigmenter stikker frem	Sprøhet. Avflaking	15	0	1,5-2	
B12	Sprø og avflaking langs kantene, ellers fin	Avflaking	-20	R	2	
B16	Heftsvikt i nedre kant på en plate. Generelt fin men matt.	Heftsvikt	30-35	R	1,5-2	
B17	Fin. Underliggende maling skinner igjennom		0	0	1	
B18	Sprukket småblærer avslører ZnO. Rust i kantene	Sprøhet. Avflaking	5	0	2	
B19	Fin	Sprøhet. Avflaking	8	0	1-1,5	En plate vurdert da den andre var skadet. Fig. 8
B21	Sprukket småblærer avdekker ZnO	Sprøhet. Avflaking	4	0	1,5	Fig. 8
B22	Litt småblærer som har sprukket på toppene. Gjennomslag av mønne	Sprøhet. Avflaking	8	0	1,5	Fig. 8
B24	Underliggende maling kan ses. Sorte pigmenter stikker frem	Litt sprø	0-5	0	1-1,5	Fig. 8
B25	Fin. Litt sort flekket.		0	0	0,5-(1)	Fig. 6
B26	Små krakkeleringstendenser	Oppsprekking	10	0	1,5	
B30	Litt småblærer, sprukket på toppen, særlig under riss. Ellers bra	Noe blæret	10	0	1,5	Mattet utseende

Skjema 4

Tabell: 6a Borregaard. Evaluering etter ca. 24 år. Malingsystemene er sortert etter toppstrøk

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Syst.	Underlag	Topppstrøk	1.Siltasje	2.Oksidgj.	3.Rust/riss	4.Avfl./riss	5.Kartskade	Tilstand	Efter ca. 24 år	Merknader
B10	vZn	3 Alkyd	2		1	1		4	Skadegrad	
B17	vZn	3	2		1			2	2,5 - 3 1)	Baksiden tilnærmet intakt
B24	I/Al	3	2			(1)		2,5	2,5 - 3 1)	Baksiden tilnærmet intakt
D33	Zn m	2	2		2	(2)		5	3	Litt rustflekker på en plate. Mørk rundt riss
E47	Zn shopp.	3	2		2	2		6	3	Mørk rundt riss. Sentrale deler OK
E54	Etsp.	3	2		2	(2)		5	3	Mørk rundt riss. Sentrale deler OK
B12		3 KK	2		2	2		6	3 - 3,5	Bra i sentrale deler
B18		1	2		(2)	1		6	3	
B19		3			1	1		3	2 2)	
B25		1	2					2	3 1)	Virker spettet pga. gjenværende pigment
B26		3		(2)*		(2)		2	2	*) Små blærer som har sprukket
D35		3			2	2		6	2,5 - 3	Bra i sentrale deler
D41	v Zn m	1	(2)	1*)	2	2		8	3 - 3,5	*) Rustgjennomslag
D42		3		(2)	2	(2)		5	2	
E49		3			2	2		7	2,5	
B16		3 U			2	2		8	3,5	Avflating, særlig under riss (reduserer tilstand). Sopp
B23		3			2	2				
B30		3		*)	(2)	(2)*		4	2,5	*) Blæredannelser. Sopp
B21		1 V	2				(2)	3	3 2)	
B22		3	2	(2)		1		5	3,5 2)	Mønjeunderlaget kom frem. Baksiden hadde sopp
D44		1	2*)	2	2	(2)		9	3,5	*) Lyst spettet utseende
D45		3	2		2	2		7	3,5	Mønjeunderlaget kom frem.
E52		3	2*)		2	2		8	3,5	*) En plate mindre slitt. Mønjeunderlaget kom frem
E57		3	2		2	2		8	3,5	Mønjeunderlaget kom frem

1) Behov for vedlikehold pga. jevn siltasje av toppstrøket. For øvrig er det ubetydelig eller ingen skade å se, og underliggende stål er intakt.

2) Relativt store skader har her oppstått i større eller mindre deler av malingsystemet. Underliggende stål er imidlertid fremdeles godt beskyttet pga. sink eller aluminium eller oksider av disse.

KK=Klorokautsjuk maling, PU=polyuretan maling, V=vinyll maling

Underlagsbehandling før toppstrøk:

vZn=varmeforsinket uttett stål

I/Al=flammesprøytet sink på uttett stål

Zn m=sinkrike maling

Zn shopp=sinkrik epoxy shopprimer

Etsp.=Etsprimer

Skjema 6

EVALUATION OF PANELS EXPOSED IN FIELD

TYPE OF MATERIALS: _____ EXPOSURE PERIOD: _____

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
COUNTRY	SITE-NO.	GEN APPEARANCE	DIRT	CHALKING	FUNGUS	FLAKING	CRACKING	CHECKING			DAMAGE LOCATED IN AND NEAR CUT				GLOSS				ADHESION	NOTES		
											TYPE OF DAMAGE			DAMAGE AREA	W= WASHED		U= UNWASHED					
											B/b	F/f	RUST IN CUT		FRONT	BACK	FRONT	BACK				
CS	1																					
	2																					
	3																					
FIN	4																					
	5																					
	6																					
FRG	7																					
	8																					
	9																					
	10																					
	11																					
	12																					
ITA	13																					
	14																					
	15																					
	16																					
NL	17																					
	18																					
	19																					
	20																					
NOR	21																					
	22																					
	23																					
SWE	24																					
	25																					

Skjema 7

Eksponeringsperiode: Eval. dato:

St. nr.	Land	Lokalitet	Mottatt	Blærer		Foli- form ²⁾	Løst i risse- kant	Smuss	Spes. Ten	Spes. matt	Fallert skrift	Event. merk. til baksiden	Diverse ³⁾
				5mm ¹⁾	ASTM								
01	Czech Republic	Prague-Bech.	x										
03	Czech Republic	Kopisty	x										
05	Finland	Ahtari	x										
07	Germany	Waldhof Langenbr.	x										
09 ^{mark 08}	Germany	Langenfeld	x										
10	Germany	Bottrop	x										
13	Italy	Rome	x										
14	Italy	Casaccia	x										
15	Italy	Milan	x										
16	Italy	Venice	x										
21	Norway	Oslo	x										
23	Norway	Birkenes	x										
24	Sweden	Stockholm South	x										
26	Sweden	Aspvreten	x										
27	Unit. Kingdom	Lincoln Cathedral	x										
31	Spain	Madrid	x										
33	Spain	Toledo	x										
34	Russia	Moscow	x										
35	Estonia	Lahemaa	x										
36	Portugal	Lisbon	x										
37	Canada	Dorset	x										
40	France	Paris	x										
41	Germany	Berlin	x										
42	Greece	Athens	x										
43	Israel	Tel Aviv	x										
44	Norway	Svanvik	x										
45	Switzerland	Chaumont	x										
46	Unit. Kingdom	London	x										
47	USA	Los Angeles	x										
49	Belgium	Antwerpen	x										

1) Ved konvertering til ASTM beregnes først tilnærmet den en-sidige skadeutbredelse ved formel: $mm - 1 / 2$. Deretter brukes ASTM-tabellen.

2) Oppgitt i mm dersom utbredelsen bar gjelder en side (merket med eksponent 1). Er utbredelsen to-sidig (merket med eksponent 2) viser tallet: $\Sigma mm-1$.

3) s=påvist en del sopp. S=mye eller svært mye sopp. B=store blærer ved riss. R=rustavrenning. Generell gjelder: X=klart påvist. XX=svært markert påvisning.



Norsk institutt for luftforskning (NILU)

Postboks 100, N-2027 Kjeller

RAPPORTTYPE TEKNISK RAPPORT	RAPPORT NR. TR 4/2002	ISBN 82-425-1353-8 ISSN 0807-7185	
DATO	ANSV. SIGN.	ANT. SIDER 102	PRIS NOK 150,-
TITTEL Materialstudier ved NILU En oversikt over resultater og metoder for perioden 1973-2001		PROSJEKTLEDER Jan F. Henriksen	
		NILU PROSJEKT NR. E-101051	
FORFATTER(E) Odd Anda og Jan F. Henriksen		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAKSGIVERS REF.	
OPPDRAKSGIVER Norsk institutt for luftforskning			
STIKKORD Korrosjon	Feltprøving	Dose-respons	
REFERAT Rapporten omfatter de prosjekter og undersøkelser som er gjennomført gjennom perioden 1973–2001. En har spesielt tatt hensyn til arbeid hvor en enten har kommet frem til ligninger som beskriver miljøets virkning på materialer og hva det vil bety for materialers og konstruksjoners levetid. Det er lagt spesiell vekt på ligninger som vil være anvendbare i modeller som er utviklet for materialer, som CorrCost-modellen. Viktige materialområder hvor en mener at NILUs kompetanse er spesielt viktig er også tatt med. I tillegg til prosjektresultater har det vært viktig å sammenfatte de spesielle teknikker som er anvendt ved materialforskningen på NILU. Disse teknikkene omfatter en beskrivelse av metoder for eksponering av materialer i felt både ute og inne samt en omfattende beskrivelse av evalueringsmetodene som anvendes. For å lette senere arbeid på materialområdet har en sett det som viktig å gi så mange og så gode referanser til tidligere arbeidet som mulig. I tillegg til egne rapporter og publikasjoner så er det gitt en oversikt over alle internasjonale standarder som blir benyttet ved feltundersøkelser og evaluering av resultatene ved NILU.			
TITLE Material research at NILU – Results and methods obtained for the period 1973 to 2001			
ABSTRACT The report is a state of the art report of the studies and methods developed and used in the environmental impact research for materials at NILU. Particularly the results obtained and used in models like CorrCost have been important. An other important task has been to document the methods for exposure and evaluation of the field samples used. A thorough report list for the reported results have been given.			

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