

NILU
TEKNISK NOTAT NR 4 /78
REFERANSE: 00575
DATO: FEBRUAR 1978

ELEKTROKJEMISK METODE FOR ATMOSFÆRISK
KORTTIDSPRØVING AV SINK

AV

SVEIN ERIK HAAGENRUD

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM
NORGE

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1 SAMMENDRAG	5
2 INNLEDNING	6
3 MÅLINGER OG ANALYSER	6
3.1 Prøvemateriale	6
3.2 Elektrokjemisk metodikk	6
3.3 Klimaskap	8
4 RESULTATER OG DISKUSJON	9
4.1 Eksponering i klimaskap	9
4.1.1 1 ukes eksponering i simulert industriatmosfære	9
4.1.2 Enfaktorforsøk - 1 måneds eksponering i simulert landatmosfære	11
4.1.3 Konklusjon - eksponering i klimaskap	12
4.2 Uteeksponering	13
4.2.1 Borregaard - industriatmosfære	13
4.2.2 Birkenes - landatmosfære med sur nedbør	14
4.2.3 Konklusjoner - uteeksponering	17
4.3 Eksponering i industrianlegg	17
4.3.1 Miljømålinger	18
4.3.2 Korrosjonsmålinger	18
4.3.3 Konklusjoner - industrianlegg	20
LITTERATUR	20
VEDLEGG, A tabeller, B figurer	23

ELEKTROKJEMISK METODE FOR ATMOSFÆRISK KORTTIDSPRØVING AV SINK

1 SAMMENDRAG

Innvirkningen av ulike konstruksjonsfaktorer på funksjonen av elektrokjemiske Zn/Zn-celler er undersøkt ved eksponering av celler og vekttingsplater av ren sink - i klimaskap med simulert landatmosfære og industriatmosfære, utendørs i landatmosfære på Birkenes og i industriatmosfære på Borregaard, og i industrianlegg.

Ved alle de utførte forsøk er det en tendens til at ferske, elektrolytiske Zn/Zn-celler kortslutter (cellefaktor > 1). Kortslutningstendensen øker med forurensningsgraden, men celler med 0.5 mm platetykkelse, 0.3 mm plateavstand og 100 mV påtrykt spenning har vist seg funksjonsdyktig under alle forhold, med en cellefaktor på 0.02 til 0.05.

Ved foreksponering av cellene i klimaskap eller utendørs avtar kortslutningstendensen, og samtlige foreksponerte Zn/Zn-celler med 0.2 og 0.3 mm plateavstand har fungert tilfredstillende både ved eksponering i klimaskap og i industrianlegg. Cellefaktoren for cellene med 0.2 mm er ikke konstant, men har ligget i området 0.01 til 0.33, mens cellefaktoren for cellen med 0.3 mm har vært 0.08 i industrianlegg.

De benyttede prøveprogrammer i klimaskap har vist seg å gi en realistisk simulering av korrosjonsmiljøet ved eksponeringer i henholdsvis landatmosfære og industriatmosfære.

2 INNLEDNING

Sammarbeidsprosjektet "Atmosfærisk korrosjon med spesiell hensyn til forholdene på bygninger" som går i regi av NORDFORSK, omfatter flere delprosjekter. Ett av disse er delprosjekt 3.1 "Videreutvikling av den elektrokjemiske teknikken for atmosfæriske korrosjonsundersøkelser". I prosjektet deltar Norsk institutt for luftforskning (NILU) og Korrosionsinstituttet (KI), og hovedmålet er å undersøke de ulike konstruksjonsfaktorens innvirkning på funksjonen av de elektrokjemiske cellene (1). KI har undersøkt celler av stål, Cor-ten stål og kobber, mens NILU har undersøkt celler av sink og aluminium.

Undersøkelsene av sink- og aluminiumceller presenteres i to adskilte rapporter. Undersøkelsen av aluminiumcellene, hvor NILU har fått økonomisk støtte både fra Årdal og Sunndal Verk (ÅSV) og fra Skanaluminium, er presentert i NILU OR 3/78 (2), mens undersøkelsene av sinkcellene presenteres i den foreliggende rapport.

3 MÅLINGER OG ANALYSER

3.1 Prøvemateriale

Ved alle undersøkelsene innenfor dette delprosjektet er det benyttet prøver av ren sink uttatt fra samme chargé. Analysene og standardprosedyrer for fjerning av korrosjonsprodukter er vist i tabell 1. Både plater og celler er slipt med papir 320 mesh, skyllet i sprit og lufttørret.

3.2 Elektrokjemisk metodikk

Metoden bygger på måling av strømmen i elektrokjemiske eller galvaniske celler som kan sies å være modeller av de

korrosjonsceller som opptrer på metalloverflaten ved atmosfærisk korrosjon.

Måleutstyret for den elektrokjemiske metodikken er vist i figur 1. Utstyret består av en elektrokjemisk målecelle og en strømintegrator.

Cellen består av parallelle plater av samme metall, eller av ulike metaller dersom cellen er galvanisk. Platenes dimensjoner kan variere, men er som oftest 1 x 32 x 15 mm, og de er isolert fra hverandre med en 100-400 μm tykk plastfolie. Arealet er 6.4 cm^2 . Annen hver plate i cellen er parallellkoblet, og det ene settet av 10 plater fungerer som anode og det andre settet som katode. Hele cellen er innstøpt i epoxyplast, og slipt på en side, slik at platenes tverrsnitt utgjør eksponeringsflaten. Elektrolytten utgjøres av den fuktfilm som oppstår på overflaten under eksponeringen.

En ytre elektromotorisk kraft påtrykkes anoden og katoden, og strømmen gjennom cellen registreres enten kontinuerlig av et nullmotstands-ampere-meter, eller akkumuleres ved hjelp av en spesielt utviklet strømintegrator. Spenningskilden, ampere-meteret og strømintegratoren er innebygget i ett instrument.

Strømintegratoren integrerer strømmen i to separate integrasjonsområder, ett "vått" og ett "tørt" område. Integratoren har automatisk omskiftning mellom disse to områdene. I de foreliggende forsøk har 1 μA vært benyttet som grense mellom "tørt" og "vått" område. Integratoren har også et telleverk som registrerer den tiden strømmen har oversteget denne grenseverdien. Denne tiden kalles ofte "våttiden" og er en viktig korrosjonsparameter. Tekniske data og mer detaljerte beskrivelser av metoden er gitt av Kucera (1).

Cellestrømmen uttrykker forskjellen i korrosjon på anoden og katoden, og utgjør derfor kun en del av den totale korrosjonen. Den reelle korrosjonen måles som vekttapet av samtidig eksponerte plater. Cellestrømmengden kan omregnes til vekttap ved hjelp av Faradays lover, og forholdet mellom beregnet og reelt vekttap uttrykkes derfor ved en såkalt kvantitativ cellefaktor K.

$$K = \frac{\text{strømmengde} \cdot \text{atomvekt}}{\text{Faradays tall} \cdot \text{areal} \cdot \text{reelt vekttap (plater)}}$$

For stål har det vist seg at den kvantitative cellefaktoren vanligvis ligger mellom 0.02 - 0.10 (2-10%). Disse variasjoner er blant annet betinget av cellekonstruksjonen (1).

3.3 Klimaskap

Klimaskapet er av type Feutron 3001 (figur 2). Skapet har indirekte varmeregulering, og temperatur og relativ fuktighet kan reguleres automatisk etter ønsket program, henholdsvis mellom -25 og + 90°C og innenfor ca 10-100% relativ fuktighet.

Skapet er modifisert slik at SO₂ kan doseres i realistiske konsentrasjoner. Konsentrasjonen i skapet bestemmes kontinuerlig med Picoflux type Hartmann/Braun, og reguleres automatisk (figur 3).

Det er utviklet en regnanordning som tillater automatisk dosering av regnvær med ønsket intensitet og varighet. Doseringen skjer gjennom et perforert rør og ved å regulere pumpehastigheten kan regnintensiteten kontrolleres i området 0.5 - 10 mm /time.

Det benyttede prøveprogram som skal simulere forurenset industriatmosfære er vist i figur 4. Hver prøvesyklus består av 48 timer, og hvert forsøk går over 7 døgn. Hver syklus består av 3 tørrperioder og 2 kondensperioder á 4 timers varighet, 30 minutter regn med pH 4.2 og intensitet ca 1 mm/time, og en tørrperiode

å 27½ times varighet ved 30% relativ fuktighet og temperatur 20°C. Kondens på prøvene frambringes ved hurtig heving av temperaturen i skapet til 40°C, mens den relative fuktigheten er 92%. SO₂-nivået holdes tilnærmet enten lik 3 pphm (80 µg/m²) eller 10 pphm (280 µg/m³) ±10% under forsøkene.

4 RESULTATER OG DISKUSJON

4.1 Eksponering i klimaskap

4.1.1 1 ukes eksponering i simulert industriatmosfære

Resultatene er vist i tabell 2 og 3 og figur 5 for prøving ved 80 µg SO₂/m³, og i tabellene 4 og 5 og figur 6 for prøving ved 280 µg SO₂/m³. For prøvingen ved 80 µg/m³ er det kun ett forsøk, mens det ved 280 µg/m³ er to forsøk for cellene 54, 55, 59, 62 og 63, og tre forsøk for cellene 66, 68 og 69.

Vekttapsmålinger

Både ved 80 og 280 µg SO₂/m³ er spredningen for vekttapsmålingene over 100%. Ved 280 µg/m³ er imidlertid 3 av de 6 verdiene tilnærmet like. Vekttapene ved 280 µg/m³ er i gjennomsnitt ca 3 ganger så høye som ved 80 µg/m³.

Sammenlikning med uteeksponeringsforsøkene (4.2.1) viser at vekttapene ved 1 ukes eksponering i klimaskap er fra 2 til 4 ganger lavere enn ved 1 måneds uteeksponering på Borregaard.

Cellemålinger

Det er en klar tendens til at Zn/Zn-cellene ofte "kortsletter". Dette kommer til uttrykk ved at cellestrømmen blir "unormalt høy", gjerne vesentlig over 100 µA, mens den "normale" cellestrømmen gjerne er < 10 µA.

Cellens registrerte strømmengde i slike "kortslutningsepisoder" er ikke reell. Dette viser seg ved å sammenlikne de beregnede vekttapene fra cellen med vekttapene av samtidig eksponerte plater. Den kvantitative cellefaktoren blir da nemlig >1 (tabell 2 og 3).

Cellen kan være "kortslettet" for kortere eller lengre perioder, og kan komme tilbake til normal drift igjen. Eksempel på en slik kortvarig "kortslutning" har en for f.eks. celle 55 ved $80 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ (tabell 3). Etter å ha gitt en middelstrøm på $100 \mu\text{A}$ blir cellestrømmen $< 10 \mu\text{A}$ senere. Selv denne episoden utgjør 75% av den totale strømmengden i løpet av uken, og den får derfor avgjørende betydning for cellefaktoren ($>>1$).

De fleste cellene viser ved ett eller flere forsøk slike kortslutningstendenser. Dette medfører derfor stor variasjon i cellefaktorene, og umuliggjør egentlig noen kvantitativ vurdering av cellefaktorenes avhengighet av konstruksjonsfaktorene.

Forholdene med kortslutning har også vært observert under uteeksponering (4.2). Undersøkelser på Birkenes viste at slike kortslutningsepisoder ofte sammentraff med forurensningsepisoder som ga en sterkt sur overflatefilm på cellene. Etter regnvær kom cellene gjerne tilbake til normal drift igjen (3). En har antatt at kortslutningen skyldes dannelsen av en eller annen elektronledende overflatefilm (3).

Også i de foreliggende forsøk er det en klar tendens til at kortslutningstendensen øker ved økende forurensningsnivå. Ved $80 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ har 5 av cellene cellefaktor < 1 , mens kun cellen med 0.3 mm mellomlegg og 100 mV påtrykt spenning fungerer ved $280 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$.

Plateavstand

Sammenlikning av celle 54, 62 og 66 viser at det ved 100 mV påtrykt spenning og 80 $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ ikke er noen entydig sammenheng mellom cellefaktoren og økende plateavstand. Ved 280 $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ er det kun celle 66 med 0.3 mm plateavstand som fungerer i alle tre forsøkene, mens celle 62 med 0.2 mm avstand fungerer i ett av forsøkene, og celle 54 med 0.1 mm avstand er kortsluttet i begge forsøkene.

Med 200-og 300 mV påtrykt spenning er alle cellene kortsluttet ved 280 $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$, mens cellefaktoren ved 80 $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ viser en avtagende tendens med økende platetykkelse, slik at celle 66 med 0.3 mm plateavstand har cellefaktor < 1 . Ved 300 mV og 80 $\mu\text{g SO}_2$ har cellen med 0.1 mm avstand cellefaktor 0.39, mens cellen med 0.3 mm har kortsluttet. Dette virker tilfeldig.

Påtrykt spenning

Både ved 80 og 280 $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ er det en klar tendens til økende grad av kortslutning med økende påtrykt spenning over 100 mV.

4.1.2 Enfaktor forsøk - 1 måneds eksponering i simulert landatmosfære

Under delprosjekt 1.1 - Enfaktorforsøk på laboratoriet, har NILU undersøkt korrosjonseffekten på ulegert stål og sink av ulike sulfatkonsentrasjoner (1-10 mg SO_4/l) og surhetsgraden (pH 5.7 - pH 3.7) i nedbøren. Målingene som er gjort både med ferske materialprøver og med prøver foreksponert 1, 3 og 12 mndr i landatmosfære på Ryda, er utført i klimaskap som 4 ukers forsøk. Korrosjonshastigheten er bestemt både ved vekttalesmålinger og målinger med elektrokjemiske celler (4).

Her skal bare gjengis kort de resultater som har direkte tilknytning til det foreliggende prosjekt.

Figur 7 viser de benyttede prøveprogrammer for simulering av eksponering i landatmosfære med store mengder sur nedbør, som f.eks. Birkenes. Resultatene for sink er vist i tabell 6. Alle de elektrokjemiske cellene har hatt 0.5 mm platetykkelse. Cellene uten foreksponering har hatt 0.1 mm plateavstand, mens de som er foreksponert på Ryda har hatt 0.2 mm avstand. Påtrykt spenning for alle cellene har vært 100 mV.

Som det framgår av tabell 6 er det også under disse eksponeringsforhold en klar tendens til kortslutning av cellene med 0.1 mm plateavstand. Det er ingen tendens til at kortslutningstendensen øker med f. eks. nedbørens surhetsgrad. For ikke-kortsluttede celler er cellefaktoren fra 0.2 til 0.38 med 5 av de 6 verdiene mellom 0.2 og 0.17.

For cellene med 0.2 mm mellomlegg foreksponert i landatmosfære på Ryda er det ingen kortslutning. Her er cellefaktoren avtagende fra 0.07 etter 1 måneds foreksponering til 0.01 etter 12 måneders foreksponering.

4.1.3 Konklusjon - eksponering i klimaskap

1. Ved eksponering i simulert landatmosfære og simulert industriatmosfære i klimaskap er det en klar tendens til at de elektrokjemiske Zn/Zn-cellene kortslutter (cellefaktor > 1). Kortslutningstendensen øker med økende forurensningsnivå, økende påtrykt spenning over 100 mV og avtagende plateavstand.
2. Cellen med 0.5 mm platetykkelse, 0.3 mm plateavstand og 100 mV påtrykt spenning har vist seg funksjonsdyktig under alle de utførte forsøk. Den har en kvantitativ cellefaktor på 0.02 ved 280 $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$.

3. Foreksponerte celler med 0.2 mm plateavstand har vist seg funksjonsdyktige ved 1 måneds eksponering i simulert landatmosfære med en cellefaktor på 0.07 for 1 måneds foreksponering og 0.01 for 12 måneders foreksponering.
4. De benyttede prøveprogrammer har vist seg å gi en realistisk simulering av korrosjonsforholdene ved kortvarige eksponeringer i henholdsvis landatmosfære og industriatmosfære.

4.2 Uteeksponering

4.2.1 Borregaard - industriatmosfære

Eksponeringene har foregått månedsvis i mars, april og juli -76, og resultatene er vist i tabellene 7 til 10 og figur 8.

Vekttapsmålinger

Vekttapsmålingene viser at korrosjonen er ganske forskjellig i de 3 månedene, den er lavest i juli (2.26 g/m^2) og høyest i april (6.38 g/m^2). Vekttapene er noe større enn ved en ukes eksponering i klimaskap (middelverdi 1.4 g/m^2 , tabell 4).

Cellemålinger

Månedsmiddelverdiene for SO_2 for de 3 månedene har vært henholdsvis 62, 58 og $63 \text{ } \mu\text{g/m}^3$, eller omtrent det samme som ved den laveste konsentrasjonen i klimaskap (5).

Under månedseksponering i industriatmosfære på Borregaard er tendensen til kortslutning enda større enn i klimaskap.

Ved $80 \text{ } \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ i klimaskap var det kun cellene med påtrykt spenning $> 100 \text{ mV}$ som fikk permanent kortslutning.

På Borregaard har bare celle nr 67 med 0.3 mm mellomlegg og 100 mV påtrykt spenning fungert tilfredstillende. Cellefaktoren for denne har i juli måned vært 0.05 eller av samme størrelsesorden som i klimaskap. I denne måneden har maksimal midlere cellestrøm vært 5.14 μ A. I april derimot har cellefaktoren for tilsvarende celle vært tilnærmet 100% (nr 66). Denne cellen har i 2 døgn hatt en midlere maksimal strømstyrke på 56.2 μ A, mens den i de resterende døgn har hatt maksimalt 7.52 μ A i midlere strømstyrke (tabell 10). Hvorvidt dette er "kortslutningstendenser" er vanskelig å avgjøre, men strømmengden i disse to døgnene utgjør 87% av den totale strømmengden for måneden.

4.2.2 Birkenes - landatmosfære med sur nedbør

Under delprosjekt 1.3: Bestemmelse av korrosjonen under korte forurensningsepisoder utendørs, har NILU utført korrosjonsmålinger og miljømålinger på målestasjonen Birkenes på Sørlandet, for å undersøke innvirkningen av langtransporterte forurensninger på korrosjonen av de vanligste bruksmetaller (3).

Målingene har blant annet omfattet bestemmelse av korrosjonen av sink på døgnbasis ved kontinuerlig registrering og integrering av strømmen i elektrokjemiske Zn/Zn-celler. Måledataene er også analysert ved hjelp av regnemaskin for å bestemme sammenhengen mellom korrosjonshastighet og miljø. Enkelte av resultatene for den elektrokjemiske cellen skal her kort refereres (3).

Cellemålinger - funksjonsdyktighet/kortslutningseffekter

Målingene omfatter i alt 524 døgnverdier for de to periodene 1975-03-01 til 1975-08-15 og 1975-11-06 til 1976-10-27 (3). Cellene som er benyttet har 0.5 mm platetykkelse, 0.1 mm plateavstand og påtrykt spenning 100 mV.

Også ved eksponeringen på Birkenes har det av og til oppstått såkalte "kortslutningseffekter". Ved beregning av de kvantitative cellefaktorer og ved regresjonsanalysene har en tatt vekk alle

"kortslutningsdøgn", og grenseverdien er satt ved $3000 \cdot 10^{-4}$ C i våt strømmengde pr døgn. I de foreliggende målingene er i alt 25 av de 524 døgnene karakterisert som kortslutningsdøgn.

På Birkenes har det ellers vært karakteristisk at cellene etter kortslutning kommer tilbake til normal drift igjen av seg selv. To av de lengste kortslutningsepisodene har en kunnet forbinde med tilstedeværelsen av en sterkt sur, svovelforurenset overflatefilm på cellene. Dette fører til oppløsning av den beskyttende overflatefilmen av sinkoksyd/basisk sinkkarbonat og sterk korrosjon. Etter kortvarige regnskyll med avvaskning av sinkoverflaten har kortslutningen opphørt, og cellene har kommet tilbake til normal drift igjen (3).

Kvantitativ cellefaktor - månedlige vekttap fra samtidig eksponerte vektplater og elektrolytisk celle

Resultatene er vist i tabell 11 og figur 9. De eksponerte vektplatene har samme areal som cellen (6.4 m^2), og er tildekket på baksiden.

Månedskorrosjonen for ferske suksessivt eksponerte plater er vesentlig større enn månedskorrosjonen for kontinuerlig eksponerte plater. Tallene er henholdsvis 3.4 g/m^2 og 0.83 g/m^2 (middelerdi). Dette skyldes trolig at det tar en tid før det dannes en viss beskyttende oksydfilm.

Det er ingen jevnt stigende korrosjon. I flere av månedene er det sogar vært "negativ" korrosjon (figur 9). Den tilsynelatende negative korrosjonen skyldes trolig både en viss oksyddannelse, og tilfeldigheter på grunn av den dårlige reproduserbarheten man ofte har for sink.

Zn/Zn-cellen har vært suksessivt eksponert i den første måleperioden, og kontinuerlig eksponert i den andre måleperioden. For kontinuerlig eksponering viser cellen en mer jevnt økende korrosjon fra måned til måned enn vektplatene (figur 9). For

de noe mer korrosive månedene som desember, september og oktober følger vektplatene og cellene hverandre godt, mens vektplatenes meget høye korrosjon i startmåneden ikke registreres i tilsvarende grad på cellen. Vekttapet for platene i de elleve månedene fra desember 1975 til oktober 1976 er 6.2 g/m^2 , mens det beregnede vekttapet for cellen er 3.9 g/m^2 . I den første måneden, november 1975, er platens vekttap 3.8 g/m^2 , mens cellens beregnede er 0.8 g/m^3 .

Disse forhold kan tyde på at vektforandringer forbundet med oppløsning/dannelse av en oksydfilm på overflaten ikke kommer til uttrykk i cellestrømmen.

Den kvantitative cellefaktoren viser et jevnt stigende forløp fra 0.2 etter en måned til 0.47 etter 12 måneder (tabell 11). Middelveidien for de fire kvartalene er henholdsvis 0.24, 0.32, 0.40 og 0.49 med en middelveidie for hele perioden på 0.36.

Fordi begynnelseskorrosjonen ikke reflekteres i tilsvarende grad av cellen er det sannsynlig at de reelle cellefaktorene egentlig er høyere og også mer konstante enn det som fremkommer. Ser en bort fra den første måneden blir cellefaktoren lik 0.62 for hele 11-måneders perioden.

Den kvantitative cellefaktoren for kontinuerlig eksponert celle mot suksessive vekttap er således klart lavere, nemlig 0.05-0.22. Den viser heller ikke noe jevnt stigende forløp.

Regresjonsanalyser - sammenheng med miljø

Her henvises i hovedsak til rapport for delprosjekt 1.3. Som en sammenfatning kan en si at målingene viste at våttiden målt med elektrokjemisk Zn/Zn-celle var godt korrelert med fuktighets-, temperatur- og nedbørparametre. Korrosjonen målt som totalstrømmengde var meget godt korrelert med våttiden. Når en så bort fra våttiden var totalstrømmengden best korrelert med temperatur-, fuktighets- og nedbørkjemiske parametre.

4.2.3 Konklusjoner - uteeksponering

1. I industriatmosfære på Borregaard er det en sterk tendens til kortslutning av Zn/Zn-cellen. Den eneste cellen som har fungert tilfredstillende er cellen med 0.3 mm plateavstand og 100 mV påtrykt spenning, med en cellefaktor på 0.05.
2. For målingene på Birkenes har den elektrokjemiske Zn/Zn-cellen med 100 mV påtrykt spenning og 0.1 mm plateavstand vist "kortslutningseffekter" for i alt 25 av de 524 døgn målingene foregikk. Kortslutningene skyldes antageligvis spesielt aggressive korrosjonsforhold med en sterkt sur, svovelforurensset kondensfilm på overflaten. Under slike forhold dannes korrosjonsprodukter som antagelig er elektronledende. Avvasking av korrosjonsprodukter ved regnskyll får cellene til å fungere normalt igjen.
3. Fratrukket "kortslutningsepisodene" viser cellen en kvantitativ cellefaktor med samtidig eksponerte vektplater i området 0.2 - 0.5.
4. Regresjonsanalyse viser at våttiden og totalstrømmengde er bra korrelert med fuktighets-, temperatur- og nedbørparametre.

4.3 Eksponering i industrianlegg

Ved enkelte industrielle posefilteranlegg for rensing av støv fra avgass har det vært store korrosjonsproblemer ved korrugerte stålplater i vegg og tak (6,7). For å finne årsakene til korrosjonsproblemene har NILU på ett av disse anleggene foretatt miljømålinger (SO_2 , HCl, Cl_2 , temperatur og relativ fuktighet), og korrosjonsmålinger for stål og sink på i alt 5 målesteder. Korrosjonsmålingene ble foretatt både med vektplater og elektrokjemiske måleceller (6).

4.3.1 Miljømålinger

Miljømålingene viste at under drift var det meget høye SO₂- og HCl-konsentrasjoner innvendig på toppen av anlegget (henholdsvis ca 50 og 2 mg/m³). Temperaturen var ca 70^o og relativ fuktighet ca 10-12%. Utendørs var konsentrasjonene i størrelsesorden 0.1 mg SO₂/m³ og < 0.1 mg HCl/m³.

Prosessen er ute av drift opptil 4% av tiden, dvs opptil 4 timer hvert 4. døgn i gjennomsnitt. I denne perioden gjennomluftes hele anlegget, SO₂- og HCl-konsentrasjonene faller til under 0.1 mg/m³, mens temperatur og relativ fuktighet i anlegget blir som ute.

4.3.2 Korrosjonsmålinger

Resultatene av korrosjonsmålingene er vist i tabell 12 og i figurene 10, 11 og 12.

Korrosjonsmålingene pågikk i 10 døgn, og det ble benyttet både blanke og foreksponerte vektplater og celler av sink, og foreksponerte celler av stål. Foreksponeringen pågikk i 4 døgn i klimaskap med dosering av totalt 3 regnvær av 30 minutters varighet, og med surhetsgrad pH 3.5, 2 kondensperioder av 4 timer og resten tørrperioder ved 20^oC og 30% relativ fuktighet. Zn/Zn-cellene ved målested I (nr 59 og 60) hadde 0.2 mm plateavstand, mens cellen ved målested IV (nr 66) hadde 0.3 mm plateavstand.

Zn/Zn-cellenes funksjonsdyktighet/cellefaktor

Målingene viser at den ferske Zn/Zn-cellen med 0.2 mm plateavstand har kortsluttet ved målested I, mens den foreksponerte cellen med samme plateavstand har fungert tilfredstillende med en cellefaktor på 0.33. Ved målested IV ute har den foreksponerte cellen med 0.3 mm mellomlegg fungert tilfredstillende med en cellefaktor på 0.08. Denne cellefaktoren er av samme størrelsesorden som i eksponeringene på Borregaard (4.2.1).

Sammenlikningen av vekttapsmålingene og målingene med elektrolytiske celler viser at det har godt samsvar mellom de to typer av målinger både for stål og for sink (figur 10). Fe/Fe-cellene har cellefaktorer i området 0.02 til 0.05, og dette er i godt samsvar med andre undersøkelser (6).

Korrosjonens årsaksforhold

Korrosjonsmålingene viste at for sink var det generelt meget høy korrosjon, med ekstremt høy korrosjon på toppen av anlegget, hvor tykkelsesreduksjonen var 2.8 $\mu\text{m}/10$ døgn. For stål derimot var korrosjonen meget lav på toppen av anlegget, og på de andre stedene heller ikke høyere enn det man finner i småbyer.

Den ekstremt høye sinkkorrosjonen skyldes flere forhold. For det første vil det høye HCl innholdet gi kraftig korrosjon av sink med dannelse av meget hygroskopisk ZnCl_2 , som selv ved 10% relativ fuktighet gir nok fuktighet på overflaten til å underholde korrosjonen. Det høye SO_2 -innholdet vil ytterligere akselerere korrosjonen. Den største korrosjonen får en imidlertid ved stans i anlegget, hvor uteluft kommer inn og fuktigheten kan bli opp i 100%. Målinger med den elektrokjemiske Zn/Zn-cellen viste således at ca 50% av sinkkorrosjonen i løpet av 10 døgn skjedde mens anlegget var ute av drift noen timer fredag 22. oktober (figur 11).

Den lave stålkorrosjonen innendørs skyldes mangel på tilstrekkelig fuktighet til å underholde korrosjonen. Korrosjonsproduktene som dannes er heller ikke tilstrekkelig hygroskopiske. Utendørs er fuktigheten selvfølgelig høy nok, men bortsett fra i kantene på platene er ikke forurensningene høyere enn at korrosjonen blir den normale for by/industri-atmosfære.

De diskuterte forskjeller i fuktighetsforhold for stål og sink på de ulike målestedene fremgår av de forskjellige våttider.

registrert med de elektrolytiske cellene (tabell 12). Ved målested I er således våttiden for sink ca 6 ganger større enn for jern. For stål ser en også at våttiden øker mange ganger nedover i anlegget hvor temperaturen avtar og fuktigheten øker.

4.3.3 Konklusjoner - industriallegg

1. Elektrolytiske Fe/Fe - og Zn/Zn-celler som har vært foreksponert i klimaskap har vist seg velegnede til undersøkelse av korrosjonsforholdene i industriallegg med meget høyt forurensningsnivå. Ved målinger over 10 døgn har foreksponerte celler av sink med både 0.2 og 0.3 mm plateavstand fungert tilfredstillende, med cellefaktorer henholdsvis 0.33 og 0.08.

LITTERATUR

- (1) Kucera, W.,
Matsson, E. Electrochemical method for atmospheric corrosion testing of metals.
I: *7. Nordiske korrosjonsmøte*,
Trondheim, 1975, s. 202-217.
- (2) Haagenrud, S.E. Elektrokjemisk metode for atmosfærisk korttidsprøving av aluminium.
NILU OR nr 3/78, januar 1978.
- (3) Haagenrud, S.E. Bestemmelse av korrosjonen under korte forurensningsepisoder utendørs. NORDFORSK-prosjekt: Atmosfærisk korrosjon. Delprosjekt 1.3, Lillestrøm 1977 (NILU TN 14/77).
- (4) Haagenrud, S.E. Enfaktorforsøk på laboratoriet. NORDFORSK-prosjekt: Atmosfærisk korrosjon. Delprosjekt 1.1. Lillestrøm 1977 (NILU TN 15/77).
- (5) Haagenrud, S.E. Undersøkelser på feltstasjoner. NORDFORSK-prosjekt: Atmosfærisk korrosjon. Delprosjekt 1.2. Lillestrøm 1977 (Rapport under utarbeidelse).

(6) Haagenrud, S.E.

Miljø- og korrosjonsmålinger ved posefilteranlegg - Fiskaa Verk (NILU OR 30/76) Lillestrøm 1976.

(7) Haagenrud, S.E.

Vurdering av korrosjonsforholdene ved posefilteranlegg - Meraker Smelteverk. (NILU OR 26/77). Lillestrøm, oktober 1977.

VEDLEGG

A	TABELLER	1	TIL	12
B	FIGURER	1	TIL	12

Tabell 1: Sammensetning av sinkprøver (%) benyttet i de ulike eksponeringsprogrammer.

	<u>Fe</u>	<u>Cd</u>	<u>Ti</u>	<u>Ni</u>	<u>Cu</u>	<u>Pb</u>	<u>Al</u>
Ren sink	,008	<.0001	<.001	<.0005	.0007	.002	<.0005

PROSEDYRE FOR FJERNING AV KORROSJONSPRODUKTER:

Zn:	CrO ₃ , 200 g/l BaCrO ₄ , 1 g/l	80°C 1 min.
-----	--	----------------

Tabell 2: Resultat av 1 ukes utprøving av ulike elektrolytiske Zn/Zn-celler i klimaskap. Prøveprogram, figur 4, 80 µg/m³. Dato 3-10.5. 77.

Zn/Zn-celle nr	Plate-tykkelse (mm)	Plate-avstand (mm)	Påtrykt spenning mV	Våttid h	Middelverdi våt cellestrøm (µA)	Beregnet vektøst (g/m ²) I	Vektøst samtidig eksponerte vekt-plater g/m ² II	Cellefaktor I/II
54	0.5	0.1	100	14.01	9.7	0.382		0.69
55	0.5	0.1	200	19.62	21.0(>100µA)	1.393		>> 1
59	0.5	0.1	300	3.52	19.7	0.215		0.39
62	0.5	0.2	100	3.12	2.5	0.023	0.828	0.04
63	0.5	0.2	200	11.44	21.55(maks 86 µA)	0.817	0.281 0.554	> 1
66	0.5	0.3	100	22.76	4.0	0.144		0.26
68	0.5	0.3	200	18.03	11.3	0.444		0.80
69	0.5	0.3	300	25.98	57(>100µA)	3.687		>> 1

Tabell 3 fortsetter

ZN		KLIMA 66			STRØMMENGDE X 10-4 COUL			STRØMSTYRKE UA			BER. VEKT T T A P X 10-3 G/M2			Å K K V E K T T A P X 10-3 G/M2			O/O	VATTID	O/O	VAT
DATO	KL.	VATTID	VAT	TØRR	VAT	TØRR	VAT	TØRR	VAT	TØRR	TOTAL	VAT	TØRR	TOTAL						
30577	1030	0.00	0.	1	0.00	.001	0.00	.01	0.00	.01	.01	0.00	.00	0	0.00		0.00	0.00		
30577	1500	.95	57.	22.1	1.67	.036	3.02	1.17	4.18	3.0	4.18	3.0	1.2	4.2	4.22	71.94				
40577	900	.49	126.	1	7.14	.002	6.67	.00	6.67	9.7	6.67	9.7	1.2	10.9	6.00	89.14				
40577	1030	3.55	140.	46.2	1.10	.054	7.41	2.44	9.85	17.1	9.85	17.1	3.6	20.7	9.69	82.50				
50577	1400	2.17	197.	10.7	2.52	.018	10.42	.56	10.99	27.5	10.99	27.5	4.2	31.7	10.16	86.78				
60577	900	.55	119.	1	6.01	.002	6.30	.00	6.30	23.8	6.30	23.8	4.2	38.0	10.71	88.97				
60577	1030	6.10	598.	5.6	2.72	.007	31.63	.29	31.93	55.1	31.93	55.1	4.5	69.9	13.88	93.58				
70577	1400	2.54	385.	10.5	4.21	.017	20.37	.56	20.93	85.8	20.93	85.8	5.0	90.8	13.68	94.45				
80577	1000	.54	137.	0	7.05	0.000	7.25	.00	7.25	93.1	7.25	93.1	5.0	98.1	14.08	94.86				
80577	1030	3.20	339.	29.2	2.94	.033	17.93	1.54	19.48	111.0	19.48	111.0	6.6	117.6	13.62	94.40				
90577	1400	2.67	464.	17.8	5.04	.029	25.60	.94	26.54	136.6	26.54	136.6	7.5	144.1	13.63	94.78				
100577	930																			
SUM		22.76	2582.	142.3	4.04	.018	136.59	7.53	144.11	136.6	7.53	144.11	7.5	144.1						
* M I D D E L *																				

ZN		KLIMA 68			STRØMMENGDE X 10-4 COUL			STRØMSTYRKE UA			BER. VEKT T T A P X 10-3 G/M2			Å K K V E K T T A P X 10-3 G/M2			O/O	VATTID	O/O	VAT
DATO	KL.	VATTID	VAT	TØRR	VAT	TØRR	VAT	TØRR	VAT	TØRR	TOTAL	VAT	TØRR	TOTAL						
30577	1030	0.00	0.	1.6	0.00	.010	0.00	.08	0.00	.08	.08	0.00	.0	1	0.00	0.00				
30577	1500	1.80	174.	10.8	2.69	.019	9.20	.57	9.78	9.2	9.78	9.2	.7	9.9	8.00	93.34				
40577	900	.49	212.	3	12.02	.007	11.21	.01	11.23	20.1	11.23	20.1	.7	21.1	9.54	96.82				
40577	1030	1.19	43.	58.1	1.00	.061	2.27	3.07	5.35	22.7	5.35	22.7	3.7	26.4	6.78	89.84				
50577	1400	2.63	877.	8.0	9.26	.014	46.39	.42	46.81	69.1	46.81	69.1	4.2	73.3	8.67	94.32				
60577	900	.55	224.	3	11.31	.008	11.85	.01	11.86	80.9	11.86	80.9	4.2	85.1	9.25	95.09				
60577	1030	1.96	123.	22.1	1.74	.035	6.51	1.70	8.20	37.4	8.20	37.4	5.9	43.3	8.66	93.70				
70577	1400	2.73	2215.	11.6	22.54	.019	117.17	.61	117.79	204.6	117.79	204.6	6.5	211.1	9.50	96.93				
80577	1000	.54	354.	0	18.21	0.000	18.73	.00	18.73	223.3	18.73	223.3	6.5	229.8	9.91	97.18				
80577	1030	3.23	388.	27.9	3.34	.032	20.53	1.48	22.00	243.9	22.00	243.9	8.0	251.8	10.25	96.84				
90577	1400	2.91	3250.	30.6	31.02	.051	171.93	1.62	173.55	415.8	173.55	415.8	9.6	425.4	10.80	97.75				
100577	930																			
SUM		18.03	7860.	121.3	11.31	.023	415.79	9.59	425.38	415.8	9.59	425.38	9.6	425.4						
* M I D D E L *																				

ZN		KLIMA 69			STRØMMENGDE X 10-4 COUL			STRØMSTYRKE UA			BER. VEKT T T A P X 10-3 G/M2			Å K K V E K T T A P X 10-3 G/M2			O/O	VATTID	O/O	VAT
DATO	KL.	VATTID	VAT	TØRR	VAT	TØRR	VAT	TØRR	VAT	TØRR	TOTAL	VAT	TØRR	TOTAL						
30577	1030	0.00	0	1	0.00	.001	0.00	.01	0.00	.01	.01	0.00	.0	0	0.00	0.00				
30577	1500	1.45	159.	10.0	3.05	.017	8.41	.52	8.94	8.4	8.94	8.4	.5	8.9	6.44	94.05				
40577	900	.50	375.	0	20.83	.001	19.84	.00	19.84	28.2	19.84	28.2	.5	28.8	8.13	93.15				
40577	1030	.23	46.	5.4	5.56	.006	2.43	.29	2.72	30.7	2.72	30.7	.8	31.5	4.23	97.40				
50577	1400	9.17	28391.	6.1	56.00	.017	1501.88	.32	1502.21	1532.6	1502.21	1532.6	1.1	1533.7	16.10	99.93				
60577	900	1.41	4671.	0	22.02	.005	247.10	.00	247.10	1779.7	247.10	1779.7	1.1	1780.8	17.72	99.94				
60577	1030	4.19	13901.	1.4	22.16	.002	735.36	.07	735.44	2515.0	735.44	2515.0	1.2	2516.2	17.04	99.95				
70577	1400	2.73	8038.	19.6	81.79	.032	425.21	1.04	426.25	2940.2	426.25	2940.2	2.3	2942.5	16.47	99.92				
80577	1000	.56	1308.	0	44.88	0.000	49.19	.00	49.19	3009.1	49.19	3009.1	2.3	3011.7	16.87	99.93				
80577	1030	2.81	5959.	24.1	58.91	.027	315.23	1.27	316.50	3324.7	316.50	3324.7	3.5	3328.2	15.63	99.89				
90577	1400	2.93	6846.	75.8	44.90	.129	362.15	1.06	363.22	3686.8	363.22	3686.8	7.6	3694.4	15.56	99.79				
100577	930																			
SUM		25.98	69694.	142.5	57.01	.021	3686.81	7.59	3694.40	3686.8	7.59	3694.40	7.6	3694.4						
* M I D D E L *																				

Tabell 4: Resultat av 1 ukes utprøving av ulike elektrolytiske Zn/Zn-celler i klimaskap. Prøveprogram fig. 4
280 µg/m³. Tidsperioder: 1-8/3, 8-15/3/77.

Zn/Zn-celle nr	Plate-tykkelse (mm)	Plate-avstand (µm)	Påtrykt spenning mV	Våttid h	Middelverdi våt cellestrøm (µA)	Beregnet vekttap (g/m ²) I Middel	Vekttap samtlig eksponerte vekt-plater g/m ² II	Cellefaktor I/II
54	0.5	0.1	100	37.74 29.77	20.44 23.72	2.354 2.549		> 1
55	"	0.1	200	48.40 66.66	71.00 97.68	14.238 10.469	1.578 } (I) 1.187	>> 1
59	"	0.1	300	73.34 72.90	112.44 100.90	14.324 15.368		>> 1
62	"	0.2	100	38.90 1.48	64.1 3.05 ^x	9.152 0.014 ^x	1.172 } (2) 0.984	0.01 ^x
63	"	0.2	200	38.90 44.61	57.5 84.10	9.461 7.909		>> 1
66	"	0.3	100	3.22 1.70 5.53	3.48 3.07 -	0.025 0.018 0.033 0.025	2.22 } (3) 1.27	0.02
68	"	0.3	200	25.51 39.34 52.22	45.00 47.97	6.215 4.306 8.58		>> 1
69	"	0.3	300	47.40 26.29 35.92	55.6 49.0	3.674 6.522 5.95	Middel: 1.40	>> 1



Tabell 5: Resultat av 1 ukes utprøving av ulike elektrolytiske Zn/Zn-celler i klimaskap. Prøveprogram fig. 1, 280 µg/m³. Tidsperioder: 1-8/3, 8-15/3-77.

ZN KLIMA 54		STRØMMENGDE X 10-4 COUL		STRØMSTYRKE UA		BER. VEKTTAP X 10-3 G/M2			AKK. VEKTTAP X 10-3 G/M2			O/O VATTID	O/O VAT KORR	
DATO	KL.	VATTID	VAT	TØRR	VAT	TØRR	VAT	TØRR	TOTAL	VAT	TØRR	TOTAL		
10377	900	2.82	536.	5.8	5.28	.008	28.35	.30	28.66	28.4	.3	28.7	11.75	98.94
20377	900	.52	109.	.1	5.82	.002	5.77	.00	5.77	34.1	.3	34.4	13.10	99.10
20377	1030	.45	39.	37.8	2.41	.039	2.06	2.00	4.06	36.2	2.3	38.5	7.15	94.01
30377	1400	2.68	573.	8.0	5.94	.014	30.31	.42	30.73	66.5	2.7	69.2	8.99	96.06
40377	900	.53	82.	.1	4.30	.002	4.34	.00	4.34	70.8	2.7	73.6	9.52	96.29
40377	1030	.91	51.	70.9	1.56	.074	2.70	3.75	6.45	73.5	6.5	80.0	7.82	91.90
50377	1410	9.22	16210.	14.7	48.84	.039	857.51	.78	858.29	931.0	7.3	938.3	14.17	99.23
60377	955	.67	946.	0.0	39.22	0.000	50.04	0.00	50.04	981.1	7.3	988.3	14.63	99.27
60377	1040	7.70	18009.	.6	64.97	.001	952.68	.03	952.71	1933.8	7.3	1941.1	17.11	99.62
70377	1400	12.24	11484.	13.1	26.06	.054	607.50	.70	608.20	2541.3	8.0	2549.3	22.46	99.69
80377	900													
SUM		37.74	48039.	151.0	20.44	.026	2541.26	7.99	2549.25	2541.3	8.0	2549.3		
* M I D D E L *														

ZN KLIMA 55		STRØMMENGDE X 10-4 COUL		STRØMSTYRKE UA		BER. VEKTTAP X 10-3 G/M2			AKK. VEKTTAP X 10-3 G/M2			O/O VATTID	O/O VAT KORR	
DATO	KL.	VATTID	VAT	TØRR	VAT	TØRR	VAT	TØRR	TOTAL	VAT	TØRR	TOTAL		
10377	900	5.85	20468.	4.6	97.19	.007	1082.76	.24	1083.00	1082.8	.2	1083.0	24.38	99.98
20377	900	.53	277.	.5	14.52	.015	14.65	.03	14.68	1097.4	.3	1097.7	25.02	99.98
20377	1030	.37	70.	7.5	5.26	.008	3.70	.40	4.10	1101.1	.7	1101.8	12.74	99.94
30377	1400	4.29	11070.	6.2	71.68	.012	585.66	.33	585.93	1686.7	1.0	1687.7	15.33	99.94
40377	900	.54	167.	.0	8.59	.001	8.83	.00	8.84	1695.6	1.0	1696.5	15.76	99.94
40377	1030	.29	37.	8.3	3.54	.008	1.96	.44	2.40	1697.5	1.4	1697.9	11.73	99.92
50377	1410	13.51	64061.	18.5	131.72	.082	3388.83	.98	3389.80	5086.3	2.4	5088.7	20.99	99.95
60377	955	.68	3400.	0.0	138.89	0.000	179.86	0.00	179.86	5266.2	2.4	5268.6	21.42	99.95
60377	1040	7.60	30033.	.9	109.77	.001	1588.75	.05	1588.79	6854.9	2.5	6857.4	22.59	99.96
70377	1400	14.74	68277.	2.2	128.67	.015	3611.85	.12	3611.97	10466.8	2.6	10469.4	28.81	99.98
80377	900													
SUM		48.40	197860.	48.7	70.98	.017	10466.79	2.57	10469.37	10466.8	2.6	10469.4		
* M I D D E L *														

ZN KLIMA 59		STRØMMENGDE X 10-4 COUL		STRØMSTYRKE UA		BER. VEKTTAP X 10-3 G/M2			AKK. VEKTTAP X 10-3 G/M2			O/O VATTID	O/O VAT KORR	
DATO	KL.	VATTID	VAT	TØRR	VAT	TØRR	VAT	TØRR	TOTAL	VAT	TØRR	TOTAL		
10377	900	11.34	48406.	4.8	118.57	.011	2560.68	.25	2560.93	2560.7	.3	2560.9	47.25	99.99
20377	900	1.26	5524.	0.0	121.78	0.000	292.22	0.00	292.22	2852.9	.3	2853.2	49.41	99.99
20377	1030	6.84	25278.	.5	102.66	.001	1337.21	.03	1337.23	4190.1	.3	4190.4	36.68	99.99
30377	1400	13.16	40802.	8.9	86.12	.042	2158.43	.47	2158.89	6348.5	.8	6349.3	45.28	99.99
40377	900	1.21	4814.	0.0	110.51	0.000	254.66	0.00	254.66	6603.2	.8	6603.9	46.00	99.99
40377	1030	6.83	27137.	1.9	110.37	.003	1435.55	.10	1435.65	8038.7	.9	8039.6	40.17	99.99
50377	1410	15.61	66999.	.1	119.22	.001	3544.25	.00	3544.25	11583.0	.9	11583.8	46.52	99.99
60377	955	.67	2953.	0.0	122.43	0.000	156.21	0.00	156.21	11739.2	.9	11740.1	46.78	99.99
60377	1040	7.48	32458.	.0	120.54	.000	1717.03	.00	1717.03	13456.2	.9	13457.1	43.22	99.99
70377	1400	8.94	36109.	16.5	112.20	.046	1910.17	.87	1911.04	15366.4	1.7	15368.1	43.65	99.99
80377	900													
SUM		73.34	290480.	32.7	112.44	.015	15366.39	1.73	15368.12	15366.4	1.7	15368.1		
* M I D D E L *														

ZN KLIMA 62		STRØMMENGDE X 10-4 COUL		STRØMSTYRKE UA		BER. VEKTTAP X 10-3 G/M2			AKK. VEKTTAP X 10-3 G/M2			O/O VATTID	O/O VAT KORR	
DATO	KL.	VATTID	VAT	TØRR	VAT	TØRR	VAT	TØRR	TOTAL	VAT	TØRR	TOTAL		
10377	900	0.00	0.	13.3	0.00	.015	0.00	.70	.70	0.0	.7	.7	0.00	0.00
20377	900	.56	76.	0	3.77	.001	4.02	.00	4.02	4.0	.7	4.7	2.20	85.12
20377	1030	.02	0.	6.7	0.00	.007	0.00	.35	.35	4.0	1.1	5.1	1.09	79.17
30377	1400	0.00	0.	8.3	0.00	.012	0.00	.44	.44	4.0	1.5	5.5	.81	72.84
40377	900	.54	41.	1.0	2.11	.029	2.17	.05	2.22	6.2	1.6	7.7	1.52	79.95
40377	1030	0.00	0.	5.7	0.00	.006	0.00	.30	.30	6.2	1.9	8.0	1.11	76.98
50377	1415	8.20	28293.	2.9	95.84	.007	1496.70	.16	1496.86	1502.9	2.0	1504.9	7.71	99.87
60377	955	.66	1890.	0.0	79.55	0.000	99.98	0.00	99.98	1602.9	2.0	1604.9	8.20	99.87
60377	1040	23.66	121200.	19.9	142.29	.151	6411.48	1.05	6412.53	8014.3	3.1	8017.4	22.58	99.96
70377	1400	4.77	21429.	27.1	124.79	.053	1133.59	1.43	1135.03	9147.9	4.5	9152.4	22.86	99.95
80377	900													
SUM		38.41	172929.	85.0	64.05	.031	9147.94	4.50	9152.44	9147.9	4.5	9152.4		
* M I D D E L *														

ZN KLIMA 63		STRØMMENGDE X 10-4 COUL		STRØMSTYRKE UA		BER. VEKTTAP X 10-3 G/M2			AKK. VEKTTAP X 10-3 G/M2			O/O VATTID	O/O VAT KORR	
DATO	KL.	VATTID	VAT	TØRR	VAT	TØRR	VAT	TØRR	TOTAL	VAT	TØRR	TOTAL		
10377	900	3.29	9673.	6.7	81.67	.009	511.70	.36	512.06	511.7	.4	512.1	13.71	99.93
20377	900	.56	178.	0	8.83	.001	9.42	.00	9.42	521.1	.4	521.5	15.10	99.93
20377	1030	.06	3.	22.9	1.39	.023	.16	1.21	1.37	521.3	1.6	522.8	7.36	99.70
30377	1400	1.15	289.	10.1	6.98	.016	15.29	.53	15.82	536.6	2.1	538.7	7.03	99.61
40377	900	.58	121.	0	5.80	.001	6.40	.09	6.40	543.0	2.1	545.1	7.67	99.61
40377	1030	.02	1.	27.3	1.39	.027	.05	1.44	1.50	543.0	3.6	546.6	5.59	99.35
50377	1415	10.80	44455.	7.0	114.34	.022	2351.67	.37	2352.04	2894.7	3.9	2898.6	13.61	99.86
60377	955	.65	2859.	0.0	122.18	0.000	151.24	0.00	151.24	3045.9	3.9	3049.8	14.06	99.87
60377	1040	7.03	28643.	.7	113.18	.001	1515.25	.04	1515.25	4561.1	4.0	4565.1	16.20	99.91
70377	1400	14.75	63218.	5.7	119.05	.037	3344.23	.30	3344.53	7905.4	4.3	7909.6	23.15	99.95
80377	900													
SUM		38.89	149440.	80.5	57.48	.015	7905.38	4.26	7909.64	7905.4	4.3	7909.6		
* M I D D E L *														

Tabell 5: forts

ZN		KLIMA 66		STRØMMENGDE X 10 ⁻⁴ COUL		STRØMSTYRKE UA		BER. VEKTTAP X 10 ⁻³ G/M2			AKK. VEKTTAP X 10 ⁻³ G/M2			O/O	VATTID	O/O	VAT
DATO	KL.	VATTID	VAT	TØRR	VAT	TØRR	VAT	TØRR	TOTAL	VAT	TØRR	TOTAL				KORR	
10377	900	.09	3.	28.9	.93	.034	.16	1.53	1.69	.2	1.5	1.7	.38		9.42		
20377	900	.54	64.	.1	3.29	.002	3.39	.00	3.39	3.5	1.5	5.1	2.47		69.85		
20377	1030	.01	1.	1.8	2.78	.002	.05	.09	.15	3.6	1.6	5.2	1.21		68.91		
30377	1400	0.00	0.	16.4	0.00	.024	0.00	.87	.87	3.6	2.5	6.1	.89		59.07		
40377	900	.54	37.	.3	1.90	.010	1.96	.02	1.98	5.6	2.5	8.1	1.61		68.87		
40377	1030	0.00	0.	1.7	0.00	.002	0.00	.09	.09	5.6	2.6	8.2	1.17		68.12		
50377	1410	0.00	0.	74.1	0.00	.104	0.00	3.92	3.92	5.6	6.5	12.1	.98		46.01		
60377	955	.59	215.	1.1	10.12	.184	11.37	.06	11.43	16.9	6.6	23.5	1.45		72.03		
60377	1040	.66	86.	35.0	3.62	.036	4.55	1.85	6.40	21.5	8.4	29.9	1.63		71.82		
70377	1400	.79	48.	21.0	1.69	.032	2.54	1.11	3.65	24.0	9.5	33.6	1.92		71.57		
80377	900																
SUM		3.22	454.	180.4	3.48	.043	24.02	9.54	33.56	24.0	9.5	33.6					
* M I D D E L *																	

ZN		KLIMA 68		STRØMMENGDE X 10 ⁻⁴ COUL		STRØMSTYRKE UA		BER. VEKTTAP X 10 ⁻³ G/M2			AKK. VEKTTAP X 10 ⁻³ G/M2			O/O	VATTID	O/O	VAT
DATO	KL.	VATTID	VAT	TØRR	VAT	TØRR	VAT	TØRR	TOTAL	VAT	TØRR	TOTAL				KORR	
10377	900	1.82	209.	13.0	3.19	.016	11.06	.69	11.75	11.1	.7	11.7	7.58		94.13		
20377	900	.54	116.	.2	5.97	.007	6.14	.01	6.15	17.2	.7	17.9	9.25		96.08		
20377	1030	.07	3.	9.4	1.19	.010	.16	.50	.66	17.4	1.2	18.6	4.58		93.54		
30377	1400	1.09	50.	14.7	1.27	.023	2.65	.78	3.42	20.0	2.0	22.0	4.89		91.00		
40377	900	.56	80.	.2	3.97	.006	4.23	.01	4.24	24.2	2.0	26.2	5.55		92.41		
40377	1030	.05	2.	7.1	1.11	.007	.11	.38	.48	24.3	2.4	26.7	4.08		91.14		
50377	1410	10.07	37660.	4.5	103.88	.013	1992.21	.24	1992.45	2016.5	2.6	2019.2	11.74		92.87		
60377	955	.68	2800.	0.0	114.38	0.000	148.12	0.00	148.12	2164.7	2.6	2167.3	12.23		99.86		
60377	1040	4.22	17579.	6.4	115.71	.009	929.93	.34	930.27	3094.6	2.9	3097.5	12.82		99.91		
70377	1400	6.41	22850.	6.4	99.02	.014	1208.77	.34	1209.10	4303.4	3.3	4306.6	15.18		99.92		
80377	900																
SUM		25.51	81349.	62.0	44.97	.012	4303.36	3.28	4306.64	4303.4	3.3	4306.6					
* M I D D E L *																	

ZN		KLIMA 69		STRØMMENGDE X 10 ⁻⁴ COUL		STRØMSTYRKE UA		BER. VEKTTAP X 10 ⁻³ G/M2			AKK. VEKTTAP X 10 ⁻³ G/M2			O/O	VATTID	O/O	VAT
DATO	KL.	VATTID	VAT	TØRR	VAT	TØRR	VAT	TØRR	TOTAL	VAT	TØRR	TOTAL				KORR	
10377	900	5.63	16505.	3.0	81.43	.004	873.11	.16	873.27	873.1	.2	873.3	23.46		99.98		
20377	900	.55	916.	.0	46.26	.001	48.46	.00	48.46	921.6	.2	921.7	24.24		99.93		
20377	1030	3.67	1236.	9.8	9.36	.011	65.38	.52	65.90	987.0	.7	987.6	18.58		99.93		
30377	1400	6.32	8999.	39.3	39.55	.086	476.05	2.08	478.13	1463.0	2.8	1465.8	22.46		99.81		
40377	900	.56	166.	.0	8.23	.001	8.78	.00	8.78	1471.8	2.8	1474.5	22.76		99.81		
40377	1030	.02	1.	27.2	1.39	.027	.05	1.44	1.49	1471.8	4.2	1476.0	16.54		99.72		
50377	1415	9.09	29627.	23.9	90.54	.063	1567.27	1.26	1568.53	3039.1	5.5	3044.6	21.37		99.82		
60377	955	.67	2300.	0.0	95.36	0.000	121.67	0.00	121.67	3160.3	5.5	3166.2	21.79		99.83		
60377	1040	6.83	22963.	6.4	93.39	.009	1214.74	.34	1215.08	4375.5	5.8	4381.3	22.36		99.87		
70377	1400	14.01	40472.	4.1	80.24	.023	2140.97	.21	2141.18	6516.5	6.0	6522.5	28.18		99.91		
80377	900																
SUM		47.35	123185.	113.7	54.58	.025	6516.49	6.01	6522.50	6516.5	6.0	6522.5					
* M I D D E L *																	

Tabell 5: forts

ZN		KLIMA 54		STRØMMENGDE		STRØMSTYRKE		BER.		VEKT TAP		AKK.		VEKT TAP		O/O VATTID		O/O VAT	
		VATTID		X 10-4		UA		X 10-3 G/M2		X 10-3 G/M2		X 10-3 G/M2							
DATO	KL.	VATTID	VAT	COUL	TØRR	VAT	TØRR	VAT	TØRR	TØRR	TOTAL	VAT	TØRR	TOTAL					KORR
80377	1030	2.60	513	5.1	5.49	.007	27.14	.27	27.41	27.1	.3	27.4	11.56	99.01					
90377	900	.53	228	.1	11.95	.003	12.06	.01	12.07	39.2	.3	39.5	13.04	99.30					
90377	1030	.37	54.	17.8	4.05	.018	2.86	.94	3.80	42.1	1.2	43.3	6.80	97.19					
100377	1400	4.85	6325.	13.0	36.23	.026	334.59	.69	335.28	376.6	1.9	378.6	11.64	99.50					
110377	900	.53	54.	.2	2.83	.006	2.86	.01	2.87	379.5	1.9	381.4	12.33	99.50					
110377	1030	.11	4.	19.2	1.01	.020	.21	1.02	1.23	379.7	2.9	382.7	9.04	99.23					
120377	1400	6.37	6386.	21.7	27.85	.048	337.82	1.15	338.97	717.5	4.1	721.6	12.96	99.43					
130377	900	.60	1402.	0.0	64.91	0.000	74.17	0.00	74.17	791.7	4.1	795.8	13.30	99.49					
130377	1030	13.81	29403.	6.7	59.14	.014	1555.42	.36	1555.78	2347.1	4.4	2351.6	20.18	99.81					
140377	1400	0.00	0.	60.9	0.00	.089	0.00	3.22	3.22	2347.1	7.7	2354.8	17.88	99.67					
150377	900																		
SUM		29.77	44369.	144.8	23.72	.026	2347.12	7.66	2354.78	2347.1	7.7	2354.8							
* M I D D E L *																			
ZN		KLIMA 55		STRØMMENGDE		STRØMSTYRKE		BER.		VEKT TAP		AKK.		VEKT TAP		O/O VATTID		O/O VAT	
		VATTID		X 10-4		UA		X 10-3 G/M2		X 10-3 G/M2		X 10-3 G/M2							
DATO	KL.	VATTID	VAT	COUL	TØRR	VAT	TØRR	VAT	TØRR	TØRR	TOTAL	VAT	TØRR	TOTAL					KORR
80377	1030	2.90	6552.	4.6	62.76	.006	346.60	.24	346.84	346.6	.2	346.8	12.69	99.93					
90377	900	.55	471.	.0	23.79	.001	24.92	.00	24.92	371.5	.2	371.8	14.38	99.93					
90377	1030	2.23	3822.	14.1	47.61	.016	202.18	.75	202.93	573.7	1.0	574.7	11.03	99.83					
100377	1400	14.03	52555.	4.5	104.05	.025	2780.16	.24	2780.40	3353.9	1.2	3355.1	27.96	99.96					
110377	900	1.47	6300.	0.0	119.05	0.000	333.27	0.00	333.27	3687.1	1.2	3688.4	29.42	99.97					
110377	1030	5.78	19259.	1.6	92.56	.002	1018.88	.08	1018.88	4705.9	1.3	4707.2	27.10	99.97					
120377	1400	15.15	75206.	.6	137.89	.004	3978.40	.03	3978.43	8684.3	1.3	8685.7	35.54	99.98					
130377	900	.60	3000.	0.0	138.89	0.000	158.70	0.00	158.70	8843.0	1.3	8844.4	35.59	99.98					
130377	1030	5.57	27460.	.3	136.94	.000	1452.63	.02	1452.65	10295.7	1.4	10297.0	32.73	99.99					
140377	1400	18.28	74515.	.1	113.23	.002	3941.84	.00	3941.85	14237.5	1.4	14238.9	39.98	99.99					
150377	900																		
SUM		66.56	269140.	25.7	97.68	.007	14237.51	1.36	14238.87	14237.5	1.4	14238.9							
* M I D D E L *																			
ZN		KLIMA 59		STRØMMENGDE		STRØMSTYRKE		BER.		VEKT TAP		AKK.		VEKT TAP		O/O VATTID		O/O VAT	
		VATTID		X 10-4		UA		X 10-3 G/M2		X 10-3 G/M2		X 10-3 G/M2							
DATO	KL.	VATTID	VAT	COUL	TØRR	VAT	TØRR	VAT	TØRR	TØRR	TOTAL	VAT	TØRR	TOTAL					KORR
80377	1030	11.25	42023.	5.0	103.76	.012	2223.02	.26	2223.28	2223.0	.3	2223.3	50.00	99.99					
90377	900	1.43	1684.	0.0	32.71	0.000	89.08	0.00	89.08	2312.1	.3	2312.4	52.63	99.99					
90377	1030	10.90	28978.	.0	73.85	0.000	1532.94	.00	1532.94	3845.0	.3	3845.3	45.79	99.99					
100377	1400	9.34	37685.	.7	112.08	.002	1993.54	.04	1993.57	5838.6	.3	5838.9	46.70	99.99					
110377	900	1.47	6370.	0.0	120.37	0.000	336.97	0.00	336.97	6175.5	.3	6175.8	47.76	100.00					
110377	1030	8.81	32904.	1.9	103.75	.003	1740.62	.10	1740.72	7916.2	.4	7916.6	43.42	99.99					
120377	1400	10.34	37931.	.1	101.90	.000	2006.55	.00	2006.55	9922.7	.4	9923.1	45.18	100.00					
130377	900	.60	2625.	0.0	121.53	0.000	138.86	0.00	138.86	10061.6	.4	10062.0	45.12	100.00					
130377	1030	7.12	30764.	.0	120.02	.000	1627.42	.00	1627.42	11689.0	.4	11689.4	41.53	100.00					
140377	1400	11.67	49826.	.2	118.60	.001	2635.80	.01	2635.81	14324.8	.4	14325.2	43.80	100.00					
150377	900																		
SUM		72.93	270790.	7.8	100.86	.003	14324.79	.42	14325.21	14324.8	.4	14325.2							
* M I D D E L *																			
ZN		KLIMA 62		STRØMMENGDE		STRØMSTYRKE		BER.		VEKT TAP		AKK.		VEKT TAP		O/O VATTID		O/O VAT	
		VATTID		X 10-4		UA		X 10-3 G/M2		X 10-3 G/M2		X 10-3 G/M2							
DATO	KL.	VATTID	VAT	COUL	TØRR	VAT	TØRR	VAT	TØRR	TØRR	TOTAL	VAT	TØRR	TOTAL					KORR
80377	1030	0.00	0.	15.9	0.00	.020	0.00	.84	84	0.0	.8	0.0	.8	0.00	0.00				
90377	900	.52	82.	.7	4.38	.013	4.34	.04	4.37	4.3	.9	5.2	2.12	83.15					
90377	1100	0.00	0.	5.8	0.00	.006	0.00	.30	30	4.3	1.2	5.5	1.01	78.56					
100377	1400	0.00	0.	3.3	0.00	.005	0.00	.17	17	4.3	1.4	5.7	.74	76.17					
110377	900	.41	43.	4.4	2.91	.112	2.27	.23	2.51	6.6	1.6	8.2	1.29	80.62					
110377	1030	0.00	0.	1.4	0.00	.001	0.00	.07	07	6.6	1.7	8.3	.93	79.92					
120377	1400	0.00	0.	6.2	0.00	.009	0.00	.33	33	6.6	2.0	8.6	.78	76.89					
130377	900	.54	95.	1.0	4.89	.028	5.03	.05	5.08	11.6	2.0	13.7	1.23	85.10					
130377	1030	.01	0.	7.0	0.00	.007	0.00	.37	37	11.6	2.4	14.0	1.00	82.64					
140377	1400	0.00	0.	7.0	0.00	.010	0.00	.37	37	11.6	2.8	14.4	.89	80.70					
150377	900																		
SUM		1.48	220.	52.6	3.05	.021	11.64	2.78	14.42	11.6	2.8	14.4							
* M I D D E L *																			
ZN		KLIMA 63		STRØMMENGDE		STRØMSTYRKE		BER.		VEKT TAP		AKK.		VEKT TAP		O/O VATTID		O/O VAT	
		VATTID		X 10-4		UA		X 10-3 G/M2		X 10-3 G/M2		X 10-3 G/M2							
DATO	KL.	VATTID	VAT	COUL	TØRR	VAT	TØRR	VAT	TØRR	TØRR	TOTAL	VAT	TØRR	TOTAL					KORR
80377	1030	1.73	2720.	10.5	43.67	.014	143.89	.55	144.44	143.9	.6	144.4	7.69	99.62					
90377	900	.57	146.	.2	7.12	.006	7.72	.01	7.73	151.6	.6	152.2	9.58	99.63					
90377	1030	.03	1.	8.2	.93	.008	.05	.43	.49	151.7	1.0	152.7	4.52	99.35					
100377	1400	10.06	41523.	12.9	114.65	.040	2196.57	.68	2197.25	2348.2	1.7	2349.9	17.57	99.93					
110377	900	1.47	5885.	0.0	111.21	0.000	311.32	0.00	311.32	2659.5	1.7	2661.2	19.25	99.94					
110377	1030	.61	2490.	2.2	113.39	.002	131.72	.12	131.84	2791.3	1.8	2793.1	14.54	99.94					
120377	1400	15.09	64245.	.6	118.26	.004	3398.56	.03	3398.59	6189.8	1.8	6191.7	24.95	99.97					
130377	900	.61	2615.	0.0	119.08	0.000	138.33	0.00	138.33	6328.2	1.8	6330.0	25.14	99.97					
130377	1030	2.55	8684.	4.7	94.60	.005	459.38	.25	459.63	6787.5	2.1	6789.6	22.18	99.97					
140377	1400	11.89	50499.	7.7	117.98	.030	2671.40	.41	2671.81	9458.9	2.5	9461.4	26.79	99.97					
150377	900																		
SUM		44.61	178808.	47.0	84.09	.014	9458.94	2.49	9461.43	9458.9	2.5	9461.4							
* M I D D E L *																			

Tabell 6: Sünk - resultater fra vektapmålinger og målinger med elektrokjemiske celler ved enfaktorforsøk i klimaskap (4).

PRØVE PROGRAM	NEDEBØR		PLATER		VÅTTID (t)	CELLER		CELLEFAKTOR II/I
	EFFEKT	pH	SO ₄ mg/l	VEKTAP I (g/m ²)		VEKTAP II (g/m ²)		
I Regntid 16x2½ = 40t	pH-effekt	5.7	10	29.9 (34.4) (22.0)	47.8 (49.9) (45.7)	5.1 (5.3) (4.9)	0.17	
		3.7		21.2 (21.6) (22.2)	58.8 (77.9) (29.7)	2.6 (2.4) (2.8)	0.13	
		5.7		4.9 (5.2) (4.6)	68.1 (68.1) (Zn 61 "kortslettet")	0.6	0.12	
II Regntid 20x1t = 20t	pH-effekt	4.2	10	7.9 (6.2) (9.7)	Zn 61 "kortslettet"			
		3.7		5.4 (5.9) (4.9)	37.4 (37.4) Zn 59 "kortslettet"	0.7	0.12	
		5.7	10	Se ovenfor under pH-effekt				
Sulfat-effekt		4.2	10	4.3 (5.9) (2.8)	102.1 (141.3) (62.8)	1.1 (1.6) (0.5)	0.25 (0.38) (0.12)	
		4.2	3	Se ovenfor under pH-effekt				
	Foreks- ponering Ryda	4.2	10	16.3 (10.6) (22.0)	(Zn 60, Zn 61 "kortslettet")			
			6.8			0.5	0.07	
			6.6			0.17	0.03	
			4.8			0.05	0.01	

*) Foreksponerte celler har 200 µm mellomlegg

1-31/3 1976
 Tabell 7: Uteeksponeringsforsøk med elektrolytiske Zn/Zn-celler på Borregaard 1-31.3 1976

Zn/Zn-celle nr	Plate-tykkelse (mm)	Plate-avstand (μm)	Påtrykt spenning mV	Våttid h	Middelverdi våt cellestrøm (μA)	Beregnet vekt- tap I (g/m^2)	Vekt- tap II (g/m^2)	Cellefaktor I/II
54	0.5	0.1	100	354.62	958.11 (>>1000)	100.16		>> 1
56	1	0.1	100	287.00	229.53 (>1000)	52.76	4.17	>> 1

Tabell 8: Uteeksponeringsforsøk med elektrolytiske Zn/Zn-celler på Borregaard 1-29.4. 1976

Zn/Zn-celle nr	Plate-tykkelse (mm)	Plate-avstand (μm)	Påtrykt spenning mV	Våttid h	Middelverdi våt cellestrøm (μA)	Beregnet vekt- tap I (g/m^2)	Vekt- tap II (g/m^2)	Cellefaktor I/II
63	0.5	0.2	100	456.11	128.98	115.4		>> 1
66	0.5	0.3	100	107.36	12.47 (>50)	6.75	6.375	= 1

1-31/3
 Tabell 9: Uteeksponeringsforsøk med elektrolytiske Zn/Zn-celler på Borregaard 1-31.7. 1976

Zn/Zn-celle nr	Plate-tykkelse (mm)	Plate-avstand (μm)	Påtrykt spenning mV	Våttid h	Middelverdi våt cellestrøm (μA)	Beregnet vekt- tap I (g/m^2)	Vekt- tap II (g/m^2)	Cellefaktor I/II
67	0.5	0.3	100	11.65	1.86	0.119		0.052
68	0.5	0.3	200	37.24	42.35 (>100)	5.55	2.26	2.45
69	0.5	0.3	300	63.03	61.00 (>100)	9.302		4.11

Tabell 10: Uteksporer med elektrolytiske Zn/Zn-celler på Borregaard

BO 54		STRØMENGDE X 10 ⁻⁴ COUL			STRØMSTYRKE UA		B E R. V E K T T A P X 10 ⁻³ G/M ²			A K K. V E K T T A P X 10 ⁻³ G/M ²			O/O VATTID	O/O VTKORR
DATO	KL.	VATTID	VAT	TØRR	VAT	TØRR	VAT	TØRR	TOTAL	VAT	TØRR	TOTAL		
10376	1230	0.00	0.	0.0	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00
20376	900	0.00	0.	0.5	0.00	0.001	0.00	0.03	0.03	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00
30376	905	0.00	0.	7.2	0.00	0.008	0.00	0.38	0.38	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00
40376	900	10.43	2540.	31.3	6.76	0.069	134.11	1.65	135.75	134.1	2.1	136.2	11.40	98.49
50376	800	64.89	311904.	2.2	133.52	0.009	16468.53	0.12	16468.65	16602.6	2.2	16604.1	45.90	99.99
80376	835	21.41	78807.	0.0	102.25	0.000	4161.01	0.00	4161.01	20763.7	2.2	20765.8	51.50	99.99
90376	820	21.77	70569.	2	90.04	0.003	3726.04	0.01	3726.06	24489.7	2.2	24491.9	55.87	99.99
100376	835	3.32	28175.	20.3	235.73	0.027	1487.64	1.07	1488.71	25977.3	3.3	25980.6	51.47	99.99
110376	910	20.89	104089.	0	138.41	0.000	5495.90	0.00	5495.90	31473.2	3.3	31476.5	54.77	99.99
120376	905	48.50	281851.	19.5	151.43	0.023	14882.26	1.03	14883.29	46355.5	4.3	46359.8	57.46	99.99
150376	915	7.70	99531.	34.9	359.06	0.060	5255.24	1.84	5257.08	51610.7	6.1	51616.9	55.76	99.99
160376	915	0.13	36480.	217.9	7734.87	0.255	1926.14	11.50	1937.65	53536.9	17.6	53554.5	52.30	99.97
170376	905	28	64333.	1.1	6382.24	0.001	3396.78	0.06	3396.84	56933.7	17.7	56951.4	49.25	99.97
180376	915	2.35	45691.	23.6	340.08	0.031	2412.48	1.25	2413.73	59346.1	18.9	59365.1	47.08	99.97
190376	850	17.48	116280.	7.3	184.78	0.004	6139.58	0.39	6139.97	65485.7	19.3	65505.1	43.78	99.97
220376	915	0.00	0.	0.0	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	65485.7	19.3	65505.1	41.76	99.97
230376	915	0.00	20.	74.0	0.00	0.087	1.06	3.91	4.95	65486.8	23.2	65510.0	39.97	99.96
240376	850	1.85	32050.	11.0	481.23	0.013	1692.24	0.58	1692.82	67179.0	23.8	67202.4	38.55	99.96
250376	945	20.32	90703.	6.0	123.99	0.053	4789.12	0.32	4789.44	71968.1	24.1	71992.3	40.44	99.97
260376	915	55.65	275397.	12.2	137.44	0.021	14538.85	0.64	14539.49	86507.0	24.8	86531.8	44.41	99.97
290376	915	20.30	81773.	1	111.90	0.001	4317.61	0.00	4317.62	98024.6	24.8	98049.4	45.85	99.97
300376	830	17.52	81671.	0.4	129.49	0.001	4312.23	0.02	4312.25	95136.8	24.8	95161.6	46.73	99.97
310376	900	19.83	94793.	1	132.79	0.000	5005.07	0.00	5005.07	108141.9	24.8	108166.7	47.81	99.98
SUM		354.62	1896627.	469.9	358.11	0.033	100141.91	24.81	100165.72	108141.9	24.8	108166.7		
* H I D N E L *														
BO 56		STRØMENGDE X 10 ⁻⁴ COUL			STRØMSTYRKE UA		B E R. V E K T T A P X 10 ⁻³ G/M ²			A K K. V E K T T A P X 10 ⁻³ G/M ²			O/O VATTID	O/O VTKORR
DATO	KL.	VATTID	VAT	TØRR	VAT	TØRR	VAT	TØRR	TOTAL	VAT	TØRR	TOTAL		
10376	1230	0.00	0.	1.3	0.00	0.002	0.00	0.07	0.07	0.0	0.1	0.1	0.00	0.00
20376	900	0.00	0.	2.3	0.00	0.003	0.00	0.12	0.12	0.0	0.2	0.2	0.00	0.00
30376	905	0.00	0.	11.2	0.00	0.013	0.00	0.59	0.59	0.0	0.8	0.8	0.00	0.00
40376	900	20.09	55614.	2.2	76.90	0.021	2936.63	0.12	2936.75	2936.6	0.9	2937.5	21.96	99.97
50376	800	48.56	134490.	15.5	76.93	0.018	7101.07	0.82	7101.89	10039.7	1.7	10039.4	41.84	99.98
80376	835	20.87	65837.	0.6	87.53	0.006	3476.19	0.03	3476.22	13513.9	1.7	13515.6	47.66	99.99
90376	820	21.79	68708.	0.0	87.59	0.000	3627.78	0.00	3627.78	17141.7	1.7	17143.4	52.48	99.99
100376	835	3.98	12038.	8.5	84.02	0.011	635.61	0.45	636.06	17777.3	2.2	17779.5	48.71	99.99
110376	910	31.94	0.00	24.989.	2.0	0.00	0.00	10	1319.52	19096.7	2.3	19099.0	44.24	99.99
120376	905	25.60	98756.	22.4	107.16	0.014	5214.32	1.20	5215.52	24311.0	3.5	24314.5	42.34	99.99
150376	915	9.31	63017.	12.6	188.02	0.024	3327.30	0.66	3327.96	27638.3	4.2	27642.5	42.10	99.98
160376	915	0.48	33301.	23.8	1927.14	0.028	1758.29	1.26	1759.55	29396.6	5.4	29402.0	39.59	99.98
170376	905	11.18	51921.	43.0	129.00	0.092	2741.43	2.27	2743.70	32138.0	7.7	32145.7	39.99	99.98
180376	915	0.00	0.	7.6	0.00	0.009	0.00	0.40	0.40	32138.0	8.1	32146.1	37.79	99.97
190376	850	0.00	0.	7.1	0.00	0.003	0.00	0.38	0.38	32138.0	8.5	32146.5	32.33	99.97
220376	905	0.00	0.	1.8	0.00	0.002	0.00	0.09	0.09	32138.0	8.6	32146.6	30.85	99.97
230376	915	0.00	0.	6.2	0.00	0.007	0.00	0.32	0.32	32138.0	8.9	32146.9	29.52	99.97
240376	850	0.00	10483.	14.5	0.00	0.016	553.50	0.77	554.27	32691.5	9.6	32701.2	28.24	99.97
250376	945	14.91	50323.	34.5	93.75	0.111	2657.05	1.82	2658.87	35348.6	11.5	35360.1	29.62	99.97
260376	915	62.52	183784.	9.6	81.56	0.028	9703.80	0.51	9704.30	45052.4	12.0	45064.4	35.78	99.97
290376	915	20.84	61907.	0.0	82.52	0.000	3268.69	0.00	3268.69	48321.1	12.0	48333.1	37.59	99.98
300376	830	5.54	22049.	13.9	110.55	0.020	1164.13	0.73	1164.87	49485.2	12.7	49497.9	37.08	99.97
310376	900	21.33	61857.	6.3	80.56	0.045	3266.05	0.33	3266.38	52751.3	13.0	52764.3	38.69	99.98
SUM		287.00	999077.	246.9	229.53	0.023	52751.27	13.04	52764.30	52751.3	13.0	52764.3		
* H I D N E L *														
BO 63		STRØMENGDE X 10 ⁻⁴ COUL			STRØMSTYRKE UA		B E R. V E K T T A P X 10 ⁻³ G/M ²			A K K. V E K T T A P X 10 ⁻³ G/M ²			O/O VATTID	O/O VTKORR
DATO	KL.	VATTID	VAT	TØRR	VAT	TØRR	VAT	TØRR	TOTAL	VAT	TØRR	TOTAL		
10476	1045	0.00	0.	73.6	0.00	0.096	0.00	3.88	3.88	0.0	3.9	3.9	0.00	0.00
20476	800	19.02	5406.	203.5	7.90	0.104	285.44	10.75	296.18	285.4	14.6	300.1	20.11	95.12
50476	920	11.52	28368.	63.3	63.40	0.141	1497.83	3.34	1501.17	1773.3	18.0	1901.2	25.75	99.00
60476	920	9.62	51436.	11.1	144.52	0.021	2715.82	0.58	2716.41	4499.1	18.6	4517.6	28.08	99.59
70476	945	21.60	110208.	0.0	141.73	0.000	5818.98	0.00	5818.98	10318.1	18.6	10336.6	36.98	99.82
80476	945	21.59	109753.	0.0	141.21	0.000	5794.96	0.00	5794.95	16113.0	18.6	16131.6	43.64	99.88
90476	945	63.77	319816.	0.0	139.81	0.000	16886.28	0.00	16886.28	32999.3	18.6	33017.5	56.15	99.94
120476	845	22.02	112508.	0.0	141.33	0.000	5940.42	0.00	5940.42	38939.7	18.6	38958.3	59.05	99.95
130476	910	21.32	107804.	0.0	140.46	0.000	5692.05	0.00	5692.05	44631.8	18.6	44650.3	61.42	99.96
140476	850	96.87	481637.	6.5	138.11	0.004	25430.43	0.34	25430.78	70062.2	18.9	70081.1	63.31	99.97
200476	835	9.34	47589.	3.8	141.53	0.007	2512.90	0.20	2512.90	72574.9	19.1	72594.0	61.96	99.97
210476	935	8.69	44755.	6.4	143.06	0.012	2363.06	0.34	2363.40	74938.0	19.4	74957.4	60.72	99.97
220476	940	21.07	108098.	0	142.51	0.000	5707.57	0.00	5707.58	80645.6	19.4	80665.0	61.97	99.98
230476	930	82.03	414947.	3.4	140.51	0.007	21909.20	0.18	21909.38	102554.8	19.6	102574.4	65.65	99.98
270476	855	4.27	22072.	0	143.59	0.000	1165.40	0.00	1165.40	103720.2	19.6	103739.8	63.86	99.98
280476	905	21.81	111903.	0.0	142.52	0.000	5908.48	0.00	5908.48	109628.6	19.6	109648.3	64.80	99.98
290476	920	21.57	110618.	0.0	142.45	0.000	5840.63	0.00	5840.63	115469.3	19.6	115488.9	65.67	99.98
SUM		456.11	2186918.	371.7	128.98	0.039	115469.27	19.63	115488.90	115469.3	19.6	115488.9		
* H I D N E L *														
BO 66		STRØMENGDE X 10 ⁻⁴ COUL			STRØMSTYRKE UA		B E R. V E K T T A P X 10 ⁻³ G/M ²			A K K. V E K T T A P X 10 ⁻³ G/M ²			O/O VATTID	O/O VTKORR
DATO	KL.	VATTID	VAT	TØRR	VAT	TØRR	VAT	TØRR	TOTAL	VAT	TØRR	TOTAL		
10476	1045	0.00	7.	86.9	0.00	0.114	0.37	4.59	4.95	0.4	4.6	5.0	0.00	7.46
20476	800	18.24	4343.	192.0	6.61	0.097	229.31	10.14	239.45	229.7	14.7	244.4	19.28	93.98
50476	920	6.63	1722.	68.5	7.21	0.110	90.92	3.62	94.54	320.6	18.3	338.9	20.97	94.59
60476	920	0.00	0.	4.0	0.00	0.005	0.00	0.21	0.21	320.6	18.6	339.2	17.39	94.53
70476	945	0.06	2.	6.9	0.93	0.008	0.11	0.36	0.47	320.7	18.9	339.6	14.93	94.43
80476	945	3.62	980.	28.1	7.52	0.038	51.74	1.48	53.23	372.5	20.4	392.9	14.95	

Tabell 10: forts.

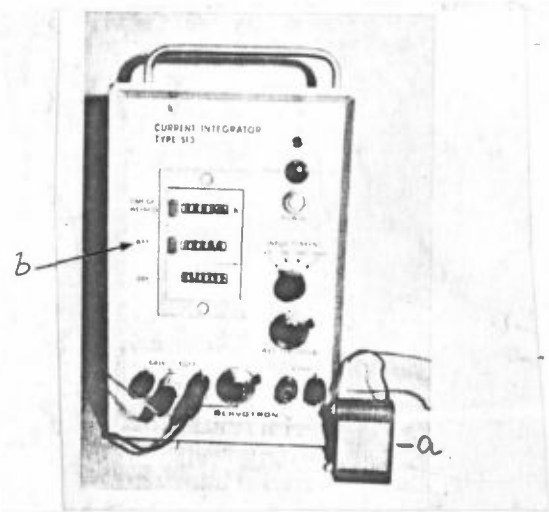
BO 7		STRØMNINGDE X 10 ⁻⁴ COUL			STRØMSTYRKE UA			BER. VEKT TAP X 10 ⁻³ G/M2			AKK. VEKT TAP X 10 ⁻³ G/M2			O/O VATTID	O/O VÅTKORR
DATO	KL.	VATTID	VÅT	TØRR	VÅT	TØRR	VÅT	TØRR	TOTAL	VÅT	TØRR	TOTAL			
10776	1030	0.00	0.	9.1	0.00	.003	0.00	.48	.48	0.0	.5	.5	0.00	0.00	
50776	745	.18	28.	8.4	4.32	.003	1.48	.44	1.92	1.5	.9	2.4	.11	61.58	
80776	730	.91	64.	23.9	1.95	.004	3.38	1.26	4.64	4.9	2.2	7.0	.32	69.00	
150776	1025	9.46	1749.	46.5	5.14	.007	92.35	2.45	94.80	97.2	4.6	101.8	2.00	95.45	
230776	950	1.09	201.	103.3	5.12	.024	10.61	5.46	16.07	107.8	10.1	117.9	1.80	91.44	
280776	920	.01	1.	36.0	2.78	.020	.05	1.90	1.96	107.9	12.0	119.9	1.67	89.99	
SUM		11.65	2043.	227.2	3.46	.010	107.87	12.00	119.87	107.9	12.0	119.9			
* M I D D E L *															
BO 8		STRØMNINGDE X 10 ⁻⁴ COUL			STRØMSTYRKE UA			BER. VEKT TAP X 10 ⁻³ G/M2			AKK. VEKT TAP X 10 ⁻³ G/M2			O/O VATTID	O/O VÅTKORR
DATO	KL.	VATTID	VÅT	TØRR	VÅT	TØRR	VÅT	TØRR	TOTAL	VÅT	TØRR	TOTAL			
1077637800		1.05	603.	25.0	15.95	.008	31.84	1.35	33.19	31.8	1.3	33.2	1.13	95.93	
5077627900		.16	37.	12.4	6.42	.005	1.95	.66	2.61	33.8	2.0	35.8	.73	94.40	
8077627000		9.53	39568.	36.2	115.33	.006	2084.19	1.91	2091.10	2123.0	3.9	2126.9	3.20	99.82	
15077637500		10.18	2534.	41.5	6.93	.006	134.06	2.19	136.25	2257.0	6.1	2263.2	3.97	99.73	
23077635400		16.01	62149.	109.3	107.83	.028	3281.47	5.51	3286.98	5538.5	11.6	5550.1	5.71	99.79	
28077633600		.31	14.	27.2	1.61	.016	.45	1.44	2.39	5539.5	13.1	5552.5	5.35	99.76	
SUM		37.24	104914.	267.2	47.35	.011	5534.46	13.05	5552.51	5539.5	13.1	5552.5			
* M I D D E L *															
BO 9		STRØMNINGDE X 10 ⁻⁴ COUL			STRØMSTYRKE UA			BER. VEKT TAP X 10 ⁻³ G/M2			AKK. VEKT TAP X 10 ⁻³ G/M2			O/O VATTID	O/O VÅTKORR
DATO	KL.	VATTID	VÅT	TØRR	VÅT	TØRR	VÅT	TØRR	TOTAL	VÅT	TØRR	TOTAL			
1077637800		2.54	10402.	43.4	113.76	.013	549.23	2.29	551.51	549.2	2.3	551.5	2.72	99.58	
5077627900		1.57	508.	15.6	8.49	.006	26.82	.83	27.65	576.0	3.1	579.2	2.49	99.46	
8077627000		1.83	368.	44.0	5.89	.007	20.49	2.32	22.81	596.5	5.4	602.0	1.77	99.10	
15077637500		24.52	36243.	123.3	41.06	.021	1913.63	6.51	1920.14	2510.2	11.9	2522.1	5.78	99.53	
23077635400		28.57	119768.	32.8	115.45	.010	6323.75	1.73	6325.48	8833.9	13.7	8847.6	9.13	99.85	
28077633600		3.00	1813.	8.4	79.75	.005	454.77	.44	455.21	9288.7	14.1	9302.8	8.91	99.85	
SUM		62.03	175422.	267.4	60.98	.010	9288.68	14.12	9302.80	9288.7	14.1	9302.8			
* M I D D E L *															

Tabell 11: Månedlige vekttag fra samtidig eksponerte prøveplater og elektro-kjemisk Zn/Zn-celle. (3)

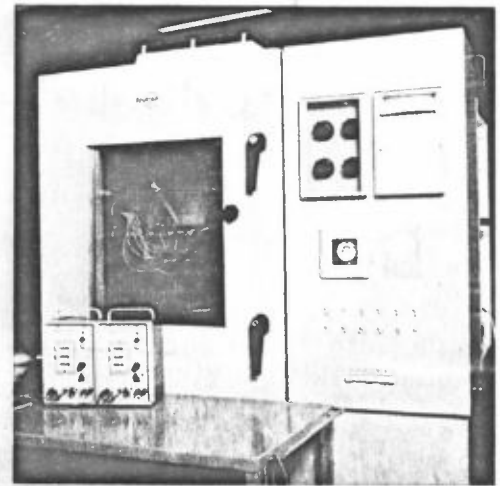
ELEKTROKJEMISK CELLE									
År mnd	VEKTAP PLATER (g/m ²)		Totalstrøm (A·s) 10 ⁻⁴	BEREGNET VEKTAP CELLE (g/m ²)		CELLEFAKTOR VEKTAP CELLE/PLATE		Sukcessive	Akkumulert
	Sukcessive	Kontinuerlige		Akk. tot. strøm (A·s)10 ⁻⁴	Sukcessive	Akkumulert	Sukcessive		
75MAR	6.9		10413					0.08	
75APR	3.6		9179					0.13	
75MAI	6.4		12320					0.10	
75JUN	1.1		5055					0.24	
75JUL	3.3		5762					0.09	
75NOV	3.8	mnd 3.8 (1)	14548		19998		0.8	0.20	0.20
75DES	4.5	4.4 (2)	5450				0.3	0.06	0.24
76JAN	2.0	4.1 (3)	1899		21897		0.1	0.05	0.28
76FEB	3.1	4.2 (4)	5235		27132		0.3	0.09	0.34
76MAR	1.6	5.5 (5)	3954		31086		0.2	0.13	0.30
76APR	1.8	5.7 (6)	3046		34132		0.2	0.09	0.32
76MAI	5.6	6.3 (7)	10070		44202		0.5	0.09	0.37
76JUN	3.1	6.8 (8)	4649		48851		0.2	0.08	0.38
76JUL	2.2	6.1 (9)	3912		52763		0.2	0.09	0.46
76AUG	3.1	5.8 (10)	1585		54348		0.1	0.03	0.49
76SEP	3.3	6.4 (11)	7360		61708		0.4	0.12	0.51
76OKT	6.2	10 (12)	26415		88123		1.4	0.22	0.47
	M = 3.4	O = 0.84						M = 0.10	M = 0.36

Tabell 12: Korrosjonsmålinger for stål og sink ved fire målesteder i posefilteranlegg (6).

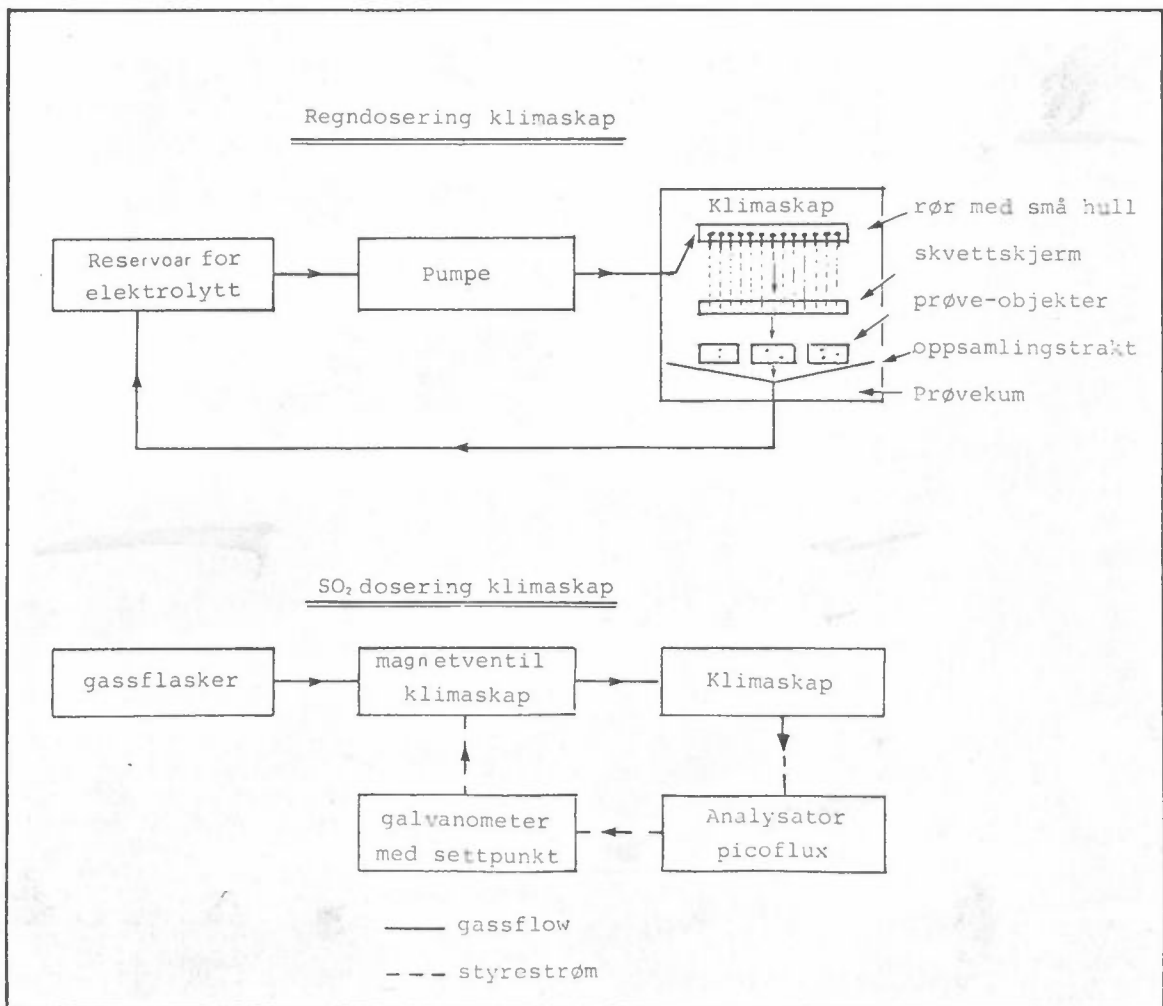
MALESTED I (inne)	vekttap (g/m ²)	Middel	kvantitativ cellefaktor vektplater celle	Våttid (% av totaltiden)
Vektplater: Fe 29 (blank)	2.	3.05		
Fe 30 (")	3.3			
Zn 90 (")	21.6	20		
Zn 91 (")	18.5			
Zn 86 (forekspont)	17.4	18.5		
Zn 89 (- " -)	19.6			
Celler : Fe/Fe 16 (blank)	4.7 · 10 ⁻³		0.002	7.3 (3.1%)
Fe/Fe 14 (forekspont)	48.2 · 10 ⁻³		0.02	
(Zn/Zn 60 (blank)	53.9 ("kortsuttet")		(27)	
Zn/Zn 59 (forekspont)	6.7		0.33	
44.7 (19.1%)				
<u>MALESTED III (inne)</u>				
Vektplater: Fe 27 (blank)	14.7	16.3		
Fe 28 (")	17.9			
Zn 88 (")	5.5			
Zn 89 (")	5.4			
Celler : Fe/Fe 13 (forekspont)	0.86		0.05	47.9 (20.5%)
<u>MALESTED IV (ute)</u>				
Vektplater: Fe 31 (blank)	12.3	12.5		116.6 (50%)
Fe 32 (")	12.6			
Zn 92 (")	4.0			
Zn 95 (")	4.1			
Celler : Fe/Fe 4 (blank)	6.6		0.53 (cellene lant fra vegg og gitt vater: enn plate som står nærmere	100.7 (43.1%)
Zn/Zn 66 (forekspont 300 µm)	0.31		0.08	
<u>MALESTED V (Filterhus - 71, inne)</u>				
Vektplater: Fe 33 (blank)	11.1	9.8		
Zn 93 (")	9.5			
Zn 94 (")	10.2			



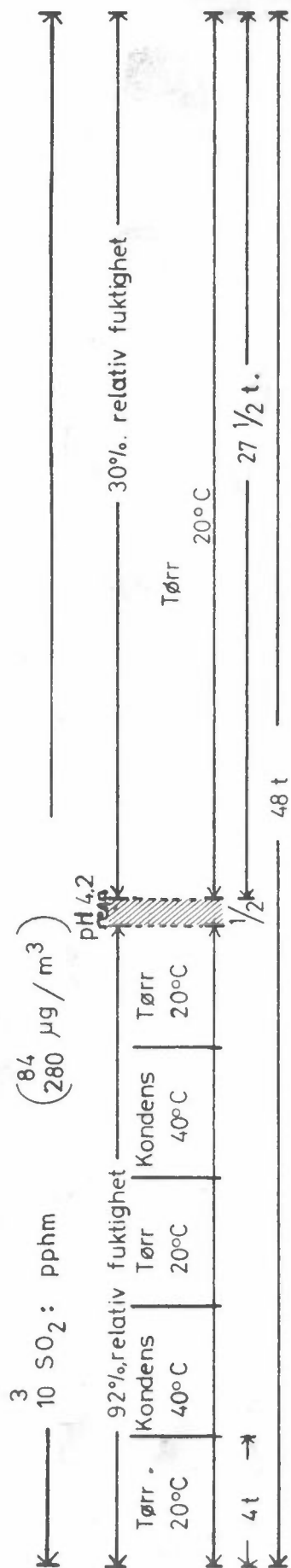
Figur 1: Elektrokjemisk Zn/Zn-celle (a), strømintegrator (b).



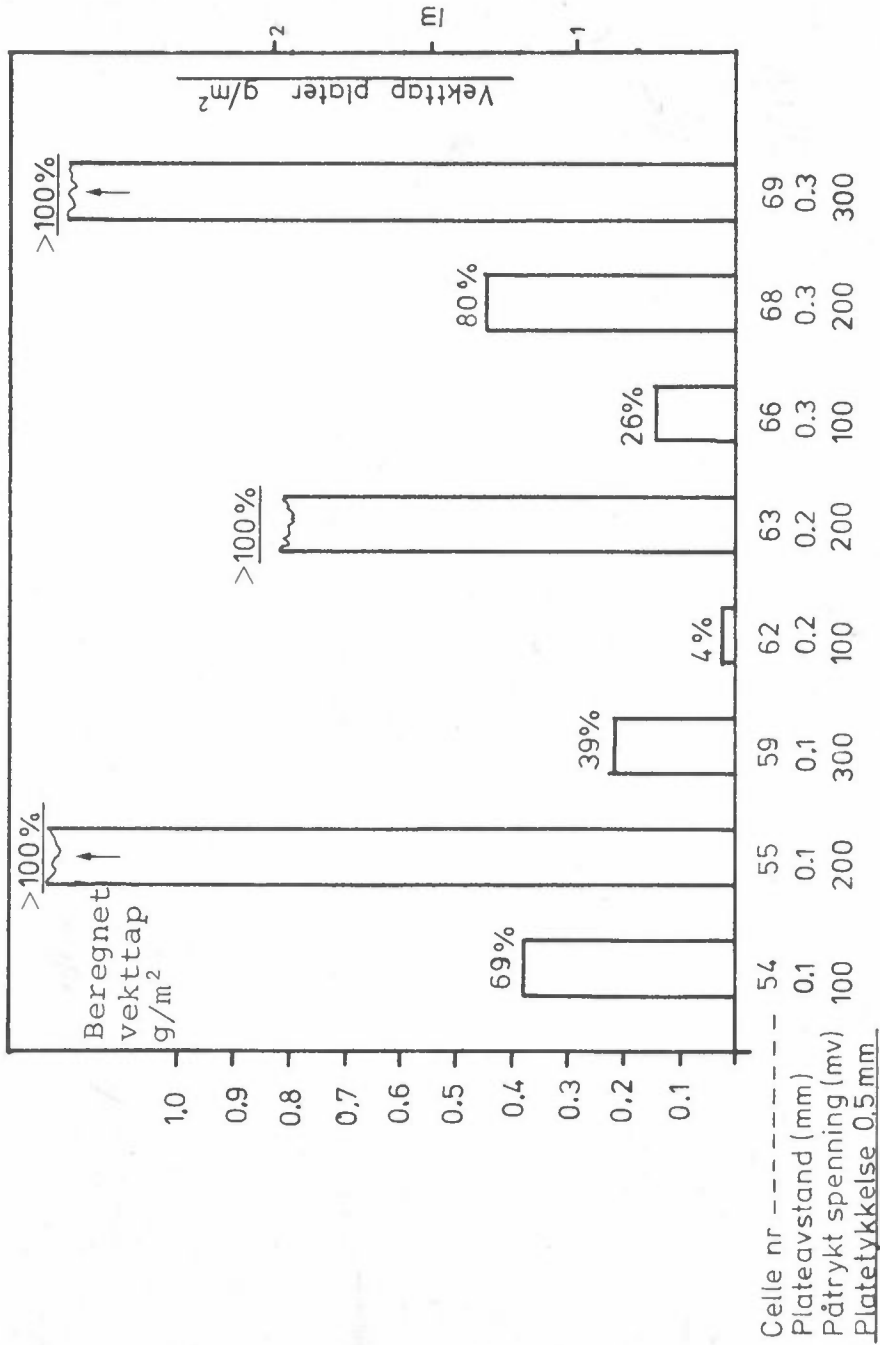
Figur 2: Klimaskap



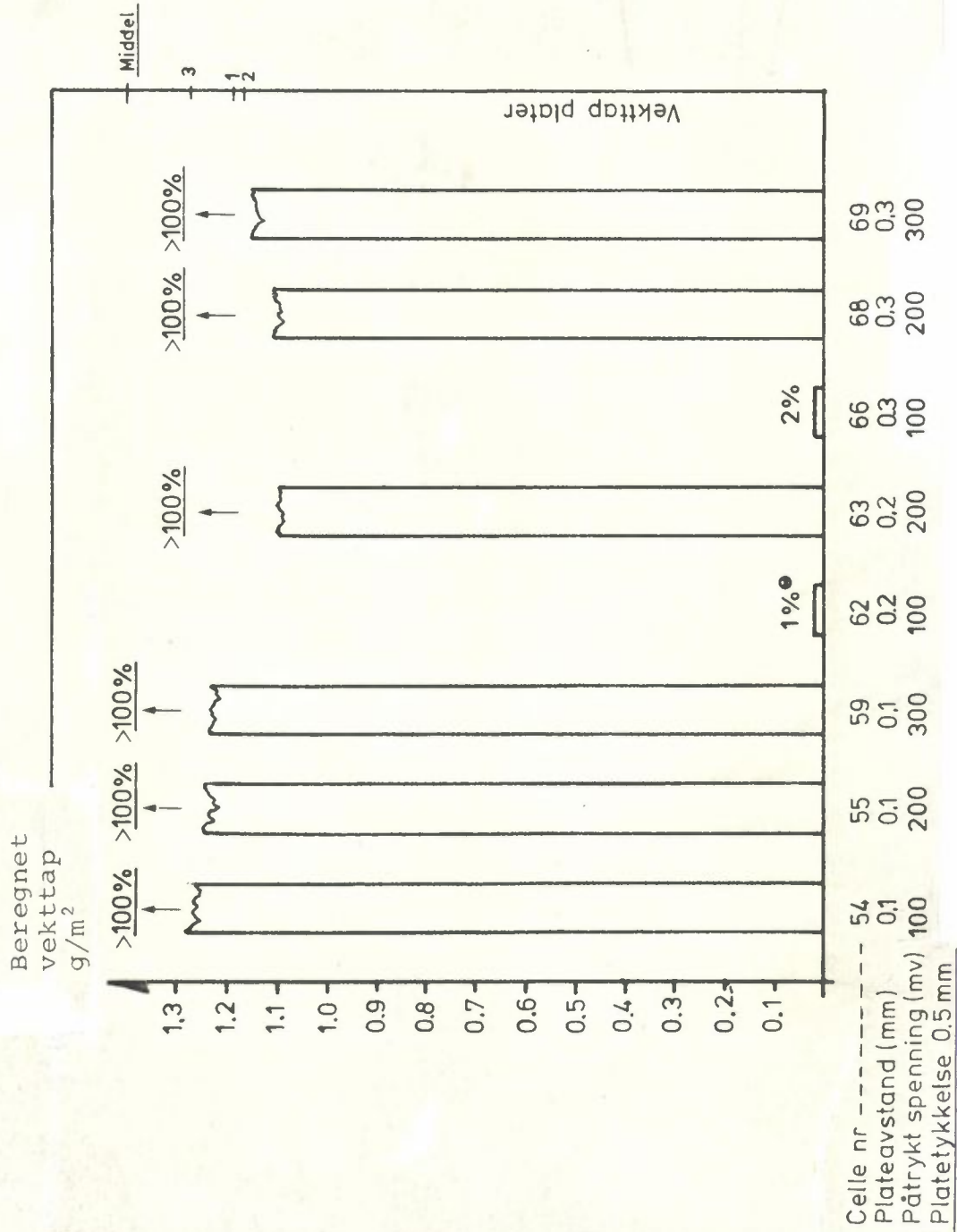
Figur 3: Skisse av doseringsanlegg for regn og SO₂ til klimaskap



Figur 4: Prøveprogram for simulering av industriatmosfære i klimaskap.



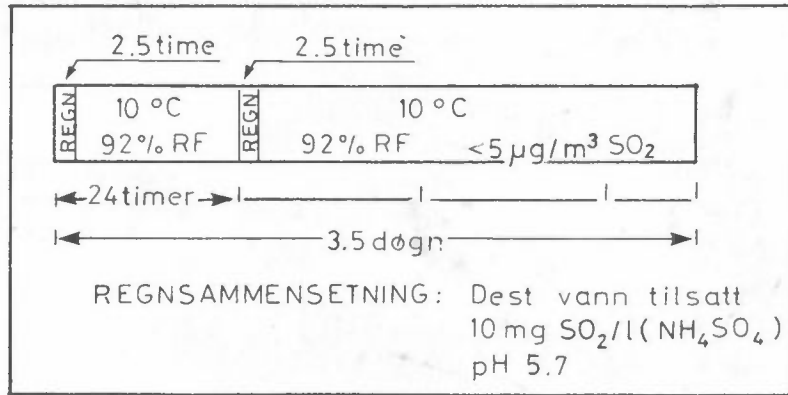
Figur 5: Resultat av 1 ukes utprøving av ulike elektrolytiske Zn/Zn-celler i klimaskap. Prøveprogram fig. 4, 80 µg SO₂/m³



* I forsøket 8/3-15/3 var cellefaktoren >> 100% (tabell 5).

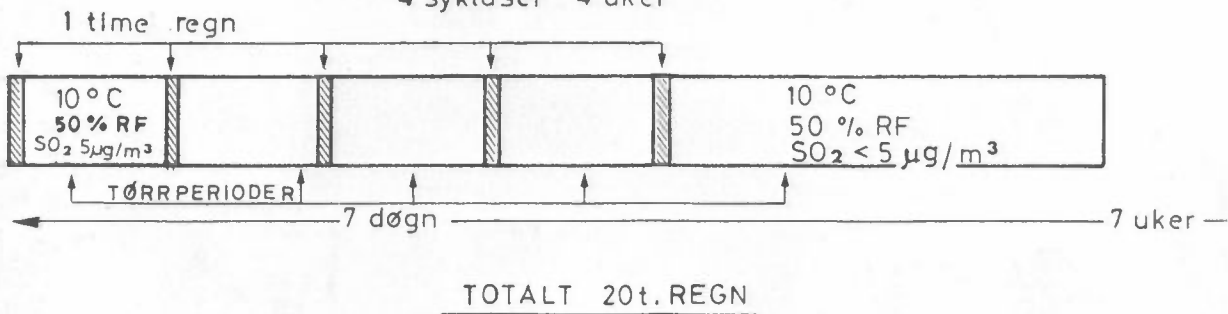
Figur 6: Resultat av 1 ukes utprøving av ulike elektrolytiske Zn/Zn-celler i klimaskap. Prøveprogram fig. 4, 280 µg SO₂/m³. Datoer: 1-8/3, 8-15/3-77.

PRØVESYKLUS
4 sykluser 4 uker



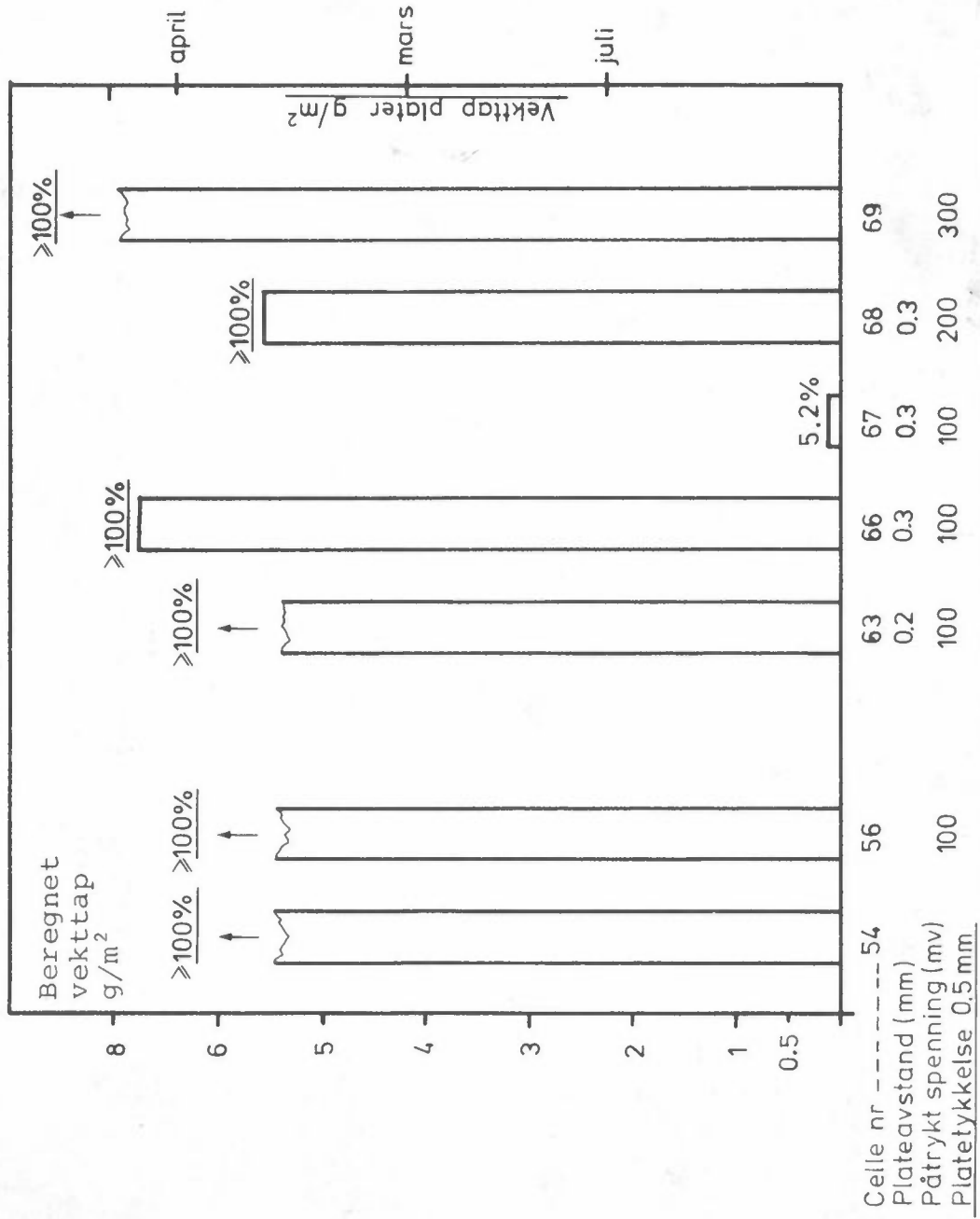
Prøveprogram I

PRØVESYKLUS
4 sykluser 4 uker

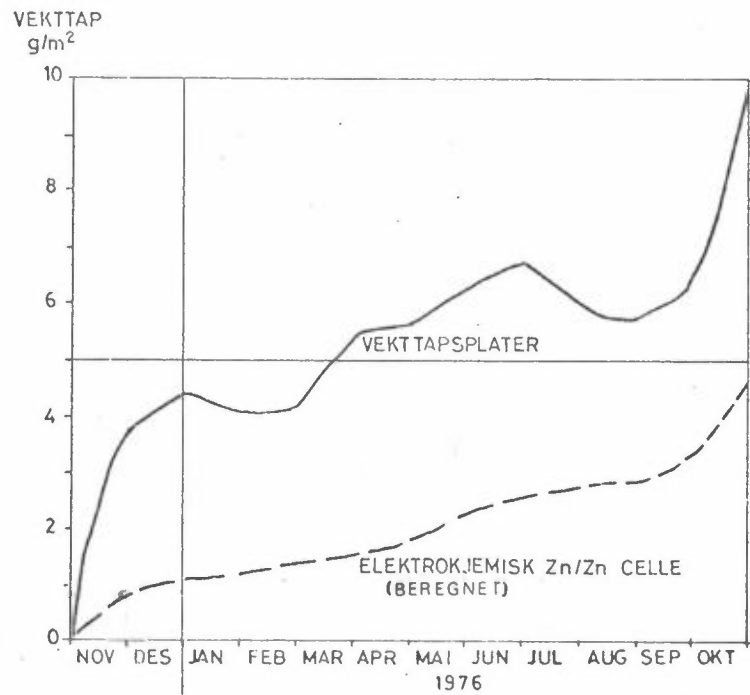


Prøveprogram II

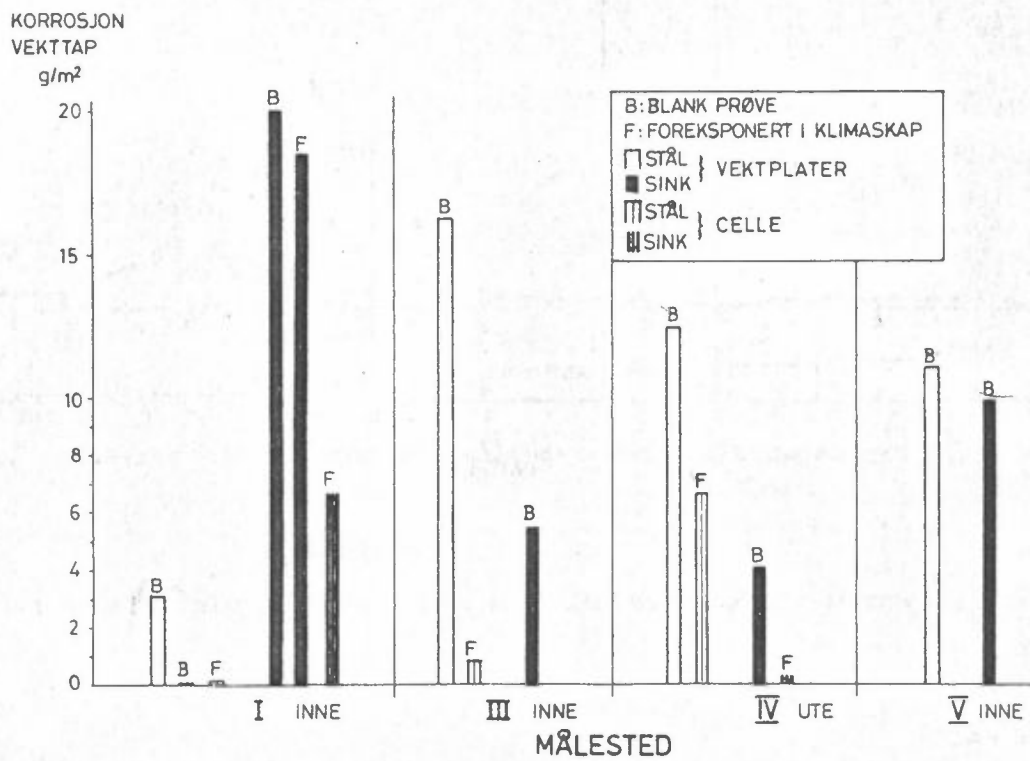
Figur 7: Prøveprogram 1 - simulering av landatmosfære med store mengder sur nedbør.



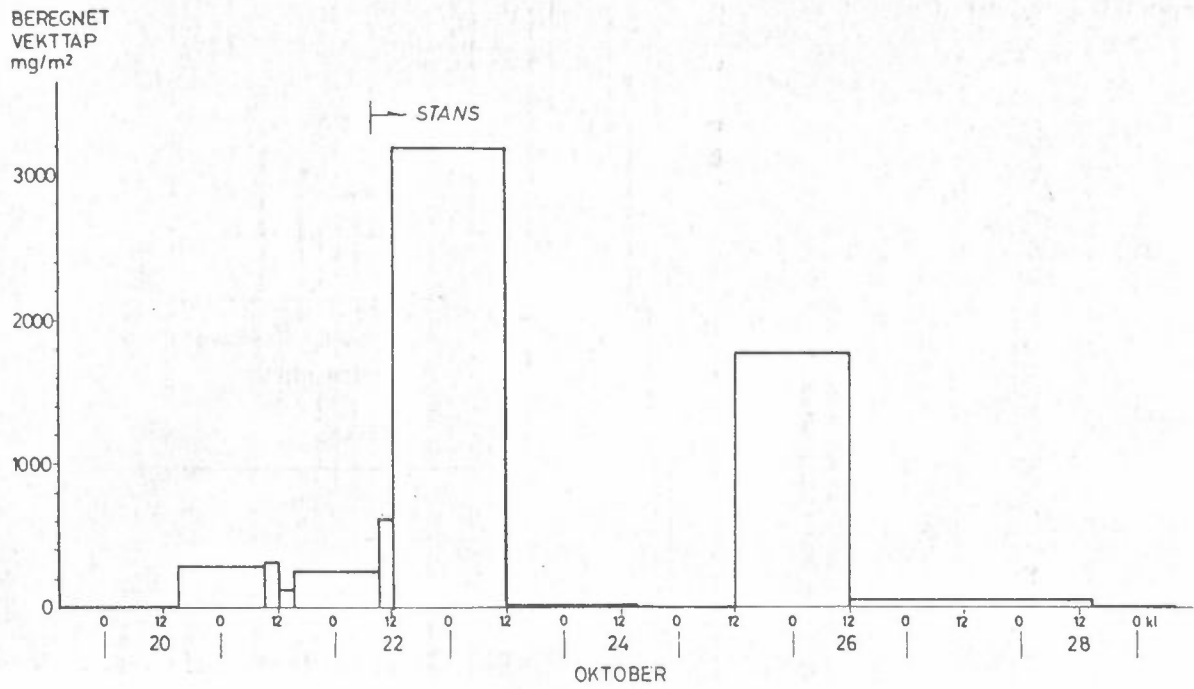
Figur 8: Resultat av uteeksponeringsforsøk med elektrolytiske Zn/Zn-celler på Borregaard månedene mars, april, juli 1976.



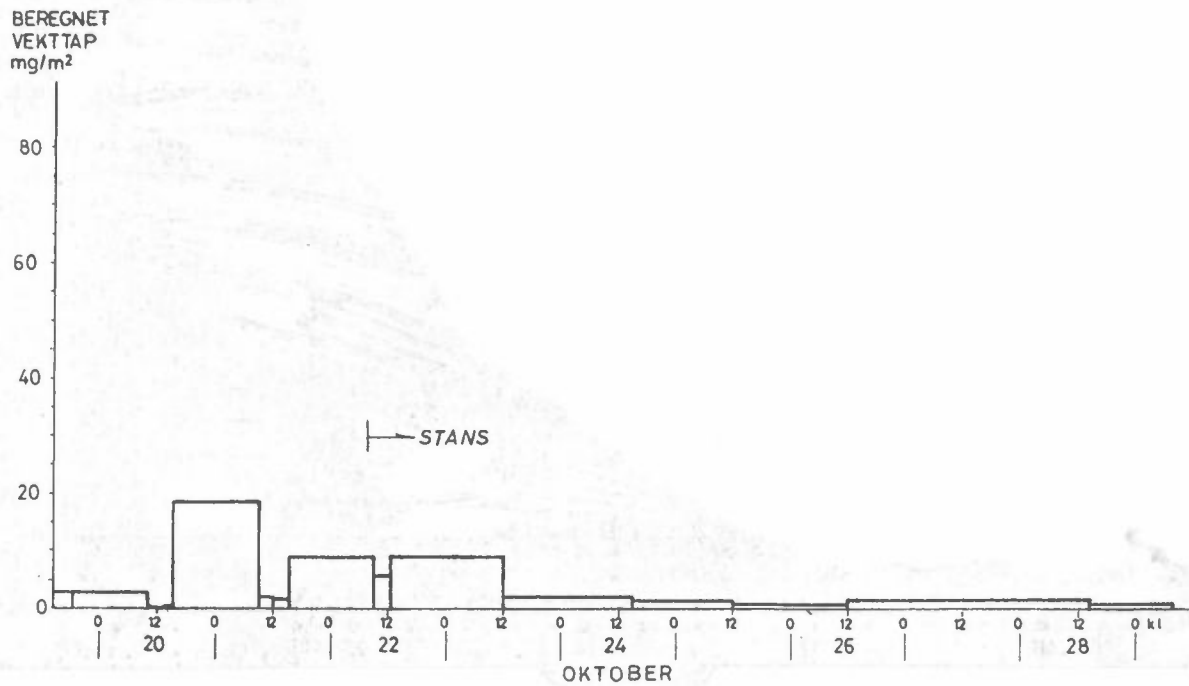
Figur 9: Korrosjon av kontinuerlig eksponerte Zn-plater og elektrokjemisk Zn/Zn-celle på Birkenes (3).



Figur 10: Korrosjon av stål og sink ved posefilteranlegg (6).



Figur 11: Beregnede vekttap fra målinger med elektrokjemisk Zn/Zn-celle (I) (6).



Figur 12: Beregnede vekttap fra målinger med elektrokjemisk Fe/Fe-celle (I) (6).

SK.