



# Statlig program for forurensningsovervåking

RAPPORT NR 233/86

Oppdragsgiver

Statens forurensningstilsyn

Deltagende institusjon

NILU

## BASISUNDERSØKELSE AV LUFTKVALITETEN I BERGEN, 1983 – 1985

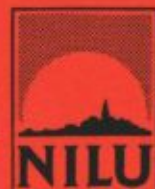
### KORROSJON OG MILJØ

DELRAPPORT B



Norsk institutt for luftforskning

Postboks 130 – 2001 Lillestrøm



NILU OR : 56/86  
REFERANSE: 0-8249  
DATO : OKTOBER 1986  
ISBN : 82-7247-730-0

**BASISUNDERSØKELSE AV LUFTKVALITETEN  
I BERGEN 1983-1984**

Delrapport B: Korrosjon og miljø

Svein E. Haagenrud

Jan F. Henriksen

Frederick Gram

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING  
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM  
NORGE



**INNHold**

	Side
FORORD .....	5
KONKLUSJON .....	7
SAMMENDRAG .....	9
GRUNNLAGSMATERIALE 1: BAKGRUNN, MÅLEPROGRAM OG DATABEHANDLING .....	13
GRUNNLAGSMATERIALE 2: METEOROLOGISKE MÅLINGER OG UNIFORMT KLIMA ....	15
GRUNNLAGSMATERIALE 3 - LUFT OG NEDBØRKVALITET .....	23
GRUNNLAGSMATERIALE 4 - BEREGNET KVARTALS- OG ÅRSVERDIER FOR MILJØ- VARIABLE	26
GRUNNLAGSMATERIALE 5 - MÅLTE KORROSJONSHASTIGHETER .....	38
GRUNNLAGSMATERIALE 6 - DOSE-EFFEKT RELASJONER FOR STÅL .....	50
GRUNNLAGSMATERIALE 7 - DOSE-EFFEKT RELASJONER FOR SINK, KOPPER OG ALUMINIUM .....	59
REFERANSER .....	63



## FORORD

Etter oppdrag fra Statens forurensningstilsyn (SFT) har Norsk institutt for luftforskning (NILU) gjennomført en basisundersøkelse av luftkvaliteten i Bergen i perioden 1983-1985 som et ledd i Statlig program for forurensningsovervåking.

Hensikten med basisundersøkelsen har vært å gi

- informasjon om konsentrasjonsnivåer og befolkningens eksponering for luftforurensninger.
- grunnlag for å vurdere tiltak mot luftforurensninger.
- grunnlag for å vurdere behovet for rutinemessig overvåking av luftkvaliteten i framtiden.

Undersøkelsen vil bli etterfulgt av en analyse der ulike forurensningsbegrensende tiltak vurderes. Analysen skal munne ut i en prioritert rekkefølge av forurensningsbegrensende tiltak som bør settes i verk. Tiltakene skal vurderes ut fra kostnadseffektivitet.

Resultatene av undersøkelsen dokumenteres med rapportene på listen nedenfor.

Hovedrapporten og Delrapport A er skrevet med aktive overskrifter som oppsummerer resultatene av hvert delement i undersøkelsen. Disse understrekede avsnitt gir en oversikt over hovedresultatene av undersøkelsen.

### Rapportliste

#### Hovedrapport

SFT rapport 236/86  
NILU rapport OR 58/86

Delrapport A. Målinger av meteorologi og luftkvalitet. SFT rapport 232/86  
Eksponering og helsevirkninger. NILU rapport OR 54/86

Delrapport B. Korrosjon og miljø. SFT rapport 233/86  
NILU rapport OR 56/86

Delrapport C. Spredningsberegninger.	SFT rapport 234/86 NILU rapport OR 49/86
Delrapport D. Utslippskartlegging.	SFT rapport 235/86 NILU rapport OR 57/86
Datarapport I. Måleresultater januar-august 1983 Kartlegging av oljeforbruk 1982.	SFT rapport 198/85 NILU rapport OR 55/85
Datarapport II. Måleresultater september 1983- februar 1984. Kartlegging av olje- forbruk 1983.	SFT rapport 212/86 NILU rapport OR 6/86
Parameterisering av nettostrålingen og den følbare varmeflux i Bergen.	NILU rapport TR 12/83
A numerical model suitable for the simulation of a broad class of circulation systems on the atmospheric mesoscale.	NILU rapport (under arbeid 1986)
Forslag til plan for basisundersøkelsen i Bergen 1983-1985.	NILU rapport OR 4/83

Rapportene kan fåes ved henvendelse til NILU og Statens forurensningstilsyn.

Under basisundersøkelsen har NILU hatt samarbeide med og betydelig hjelp fra følgende institusjoner i Bergen: Geofysisk institutt ved Universitetet i Bergen, Kjemiavd. ved Bergen Ingeniørhøgskole, Helseseksjonen og Feiervesenet i Bergen kommune, Hordaland fylkeslaboratorium og Vervaslinga på Vestlandet.

## KONKLUSJON

Utenom fuktbelastning er det lav og jevn belastning av korrosjonsbestemende variable ( $\text{SO}_2$ , surhet og sjøsalt) i Bergen. Korrosjonshastigheten av metallene stål, sink og aluminium er derfor relativt lav og like stor i hele Bergensområdet (resultatene ligger mellom Hoff og Alvim i Sarpsborg-Fredrikstad). Korrosjonshastigheten er dårlig korrelert med andre miljøvariable enn nedbørmengde og våttid.

For alle metallene beskrives årskorrosjonen best ved enkeltvariabelen våttid. For kopper og aluminium har enkeltvariabelen kloridbelastning like høy korrelasjonskoeffisient. For disse enkeltvariablene er korrelasjonskoeffisienten for det meste  $>0.8$ . (Restvarians 36%). For stål og sink økes korrelasjonen noe ved å inkludere henholdsvis  $\text{SO}_2$  alene eller i kombinasjon med kloridkonsentrasjonen i nedbøren, og  $\text{H}^+$ -konsentrasjonen i nedbøren (for sink).

$\text{SO}_2$ -nivået er så lavt at det ikke har noen vesentlig innvirkning på korrosjonshastigheten i Bergen. Fordi den relativt like og lave korrosjonshastigheten i Bergen er bestemt hovedsaklig av fuktforholdene, og ikke av  $\text{SO}_2$ -konsentrasjonen, har vi ikke beregnet korrosjonskart ut fra utslippstall for  $\text{SO}_2$  for Bergen.

Til sammen utgjør databasen for S-F-undersøkelsen og Bergen-undersøkelsen et grunnlag for utvikling av dose-effektsammenhenger for stål, sink, kopper og aluminium under ulike klimaforhold (våttid og nedbørmengde) og luft- og nedbørkvalitet ( $\text{SO}_2$ , kloridkonsentrasjonen og surhet i nedbøren).





## SAMMENDRAG

Korrosjonsundersøkelsen i Bergen har hatt to hovedmål. For det første å etablere sammenhenger mellom miljøvariable og korrosjon (dose-effekt) for fire metaller i et så lite geografisk område at klimaet er tilnærmet det samme for området. Da vil variasjonene i korrosjon skyldes variasjon i et fåtall forurensningsparametre. Slike dose-effekt sammenhenger er nødvendige for å kunne beregne skadevirkninger og for å kunne vurdere tiltak for reduksjon av slike skadevirkninger.

Den andre hovedhensikt har vært å bestemme omfanget av korrosjonen i området.

En tredje hensikt kan være å sammenligne dataene fra basisundersøkelsen i Bergen med de fra basisundersøkelsen i Sarpsborg/Fredrikstad (S-F) for å kunne utvikle dose-effekt relasjoner gjeldende for et bredt spekter av klimavariasjon (våttid, nedbørmengde),  $SO_2$ -konsentrasjoner og nedbørkvalitet. Dette vil eventuelt være en separat rapport.

De sju grunnlagsmaterialene omhandler:

- 1) Bakgrunn for prosjektet, det utførte måleprogram og metoder for behandlingen av måledataene. Korrosjonsmålinger av stål, sink, kopper og aluminium samt målinger av  $SO_2$  og nedbørmengde/-kvalitet er utført på 11 stasjoner i perioden 1983-01-01 til og med 1984-12-31. I tillegg er de klimatiske parametre registrert på enkelte stasjoner. For å undersøke sammenhengen er flere standard statistiske testmetoder benyttet. Det er testet på ulikheter både i enkeltvariablers middelerverdier og i koeffisienter i lineære regresjonslinjer.
- 2) Meteorologiske måledata og sammenligning av disse for å undersøke hypotesen om samme klima for området. Sammenligningen av temperatur, relativ fuktighet og våttid fra Skjold og fra Meteorologisk institutts stasjon på Florida, samt av nedbørmengder målt på samtlige stasjoner i hele perioden, viser at hypotesen om samme klima for området bare er tilnærmet riktig. Det er høyere temperatur på Florida enn på Skjold, men lavere

relativ fuktighet og våttid (ca 10%). Målegrunnet, både i tid og rom, er for dårlig til å gi noen god vurdering av uniformiteten av våttid i måleområdet.

- 3) Luft- og nedbørkvalitetsmålinger for området. For svoveldioksid i luft er de månedlige middelveidene på alle stasjonene så lave at de ifølge internasjonal standard for klassifisering av korrosjonsmiljø ligger i bakgrunnsnivået ( $<12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Nedbørkvaliteten ( $\text{H}^+/\text{pH}$  og kloridkonsentrasjonen) er den samme i hele området. Surheten er lavere og kloridkonsentrasjonen høyere (dobbelte) enn i S-F-området.
- 4) Beregnete kvartals- og årsverdier for aktuelle miljøvariable som skal brukes i regresjonsanalysene for utvikling av dose-effekt relasjoner. De beregnede kvartalsverdier viser for de aktuelle miljøvariable små variasjoner fra kvartal til kvartal på de enkelte stasjoner. Sammenlignet med 1984 viser de beregnede årsverdiene for 1983 klart høyere våttid, vesentlig mer nedbør og derfor også vesentlig høyere kloridbelastning.
- 5) Korrosjonsmålingene. Både måneds-, kvartals- og årskorrosjonen av stål viser at det er svært liten forskjell i korrosjonen mellom stasjonene. Stasjonene er godt korrelert og den midlere korrosjonshastigheten for tidsperiodene ligger ca 30% høyere enn bakgrunnstasjonen Hof og ca 30% lavere enn korrosjonen i byområdene i S-F. Det er klart høyere korrosjon på stål i 1983 enn i 1984. Sink, kopper og aluminium viser også omtrent samme korrosjonshastighet for hele området, og med klart høyere korrosjon i 1983 enn i 1984. For sink er den gjennomsnittlige korrosjonen i Bergen omtrent den samme som i byområdene i S-F. For kopper og aluminium er den gjennomsnittlige korrosjonen ca 20% lavere enn i byområdene i S-F.
- 6) Dose-effekt relasjonene for stål på måneds-, kvartals- og årsbasis. Relasjonene er utviklet ved mutipel lineær regresjonsanalyse. Korrelasjonene er generelt lave. Våttid og/eller nedbørmengde gir best korrelasjon og man kan også se visse forbedringer av sammenhenger ved inkludering av ledd som surhet i nedbøren, produkt av  $\text{SO}_2$  og våttid, produkt av  $\text{SO}_2$  og kloridkonsentrasjonen i nedbør. Korrelasjonen er best for årsverdiene. På

grunn av lavt forurensningsbidrag fra  $\text{SO}_2$  i relasjonene vil en ikke regne ut kart for korrosiviteten i Bergen basert på modellberegningene av  $\text{SO}_2$ .

- 7) Dose-effekt relasjonene for sink, kopper og aluminium på årsbasis ved de to ett års eksponeringene i 1983 og 1984. Årskorrosjonene av alle tre materialene er rimelig bra beskrevet av relasjoner som inneholder nedbørmengde (mm) eller våttid (TOW). Dessuten er det god korrelasjon med kloridbelastningen i nedbøren. For alle relasjonene sett under ett er det en gjennomsnittlig uforklart varians på ca 35%.

Uniformiteten i korrosjonsmiljøet i området og formen på dose-effekt relasjonene gjør det lite interessant å beregne bidraget fra det enkelte ledd i regresjonsligningene.



## GRUNNLAGSMATERALE 1: BAKGRUNN, MÅLEPROGRAM OG DATABEHANDLING

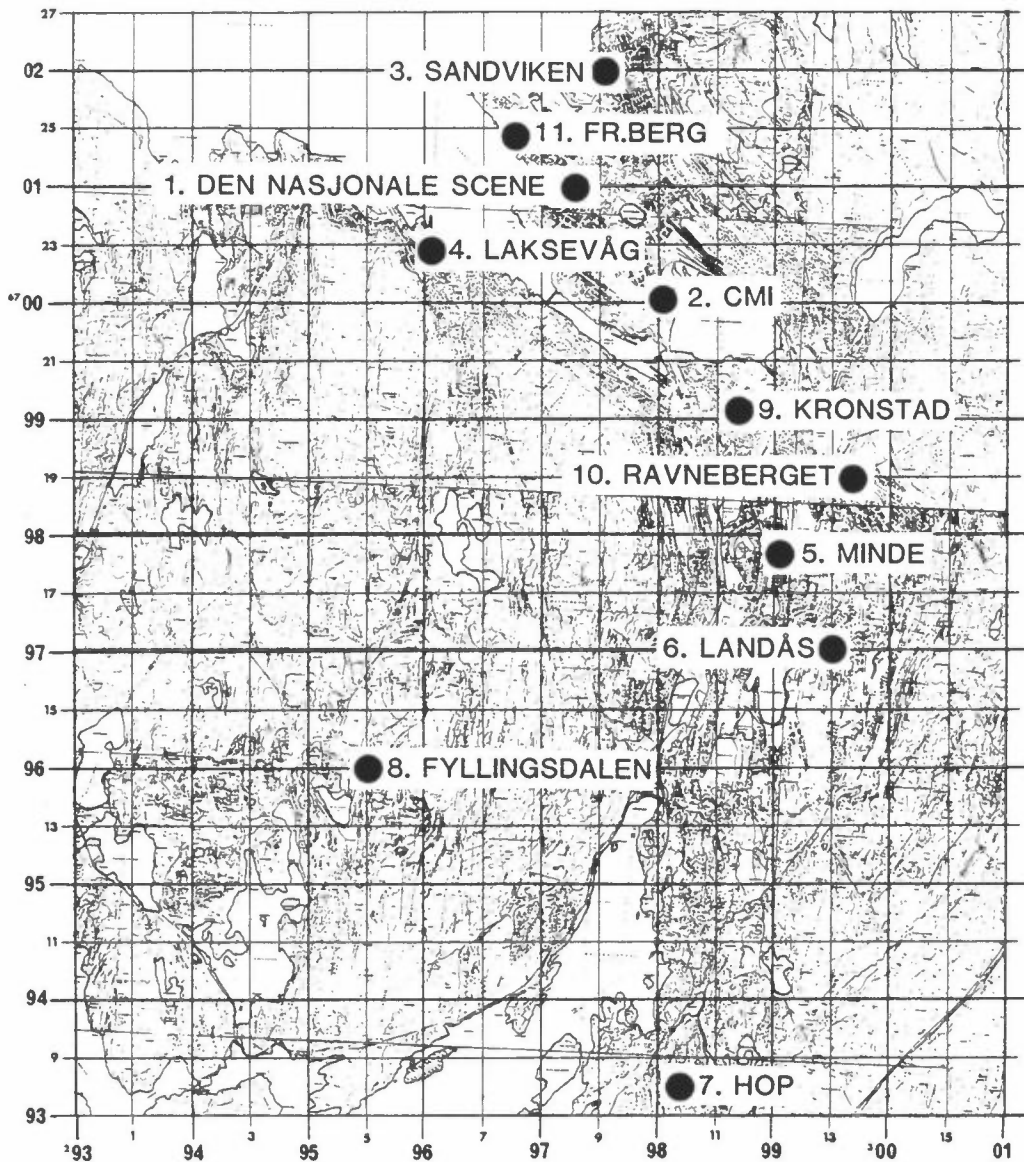
Hovedhensikten med korrosjonsundersøkelsen i Bergen har vært å etablere sammenhenger mellom miljøvariable og korrosjon (dose/effekt), og å bestemme omfanget av korrosjonen.

Dose-effekt-sammenhenger er nødvendige for å kunne beregne skadevirkninger og for å kunne vurdere tiltak for reduksjon av slike skadevirkninger. Den samtidige virkningen av mange miljøvariable er et problem ved bestemmelsen av slike relasjoner. Ved basisundersøkelsen foretas undersøkelsene i et såvidt begrenset geografisk område at de klimatiske forhold kan antas å være uniforme innen området. Dersom dette er riktig vil en eventuell variasjon i korrosjonen skyldes et fåtall forurensningsparametre i luft og nedbør.

Tidligere har en gjort basisundersøkelse i S-F (Haagenrud et al., 1984) hvor klima var tilnærmet likartet i området, og hvor hovedvariasjonen i korrosjonen skyldtes ulike  $\text{SO}_2$ -nivåer. I forhold til basisundersøkelsen i S-F er undersøkelsen i Bergen ment å gi dose-effektsammenhenger i et kystklima hvor en ventet å finne synergistiske effekter mellom  $\text{SO}_2$  og sjøsalt i luft og nedbør.

Korrosjonsmålinger av stål, sink, kopper og aluminium samt målinger av  $\text{SO}_2$  og nedbørmengde og -kvalitet er utført på 11 stasjoner i perioden 1983-01-01 til og med 1984-12-31. I tillegg er de klimatiske parametre registert på enkelte stasjoner.

Stasjonsnettets er vist i figur 1. Korrosjonsmålingene omfatter års-eksponeringer av stål, sink, kopper og aluminium, samt kvartalseksponeringer av stål i 2 år. I 1984 er det dessuten foretatt månedseksponeringer av stål. Platene er eksponert åpent i  $45^0$  vinkel med horisontalplanet, vendt mot sør eller dominerende belastningsretning.



Figur 1: Målesteder i Bergen-området.

Prøvene veies før og etter eksponering og korrosjonshastigheten angis som vekttap. Korrosjonsproduktene fjernes ved beising etter standardprosedyrer (Wranglen, 1972). På stasjonene foretas samtidig månedsmåling av nedbøren, samt utfyllende måling av  $\text{SO}_2$  for å få kontinuerlige tidsserier. Nedbøren analyseres med hensyn på pH og Cl. Dessuten er det i 1984 foretatt månedsmålinger av sjøsalt (klorid) aerosoler i luft på de 3 stasjonene CMI, Fyllingsdalen og Fredriksberg.

Temperatur, relativ fuktighet og våttid (tid over 80% relativ fuktighet og temperatur over  $0^{\circ}\text{C}$ ) er målt på Skjold ved Hop. Dessuten foreligger samme type data fra Florida, som er Meteorologisk Instituttets (MI) stasjon.

## GRUNNLAGSMATERIALE 2: METEOROLGISKE MÅLINGER OG UNIFORMT KLIMA.

Hypotesen om samme klima for måleområdet i Bergen er bare tilnærmet riktig. Tabell 1 viser en sammenstilling av temperatur, relativ fuktighet og våttid målt på henholdsvis Florida og Skjold ved Hop skole. Tabell 2 viser de månedlige måledata for nedbørmengder på stasjonene og dessuten våttid fra Florida (TOWF). Sammenligningen av dataene er gjort ved lineære regresjonsanalyser. Korrelasjonsmatrisen sammen med middelerverdier og standardavvik er vist i de samme tabellene.

Det er god korrelasjon for temperatur og ikke signifikante forskjeller hverken i relativ fuktighet eller våttid målt på Skjold (Hop) og Florida (Fredriksberg). Tabell 2 viser at det er tilsynelatende forskjeller i middelerverdiene på relativ fuktighet og våttid på de to stasjonene (10%). Statistiske beregninger viser imidlertid at forskjellen ikke er signifikant på 95% konfidensnivå. Figur 2 og 3 viser sammenhengen mellom henholdsvis temperatur og våttid på de to stasjonene. Beregningene viser at det er for dårlig målegrunnlag, både i tid og rom, til å gi noen entydig konklusjon om uniformiteten av våttid i måleområdet.

Fyllingsdalen har klart lavere nedbør, og Fredriksberg noe høyere nedbør, men ellers er nedbørmengden i måleområdet tilnærmet lik.

De månedlige nedbørmengder på stasjonene er vist i figur 4, mens tabell 2 viser nedbørmengdene og korrelasjonsmatrisen. Det framgår at nedbørmengden på Fredriksberg er jevnt dårlig korrelert med de andre stasjonene. Den Nationale Scene er også noe dårlig korrelert, men ellers ligger korrelasjonskoeffisienten svært høyt. Den gode korrelasjonen framgår også av figur 5, som viser sammenhengen mellom nedbørmengdene målt på Hop og Landås. Den dårligere korrelasjonen mellom Fredriksberg og Hop på den annen side er vist i figur 6.

I det videre arbeid med regresjonsanalyser for å utvikle dose-effekt-sammenhenger vil vi benytte den samme temperatur og våttid for hele måleområdet. Vi benytter målingene på Florida som representative for hele området da denne stasjonen ligger mer i sentrum for målepunktene. For nedbørmengdene har vi reelle måleverdier for samtlige målestasjoner.



Tabell 1: Lineær regresjonsanalyse - sammenheng mellom temperatur (T), relativ fuktighet (F) og våttid (V) målt på Skjold ved Hop (SKJ) og fra Meteorologisk institutts stasjon på Florida (FLO) for 1983.

```

*****
KORRELASJON SKJOLD-FLORIDA

*** KORR ***
  TSKJ   TFLO   FSKJ   FFLO   VSKJ   VFLO
   .00    .90   75.00  69.00  162.00  168.00
   3.20   4.00   81.00  76.00  345.00  318.00
   5.50   6.40   80.00  74.00  352.00  312.00
   7.30  10.30   83.00  76.00  467.00  366.00
  11.40  12.50   82.00  72.00  401.00  270.00
  14.60  14.80   85.00  78.00  404.00  402.00
  12.70  13.60   89.00  81.00  553.00  438.00
  11.90  11.50   87.00  77.00  364.00  360.00
   7.00   8.20   88.00  81.00  472.00  426.00
   4.10   4.90   86.00  82.00  462.00  372.00
   2.80   3.40   83.00  78.00  390.00  330.00
  - .70    .10   73.00  69.00  198.00  198.00
   .90    1.80   79.00  72.00  282.00  252.00

*****

VARIABEL   MIDL   ST.DEV   MAX   MIN   OBS
  TSKJ     6.362   5.179   14.600  - .700   13
  TFLO     7.108   5.047   14.800   .100   13
  FSKJ    82.385   4.823   89.000   73.000   13
  FFLO    75.769   4.362   82.000   69.000   13
  VSKJ   373.385  110.342  553.000  162.000   13
  VFLO   324.000   83.355  438.000  168.000   13

*****

KORRELASJONSMATRISE
  TSKJ  1.000
  TFLO  .997  1.000
  FSKJ  .735  .735  1.000
  FFLO  .493  .494  .916  1.000
  VSKJ  .693  .717  .903  .868  1.000
  VFLO  .706  .710  .940  .934  .920  1.000
        TSKJ  TFLO  FSKJ  FFLO  VSKJ  VFLO

*****

```

Tabell 2: Lineær regresjonsanalyse - sammenheng mellom månedlige nedbørsmengder målt med nedbørsamler på 11 stasjoner og våttid beregnet fra termo-hydrografdata på Florida i perioden 1983-1984.

KORRELASJON KLIMASTASJONER BERGEN

\*\*\* KORP \*\*\*

TOWF	MN.S	MOMI	MSAN	MLAK	MNIN	MLAN	MHOP	MFYL	MKRO	MRAV	MFRE
420.00	266.62	314.65	266.38	332.80	324.34	316.68	337.58	.00	310.51	315.29	324.34
168.00	41.08	113.06	66.94	85.99	137.58	110.83	71.34	.00	119.43	98.73	155.41
318.00	241.40	243.31	228.03	256.37	289.81	297.77	244.59	.00	248.41	259.55	350.50
312.00	13.69	107.64	78.03	101.91	130.89	111.46	94.90	.00	109.24	115.29	214.01
366.00	126.75	157.64	121.66	146.82	160.83	150.00	50.96	.00	163.06	165.61	226.75
270.00	82.10	91.40	39.81	97.13	113.06	106.69	92.36	.00	109.87	108.92	185.35
402.00	114.63	139.49	112.10	149.68	155.73	152.55	131.53	.00	181.53	160.19	239.31
438.00	143.31	181.53	147.45	184.08	144.90	172.81	153.18	.00	224.20	182.48	319.11
360.00	217.33	296.82	245.22	298.41	350.32	284.71	312.10	.00	307.01	350.32	350.32
426.00	493.63	608.28	509.55	582.80	662.74	700.64	700.64	.00	652.87	684.71	700.64
372.00	522.29	313.69	229.94	271.66	272.61	247.77	235.67	.00	291.08	297.13	366.24
330.00	239.49	269.43	265.29	289.17	295.54	271.34	244.59	.00	281.53	290.45	121.34
198.00	167.83	184.08	178.34	196.82	232.80	205.10	172.93	57.96	218.47	185.99	94.27
252.00	79.62	104.46	92.99	123.48	117.20	113.38	96.50	63.06	121.66	89.17	30.57
114.00	7.01	8.92	16.56	5.73	25.80	15.29	4.46	.32	18.79	14.01	.00
324.00	138.85	156.69	143.31	147.77	156.05	142.68	134.71	84.39	249.68	150.00	350.32
222.00	26.43	37.58	12.10	29.62	43.22	43.31	43.22	42.68	31.27	43.22	50.32
252.00	92.36	113.06	97.45	109.55	143.22	138.85	96.82	109.24	138.22	96.82	313.38
300.00	74.20	98.73	96.82	121.66	147.13	94.90	43.95	71.34	105.41	93.63	225.16
396.00	21.66	26.11	3.18	29.62	35.67	42.68	89.81	23.57	22.29	44.27	32.48
294.00	154.14	193.63	160.51	187.90	295.54	201.27	122.29	212.74	204.78	215.29	350.32
402.00	280.25	350.32	305.10	314.01	350.32	350.32	350.32	305.73	350.32	350.32	245.86
324.00	93.31	103.18	129.62	136.31	149.04	135.03	133.12	80.89	133.76	101.27	43.95
330.00	204.78	247.77	238.85	263.06	219.75	203.18	185.99	214.33	254.14	242.04	140.75

\*\*\*\*\*

VARIABEL	MIDL	ST.DEV	MAX	MIN	OBS
TOWF	316.250	84.344	438.000	114.000	24
MN.S	160.137	135.726	522.290	7.010	24
MOMI	185.895	130.922	608.280	8.920	24
MSAN	158.572	114.227	509.550	3.180	24
MLAK	136.015	123.772	582.800	5.730	24
MNIN	206.608	136.440	662.740	25.800	24
MLAN	192.052	140.301	700.640	15.290	24
MHOP	172.732	146.875	700.640	4.460	24
MFYL	105.521	91.180	305.730	.320	12
MKRO	202.814	133.381	652.870	18.790	24
MRAV	194.029	143.561	684.710	14.010	24
MFRE	238.466	153.229	700.640	30.570	23

\*\*\*\*\*

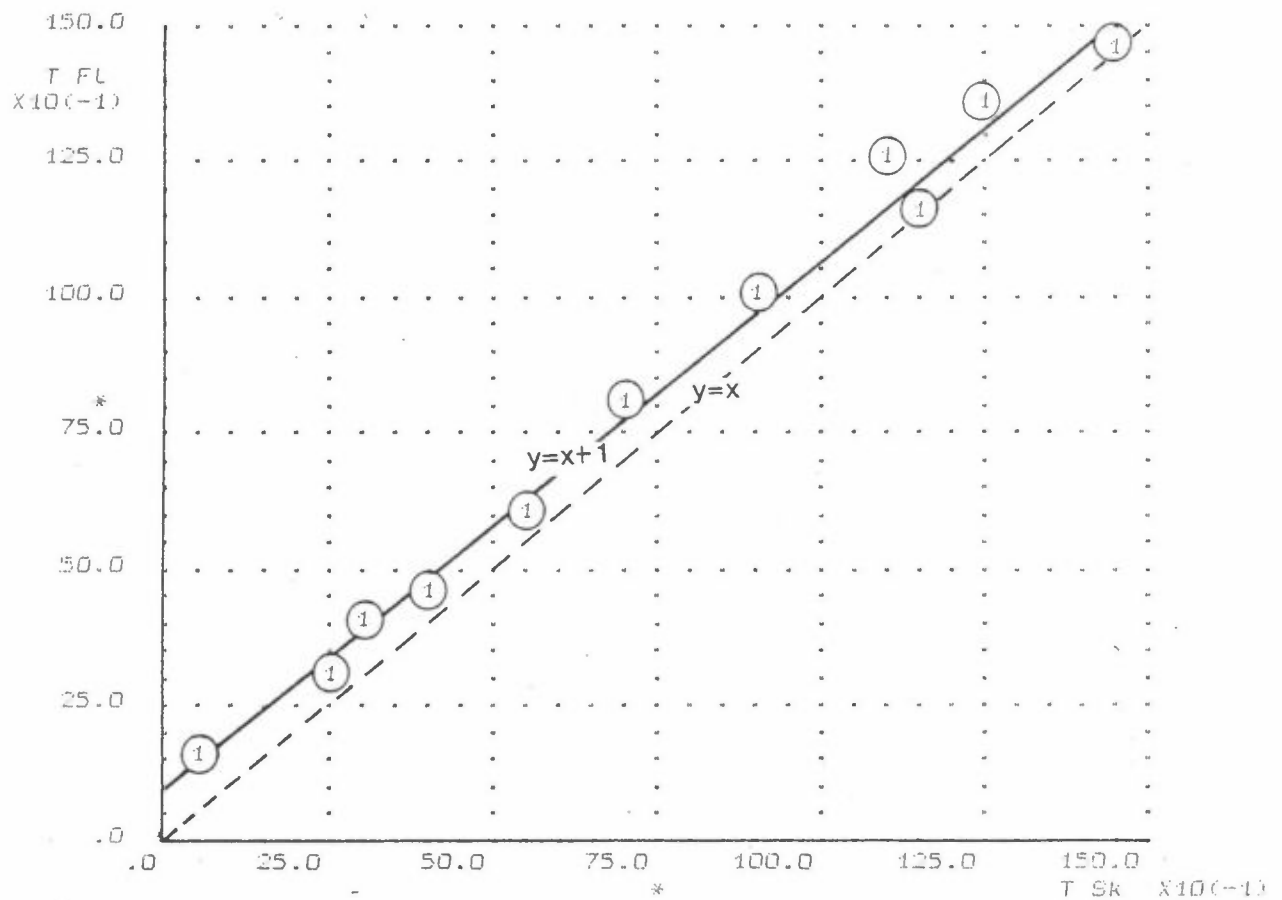
KORRELASJONSMATRISE

TOWF	1.000											
MN.S	.538	1.000										
MOMI	.571	.906	1.000									
MSAN	.535	.376	.934	1.000								
MLAK	.585	.834	.990	.990	1.000							
MNIN	.490	.841	.973	.967	.972	1.000						
MLAN	.532	.844	.978	.969	.976	.981	1.000					
MHOP	.562	.827	.957	.943	.956	.946	.977	1.000				
MFYL	.549	.835	.917	.873	.878	.825	.891	.820	1.000			
MKRO	.566	.871	.925	.977	.979	.961	.974	.953	.875	1.000		
MRAV	.574	.875	.932	.972	.925	.922	.921	.848	.926	.930	1.000	
MFRE	.438	.872	.952	.888	.717	.758	.759	.702	.496	.761	.763	1.000
TOWF	MN.S	MOMI	MSAN	MLAK	MNIN	MLAN	MHOP	MFYL	MKRO	MRAV	MFRE	

\*\*\*\*\*

KORRELASJON R= .995

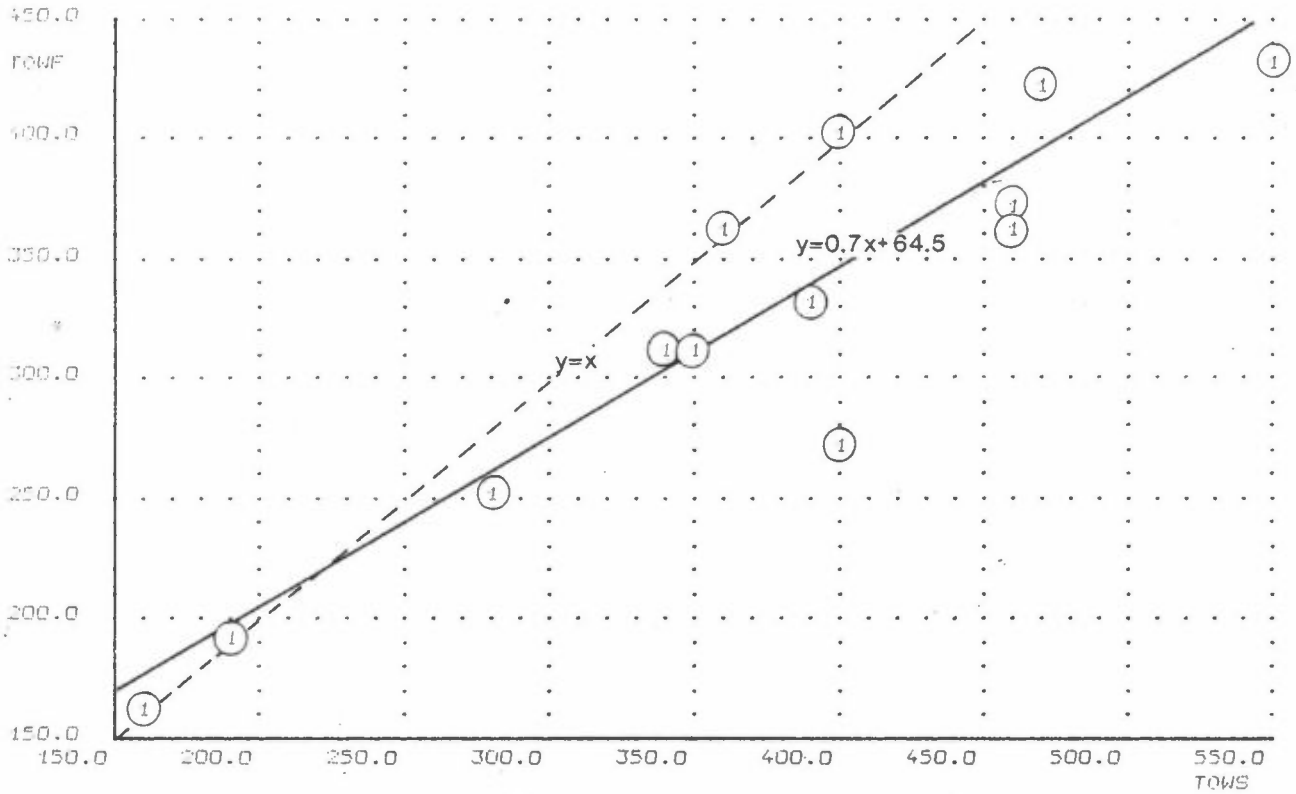
$$T_{FL} = .965 * T_{SK} + .993$$



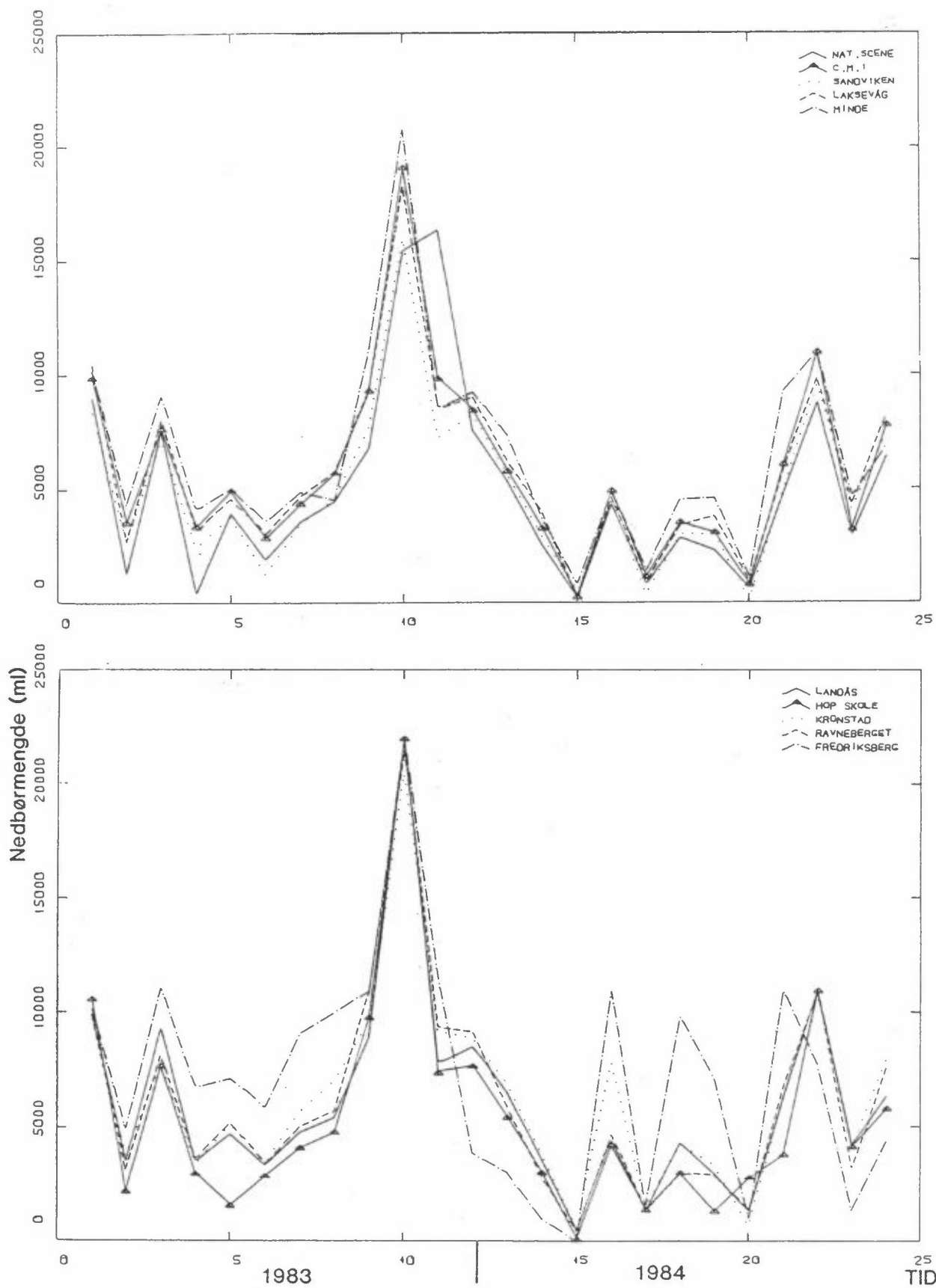
Figur 2: Sammenheng mellom månedlige middeltemperaturer målt på Florida (TFL) og på Skjold (TSK).

KORRELASJON R= .920

$$TOWF = .695 * TOWS + 64.492$$



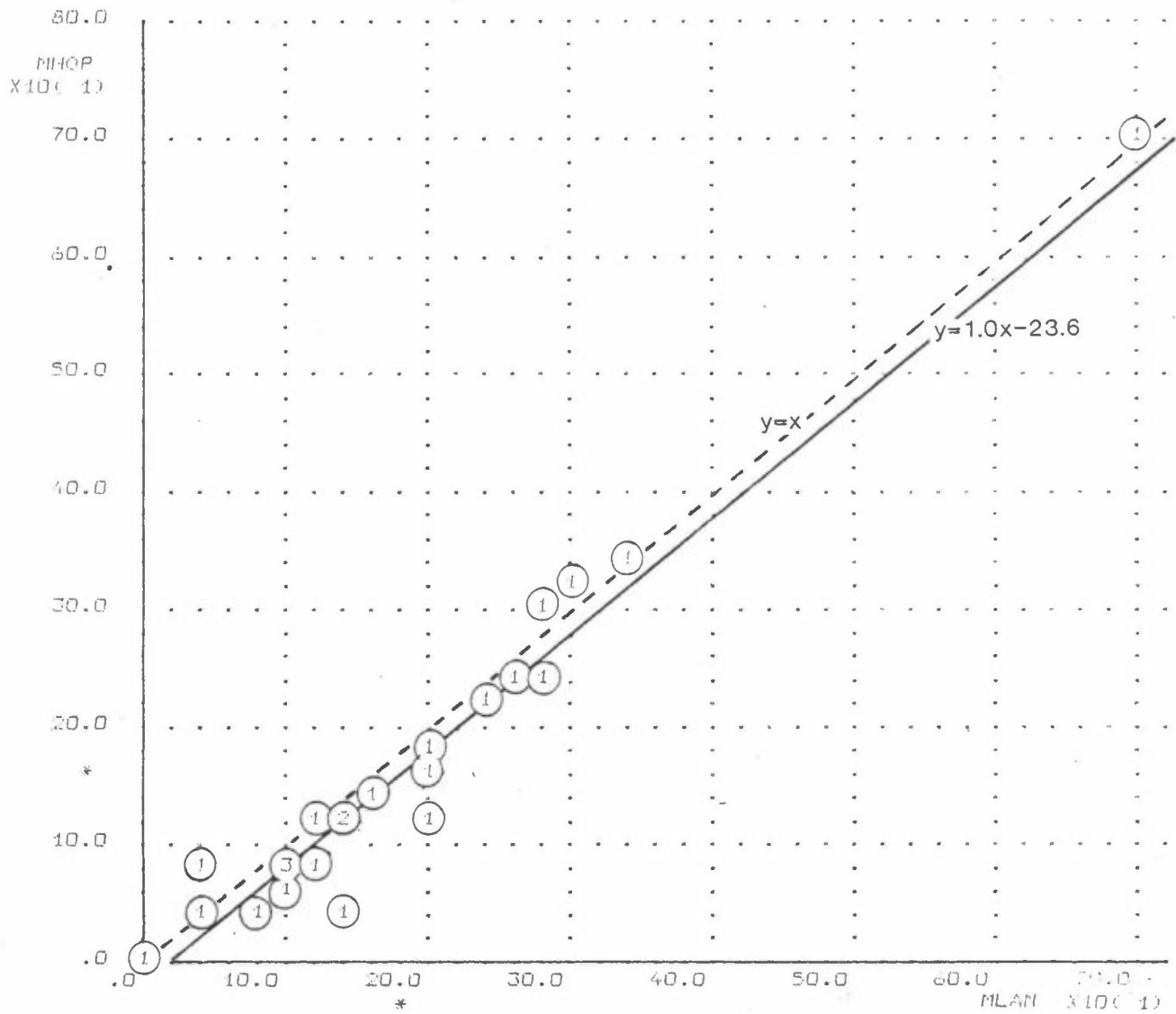
Figur 3: Sammenheng mellom månedlig våttid beregnet fra termohygrografdata på Skjold (TOWS) og på Florida (TOWF).



Figur 4: Månedlige nedbørmengder målt på stasjonene med NILUs nedbørsamler.

KORRELASJON R= .977

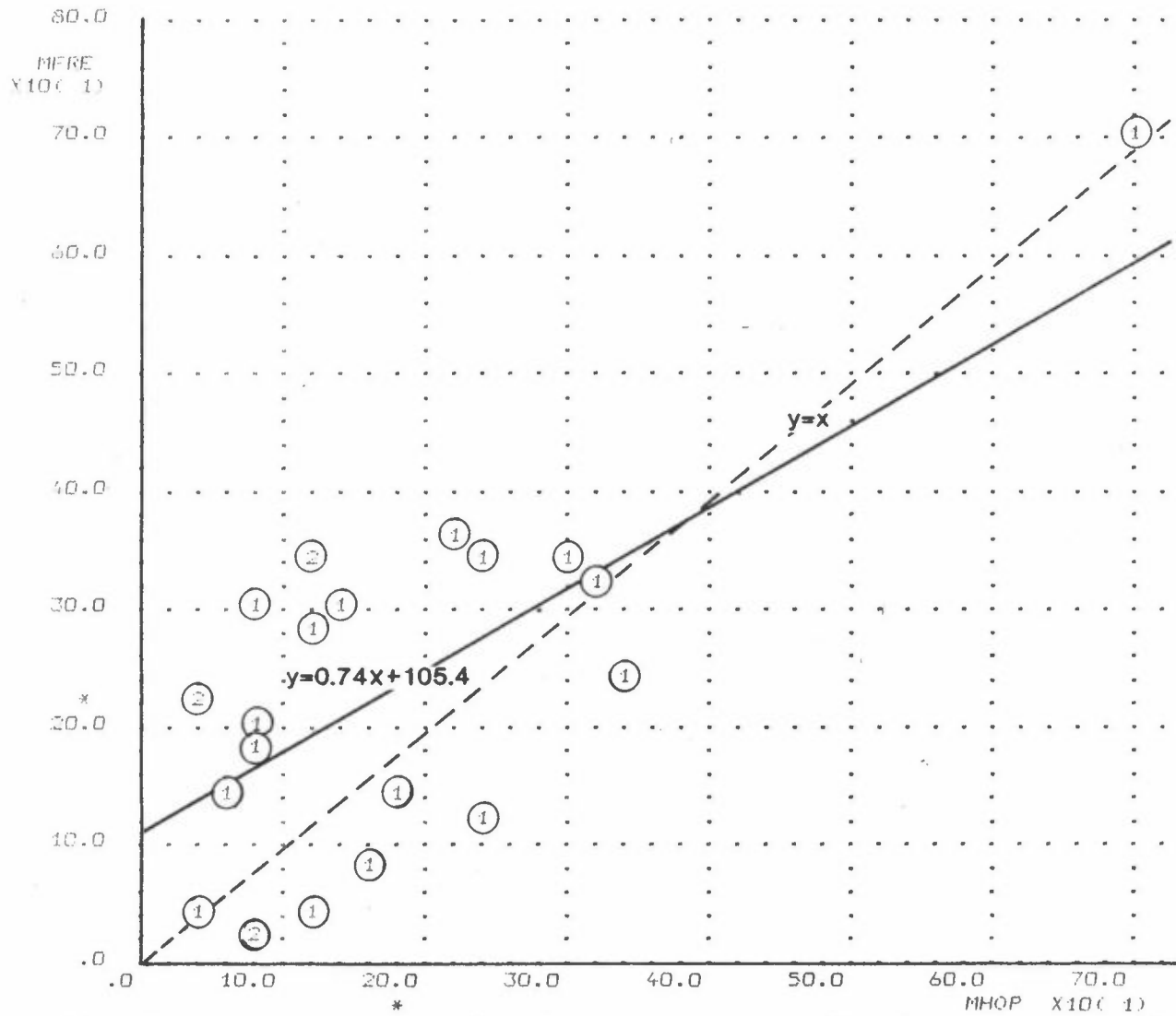
$$MHOP = 1.022 * MLAN + -23.609$$



Figur 5: Sammenheng mellom månedlige nedbørmengder målt på Landås og Hop med NILUs nedbørsamler.

KORRELASJON R= .702

MFRE = .732 \* MHOP + 105.430



Figur 6: Sammenheng mellom månedlige nedbørmengder målt på Hop (MHOP) og på Fredriksberg (MFRE) med NILUs nedbørsamler.

### GRUNNLAGSMATERIALE 3 - LUFT OG NEDBØRKVALITET

For svoveldioksid i luft er de månedlige middelveidene på alle stasjonene så lave at de ligger i bakgrunnsnivået (<12 µg pr m<sup>3</sup>), i følge internasjonal standard for klassifisering av korrosjonsmiljø.

En sammenstilling av de månedlige måledata for de tre første måneder er gitt i tabell 3.

Luftkvalitetsmålingene for korrosjonsformål er basert på bestemmelser av midlere månedskonsentrasjon av svoveldioksid på alle stasjonene. Tabell 4 viser samtlige SO<sub>2</sub>-data, middelveidier og korrelasjonsmatrisen, mens figur 7 viser plott av de samme data. For Sandviken, Laksevåg og spesielt Fyllingsdalen mangler en del SO<sub>2</sub>-målinger. Manglende data er anslått ved sammenligning med de andre stasjonene. Anslåtte data er markert i tabellen.

Korrelasjonsmatrisen viser at de fleste stasjonene er godt korrelert innbyrdes for SO<sub>2</sub>. Unntakene er Hop og delvis Fyllingsdalen. Dette er naturlig siden Hop ligger langt unna bykjernen i landlige omgivelser, og Fyllingsdalen ligger på den andre siden av fjellet, skjermet fra bykjernen. Stasjonene kan grupperes i 2 nivåer. Det første nivået omfatter den indre bykjerne med stasjonene Nationale Scene, CMI, Sandviken, Laksevåg, Kronstad og Fredriksberg, med midlere månedlige SO<sub>2</sub>-konsentrasjon på 11 µg/m<sup>3</sup>. Den andre hovedgrupperingen omfatter stasjonene utenfor denne kjernen, Minde, Landås, Hop, Fyllingsdalen og Ravneberget med en midlere SO<sub>2</sub>-konsentrasjon på 6 µg/m<sup>3</sup>.

Verdiene kan sammenlignes med forslag til internasjonal standard for klassifisering av korrosjonsmiljøet (ISO/TC 156/WG4-DP, 1985). Den laveste klassen av SO<sub>2</sub>, som beskriver bakgrunnsnivået, er definert som <12 µg/m<sup>3</sup>. Det betyr at alle målestasjoner i Bergen vil være plassert i bakgrunnsnivået mht SO<sub>2</sub>-nivået.

Det har vært ganske stor forskjell i midlere SO<sub>2</sub>-nivå i de to vinterperiodene. Vinteren 83 var svært mild med lave SO<sub>2</sub>-nivåer, bortsett fra en del episoder med høye SO<sub>2</sub>-nivåer i februar-83 (figur 7). For den kalde vinteren -84 var det jevnt over høyere SO<sub>2</sub>-nivåer (15-20 µg/m<sup>3</sup>) for de indre bystasjonene.



Klorid-aerosolmengden er for de månedlige middelveier på 3 stasjoner så lave at de i følge internasjonal standard for klassifisering av korrosjonsmiljø ligger i bakgrunnsnivået. Belastningen fra klorid-aerosoler i luft er målt med NILUs aerosolfelle på stasjonene CMI, Fyllingsdalen og Fredriksberg fra februar 1984, figur 8. Midlere månedlig kloridbelastning er for CMI ca. 1 og for de to andre stasjonene ca.  $2 \text{ mg/m}^2/\text{døgn}$ . Dette er samme størrelsesorden som for stasjonene Hoff og Alvim i S-F. Målingene er dårlig innbyrdes korrelert.

I internasjonal standard for korrosjonsmiljø (ISO/TC 156/WG4-1985) er laveste klasse for Cl-aerosoler satt til  $<3 \text{ mg/m}^2/\text{døgn}$ . Disse verdiene refereres til målinger med "wet candle" metoden som gir høyere verdier enn NILU's aerosolfelle.

Nedbørkvaliteten ( $\text{H}^+$ /pH og kloridkonsentrasjon) er den samme i hele området. Surheten er lavere og kloridkonsentrasjonen noe høyere enn i Sarpsborg - Fredrikstad.

Nedbørkvaliteten er undersøkt ved prøvetaking med NILUs nedbørsamler på alle stasjonene, og bestemt for pH og kloridkonsentrasjon. På grunn av det lave svoveldioksidinnholdet har en ikke bestemt sulfat.  $\text{H}^+$  konsentrasjonen er vist i tabell 5. Som en ser er pH-verdiene svært like (middelveier ca. 4,5), men korrelerer innbyrdes dårlig. Minimumsverdiene har for de fleste stasjonene vært litt i underkant av pH4.

Av tabell 6 og figur 9 ser en at klorid-konsentrasjonen for området er omtrent lik, og med en månedlig midlere konsentrasjon på 6,8 mg/l. Dette er ca. det dobbelte av den månedlige middelkonsentrasjonen i S-F-området, bortsett fra Hoff som hadde en middelkonsentrasjon på 11, vesentlig pga. én måned med veldig høy kloridkonsentrasjon (Haagenrud et al., 1984). Et tilsvarende bilde ser en for Bergen hvor mars 84 har en svært høy kloridkonsentrasjon på alle stasjoner (figur 9).

På grunn av mye høyere nedbørmengder og høyere kloridkonsentrasjoner er våtdeponeringen av sjøsalt i Bergen mye høyere enn i S-F. Korrelasjonsmatrisen for klorid-konsentrasjon og belastning i nedbør samt aerosol-belastninger i luft er gitt i tabell 7. På Fredriksberg er det en relativt bra korrelasjon mellom kloridbelastning i luft og i nedbør, (figur 10). På de 2 andre stasjonene (CMI og Fyllingsdalen) er det ingen sammenheng. Vi ser også av figur 10 og regresjonslinjen at forskjellen i måleverdier øker med økende belastning. Ved de høyeste aerosolbelastningene ( $\sim 5 \text{ mg/m}^2/\text{døgn}$ ) har våtdeponeringen vært 10-15 ganger høyere.

#### GRUNNLAGSMATERIALE 4 - BEREGNEDE KVARTALS- OG ÅRSVERDIER FOR MILJØVARIABLE

De beregnede kvartalsverdier viser små variasjoner for de aktuelle miljøvariable fra kvartal til kvartal på de enkelte stasjoner.

De kvartalsverdiene som er beregnet fra grunnlagsmateriale 2 og 3 er vist i tabell 8. Det er liten variasjon i SO<sub>2</sub>.

Sammenlignet med -84 viser de beregnede årsverdiene for -83 klart høyere våttid, vesentlig mer nedbør og også vesentlig høyere kloridbelastning.

Årsverdiene er vist i tabell 9. Svoveldioksid-konsentrasjonen og surhet-/kloridkonsentrasjonen i nedbøren er tilnærmet like i de to årene. Vi har tidligere klassifisert middelveidene for SO<sub>2</sub> og Cl-belastning i forhold til forslag til internasjonal standard for korrosjonsmiljø (ISO/TC 156/WG4-DP 1985). Våttiden er den tredje miljøvariable som karakteriserer korrosjonsmiljøet i følge denne standarden. Våttiden i 1983 (4188 timer - 48,5%) og 1984 (3408 timer - 39,4%) er høy og kommer høyt i klasse 4 (2500 - 5500 timer). Til sammenligning ble det i S-F (Haagenrud et al., 1984) målt våttid på hhv. 2884 timer (33.3%) og 3559 timer (41.2%), som er bare litt lavere (44% mot 37% i middel). Den store forskjellen i fuktbelastning skyldes forskjell i nedbørmengdene, hvor middelnedbøren i Bergen i de 2 årene var hhv. 2873 mm og 1621 mm, mens S-F hadde hhv. 612 mm og 627 mm. I middel er det 3-4 ganger mer i Bergen. Fuktfilmen i løpet av våttiden, og derfor avvaskningsforholdene er derfor helt forskjellige i Bergen og S-F.

Tabell 3: Midlere månedsverdier for luft (SO<sub>2</sub>, Cl, AF) og nedbørkvalitetsvariable (H<sup>+</sup>, Cl-C, Cl-B) for perioden 1983-01-01--1983-04-1.

Cl-C = konsentrasjon

Cl-B = belastning

Cl-AF= aerosolfelt

PERIODE: 8301						
STASJON	NEDBØR MM	H <sup>+</sup> (PH) UG/L	CL-C MG/L	CL-B MG/M2*0	CL (AF) MG/M2*0	SO2 UG/M3
1NATIONALE S	286.6	15.8(4.80)	18.0	171.0		12.0
2C.M.I.	314.6	28.2(4.55)	13.5	141.6		9.0
3SANDVIKEN	266.9	15.8(4.80)	14.0	124.5		10.0
4LAKSEVAG	332.8	3.5(5.45)	16.0	177.5		8.0
5MINDE	324.8	1.8(5.75)	17.0	184.1		9.0
6LANDAS	316.9	3.2(5.50)	14.5	153.2		8.0
7HOP SKOLE	337.6	2.2(5.65)	15.0	168.8		6.0
8FYLLINGSDAL						
11KRONSTAD	310.5	14.1(4.85)	11.0	113.9		9.0
12RAVNEBERGET	315.3	4.0(5.40)	12.5	131.4		5.0
13FREDRIKSBER	324.8	11.2(4.95)	15.0	162.4		6.4
PERIODE: 8302						
STASJON	NEDBØR MM	H <sup>+</sup> (PH) UG/L	CL-C MG/L	CL-B MG/M2*0	CL (AF) MG/M2*0	SO2 UG/M3
1NATIONALE S	41.1					21.0
2C.M.I.	113.1	7.1(5.15)	14.0	52.8		18.0
3SANDVIKEN	86.9	2.0(5.70)	31.5	91.3		21.0
4LAKSEVAG	86.0	10.0(5.00)	13.5	38.7		16.0
5MINDE	137.6	15.8(4.80)	11.5	52.7		24.0
6LANDAS	110.8	21.9(4.66)	12.5	46.2		15.0
7HOP SKOLE	71.3	14.1(4.85)	11.0	26.2		9.0
8FYLLINGSDAL						
11KRONSTAD	119.4	3.2(5.50)	12.5	49.8		21.0
12RAVNEBERGET	98.7	22.4(4.65)	16.0	52.7		11.0
13FREDRIKSBER	155.4	14.1(4.85)	23.5	121.7		23.0
PERIODE: 8303						
STASJON	NEDBØR MM	H <sup>+</sup> (PH) UG/L	CL-C MG/L	CL-B MG/M2*0	CL (AF) MG/M2*0	SO2 UG/M3
1NATIONALE S	241.4	.3(6.60)	4.3	34.6		8.0
2C.M.I.	243.3	14.1(4.85)	3.0	24.3		9.0
3SANDVIKEN	228.0	1.1(5.95)	7.3	55.5		
4LAKSEVAG	256.4	20.0(4.70)	2.9	24.8		6.0
5MINDE	289.8	20.0(4.70)	2.7	26.1		1.4
6LANDAS	297.8	15.8(4.80)	2.7	26.8		
7HOP SKOLE	244.6	22.4(4.65)	3.6	29.4		1.0
8FYLLINGSDAL						
11KRONSTAD	248.4	20.0(4.70)	4.0	33.1		11.0
12RAVNEBERGET	259.6	20.0(4.70)	2.6	22.5		7.2
13FREDRIKSBER	353.5	25.1(4.60)	6.5	76.6		8.2

Tabell 4: Lineær regresjonsanalyse - målte og beregnede månedlige SO<sub>2</sub>-verdier 1983-01-01 til 1984-12-31. Anslåtte verdier er markert med ramme.

** KOPP **										
N.SC	CMI	SAND	LAKS	MIND	LAND	HOP	FYLL	KRON	RAVN	FRED
12.00	8.00	10.00	8.00	9.00	8.00	6.00	8.00	9.00	5.00	6.00
21.00	19.00	21.00	16.00	24.00	15.00	9.00	8.00	21.00	11.00	20.00
8.00	9.00	8.00	6.00	1.40	3.00	1.00	7.00	11.00	7.20	8.20
11.00	11.00	14.00	13.00	9.00	7.00	1.20	5.00	12.00	8.00	9.00
10.00	7.00	10.00	7.00	5.00	4.00	1.40	4.00	7.00	5.20	8.00
7.00	7.00	15.00	5.00	3.80	2.90	1.70	4.00	6.00	4.30	4.50
7.00	7.00	7.00	5.00	4.00	2.00	6.00	3.00	2.50	5.00	7.00
6.20	6.30	8.00	5.00	4.10	3.80	7.10	2.00	5.70	2.80	5.00
9.70	8.00	5.60	6.90	4.40	4.10	2.60	5.00	7.00	3.50	7.90
6.30	5.00	4.80	4.30	2.80	3.10	3.20	6.00	4.00	2.30	6.90
10.00	12.00	10.00	9.00	9.00	6.00	3.00	7.00	12.00	5.00	12.30
15.00	13.00	13.00	10.00	14.00	8.00	4.00	6.00	15.00	5.00	20.70
29.00	28.00	23.00	19.00	34.00	19.00	8.00	8.00	33.00	8.00	31.40
19.00	16.00	18.00	16.00	18.00	13.00	12.00	8.00	20.00	9.00	18.10
19.40	16.00	19.60	15.00	8.00	8.60	5.90	7.00	18.00	8.80	18.20
18.10	9.00	10.70	10.60	7.10	6.80	18.40	5.40	11.00	7.40	13.10
15.70	8.00	10.50	8.40	5.90	4.60	1.30	4.40	8.00	6.50	7.50
10.50	7.00	9.70	4.80	4.10	2.70	1.30	4.00	5.00	5.50	4.30
6.00	3.40	5.00	5.00	3.70	3.10	1.50	3.20	5.00	1.70	4.10
5.30	5.50	4.40	4.30	4.10	3.50	1.50	2.70	6.00	2.60	4.90
9.40	9.00	6.80	7.30	5.10	3.80	2.30	4.70	9.00	4.50	9.40
7.60	11.00	7.00	6.00	3.70	2.40	1.40	6.30	7.00	4.60	7.90
22.30	17.00	12.00	13.20	2.30	9.20	6.30	7.30	18.00	6.10	30.30
17.10	12.00	13.00	11.40	2.20	8.20	4.90	6.50	14.00	5.90	15.00

\*\*\*\*\*

VARIABEL	MIDL	ST.DEV	MAX	MIN	OBS
N.SC	12.608	6.299	29.000	3.300	24
CMI	10.592	5.398	28.000	3.400	24
SAND	11.204	5.224	23.000	4.400	24
LAKS	9.033	4.319	19.000	4.300	24
MIND	7.863	7.687	34.000	1.400	24
LAND	6.408	4.272	19.000	2.000	24
HOP	4.625	4.168	18.400	1.000	24
FYLL	5.521	1.840	8.000	2.000	24
KRON	11.092	6.997	33.000	2.500	24
RAVN	5.621	2.306	11.000	1.700	24
FRED	11.879	7.905	31.400	4.100	24

\*\*\*\*\*

KORRELASJONSMATRISE

N.SC	1.000											
CMI	.889	1.000										
SAND	.807	.828	1.000									
LAKS	.919	.940	.877	1.000								
MIND	.709	.813	.753	.768	1.000							
LAND	.825	.900	.824	.920	.889	1.000						
HOP	.571	.399	.409	.525	.424	.545	1.000					
FYLL	.676	.733	.595	.708	.529	.719	.340	1.000				
KRON	.807	.949	.845	.939	.829	.940	.445	.732	1.000			
RAVN	.746	.706	.819	.823	.596	.684	.471	.637	.719	1.000		
FRED	.897	.814	.710	.857	.671	.844	.474	.673	.902	.614	1.000	
N.SC	CMI	SAND	LAKS	MIND	LAND	HOP	FYLL	KRON	RAVN	FRED		

\*\*\*\*\*

Tabell 5: Lineær regresjonsanalyse - sammenhengen mellom månedlige  $H^+$ -konsentrasjon i  $\mu\text{g/l}$  målt på stasjonene i Bergen.

KORRELASJON  $H^+$  BERGEN

\*\*\* KORR \*\*\*

N.SC	CMI	SAND	LAKS	MIND	LAND	HOP	FYLL	KRON	RAVN	FRED
15.85	28.18	15.85	3.55	1.78	3.16	2.24		14.13	3.98	11.20
	7.08	2.00	10.00	15.85	21.88	14.13		3.16	22.39	14.13
.25	14.13	1.12	19.95	19.95	15.85	22.39		19.95	19.95	25.12
.14	50.12	25.12	70.79	79.43	70.79	79.43		63.10	79.43	112.20
	39.81	.50	39.81	31.62	50.12	35.48		39.81	50.12	63.10
25.12	44.67	19.95	44.67	44.67	50.12	50.12		11.22	.40	63.10
39.81	39.81	15.85	25.12	25.12	14.13	28.18		12.57	25.12	25.12
39.81	44.67	7.94	31.62	25.12	28.18	39.81		31.62	39.81	39.81
56.23	50.12	15.85	31.62	50.12	39.81	39.81		39.81	39.81	31.62
19.95	1.58	7.08	14.13	1.26	4.47	2.00		10.00	3.55	3.55
39.81	56.23	35.48	44.67	31.62	39.81	39.81		35.48	44.67	3.98
39.81	44.67	15.85	50.12	44.67	39.81	44.67		39.81	35.48	50.12
2.82	25.12	25.12	25.12	28.18	31.62	22.39	50.12	31.62	22.39	63.10
15.85	39.81	44.67	63.10	56.23	56.23	39.81	79.43	39.81	44.67	89.13
.25	2.51	12.59	3.55	19.95	39.81	1.26		50.12	63.10	63.10
35.48	39.81	19.95	50.12	39.81	63.10	28.18	63.10	63.10	31.62	39.81
.40	31.62	3.98	39.81	50.12	100.00	112.20	112.20	125.89	158.49	2.00
56.23	31.62		56.23	39.81	79.43	63.10	70.79	50.12	63.10	112.20
39.81	100.00	50.12	151.36	70.79	79.43	158.49	125.89	112.20	70.79	100.00
63.10	35.48	5.62	50.12	63.10	50.12	25.12	25.12	35.48	50.12	39.81
17.78	7.76	6.17	6.17	12.02	18.20	16.60	6.92	12.88	15.14	5.13
3.55	1.91	2.82	16.60	1.66	20.89	2.88	26.92	10.00	6.31	10.96
.36	15.49	21.38	38.02	53.70	37.54	46.77	60.26	50.12	37.54	37.54
1.38	15.49	18.62	26.30	31.62	14.45	16.98	30.90	33.88	33.11	33.11

\*\*\*\*\*

VARIABEL	MIDL	ST.DEV	MAX	MIN	OBS
N.SC	23.354	21.112	63.100	.140	22
CMI	31.987	22.303	100.000	1.580	24
SAND	16.245	13.372	50.120	.500	23
LAKS	38.023	30.573	151.360	3.550	24
MIND	34.381	21.286	79.430	1.260	24
LAND	41.206	25.485	100.000	3.160	24
HOP	38.827	36.185	158.490	1.260	24
FYLL	59.241	36.928	125.890	6.920	11
KRON	38.996	30.002	125.890	3.160	24
RAVN	40.879	33.282	158.490	.400	24
FRED	44.378	34.181	112.200	2.000	24

\*\*\*\*\*

KORRELASJONSMATRISSE .

N.SC	1.000										
CMI	.526	1.000									
SAND	.129	.660	1.000								
LAKS	.329	.850	.703	1.000							
MIND	.236	.666	.529	.773	1.000						
LAND	.136	.520	.370	.680	.776	1.000					
HOP	.156	.760	.501	.858	.724	.793	1.000				
FYLL	.060	.759	.589	.759	.663	.857	.902	1.000			
KRON	-.020	.532	.370	.665	.681	.846	.835	.906	1.000		
RAVN	-.077	.304	.118	.405	.625	.807	.688	.728	.880	1.000	
FRED	.101	.463	.534	.650	.651	.572	.480	.469	.366	.258	1.000
N.SC	CMI	SAND	LAKS	MIND	LAND	HOP	FYLL	KRON	RAVN	FRED	

\*\*\*\*\*

Tabell 6: Lineær regresjonsanalyse - sammenheng mellom månedlige klorid-konsentrasjoner i nedbøren på stasjonene.

\*\*\*\*\*

STATIONEDBØRKKVALITET BERGEN: OL-KONG

FX KORP \*\*\*

N.SC	CMI	SAND	LAKS	MIND	LAND	HOP	FYLL	KRON	RAVN	FRED
18.00	13.30	14.00	16.00	17.00	14.50	15.00	.00	11.00	12.50	15.00
.00	14.00	31.50	13.50	11.50	12.50	11.00	.00	12.50	16.00	23.50
4.30	3.00	7.30	2.90	2.70	2.70	3.60	.00	4.00	2.60	6.50
10.70	2.40	2.50	2.60	2.30	2.10	1.80	.00	2.30	2.20	3.20
4.20	.30	6.40	.40	.40	.30	.30	.00	.40	.30	.60
2.70	1.10	1.10	1.10	1.10	1.00	1.00	.00	1.10	1.00	1.60
3.20	2.40	3.10	2.50	2.60	2.90	2.50	.00	2.40	2.50	3.30
1.20	1.10	1.80	1.20	1.60	1.20	1.10	.00	1.10	1.40	1.60
5.20	4.90	4.90	4.30	5.40	4.10	5.30	.00	4.40	4.80	6.80
9.60	11.10	9.00	7.50	7.10	8.00	9.50	.00	7.10	7.70	12.10
12.00	15.60	12.50	7.40	9.40	9.90	12.30	.00	8.20	11.90	26.00
4.90	4.30	4.50	3.90	4.00	4.10	5.30	.00	4.40	3.10	6.10
13.50	12.50	11.50	11.80	12.00	12.00	13.50	13.50	12.00	11.50	20.00
14.40	7.70	7.30	6.50	6.20	6.30	7.20	9.60	6.40	6.60	16.80
58.00	46.00	24.00	56.00	16.00	24.00	74.00	.00	18.00	22.00	.00
4.20	4.00	4.40	3.80	4.00	3.60	3.80	4.80	4.00	3.80	6.80
8.40	4.20	20.00	3.60	3.00	3.00	2.60	2.80	3.60	2.80	7.00
1.80	1.30	4.80	1.50	1.10	1.20	1.40	1.60	1.20	.60	2.00
2.10	1.30	1.70	1.40	1.20	1.20	3.20	1.30	1.10	3.40	1.60
3.00	2.40	5.50	2.70	2.20	1.30	3.60	1.50	1.90	1.90	5.30
3.10	3.20	3.60	3.50	3.40	3.50	3.40	3.30	3.50	3.40	5.60
6.60	6.70	6.50	5.50	6.00	5.30	6.40	5.40	5.40	5.20	7.30
6.00	5.80	4.00	4.30	4.60	5.00	4.10	5.50	3.50	4.40	7.30
6.60	5.30	4.90	4.90	5.60	7.00	6.20	5.80	3.10	5.70	7.60

\*\*\*\*\*

VARIABLE	MIJL	ST.DEV	MAX	MIN	OBS
N.SC	8.857	11.615	58.000	1.200	23
CMI	7.254	9.415	46.000	.300	24
SAND	8.200	7.526	31.500	1.100	24
LAKS	7.033	11.154	56.000	.400	24
MIND	5.433	4.620	17.000	.400	24
LAND	5.696	5.343	24.000	.300	24
HOP	8.254	14.592	74.000	.300	24
FYLL	5.009	3.738	13.500	1.300	11
KRON	5.108	4.396	18.000	.400	24
RAVN	5.721	5.394	22.000	.300	24
FRED	8.530	7.140	25.000	.600	23

\*\*\*\*\*

KORRELASJONSMATRISE

N.SC	1.000										
CMI	.968	1.000									
SAND	.778	.683	1.000								
LAKS	.980	.975	.640	1.000							
MIND	.759	.614	.698	.760	1.000						
LAND	.903	.942	.731	.903	.952	1.000					
HOP	.973	.971	.574	.991	.704	.869	1.000				
FYLL	.684	.968	.245	.965	.961	.955	.935	1.000			
KRON	.870	.901	.788	.850	.948	.970	.806	.944	1.000		
RAVN	.887	.917	.731	.856	.935	.976	.819	.951	.972	1.000	
FRED	.797	.950	.698	.827	.830	.876	.889	.961	.907	.929	1.000
	N.SC	CMI	SAND	LAKS	MIND	LAND	HOP	FYLL	KRON	RAVN	FRED

\*\*\*\*\*

Tabell 7: Konsentrasjon av klorid i nedbøren, kloridbelastning målt med nedbørsamler og kloridbelastning målt med aerosolfelle på stasjonene CMI Fyllingsdalen og Fredriksborg.

```

*** KORR ***
  CMIB  FYLB  FREB  CMIC  FYLC  FREC  CMIA  FYLA  FREA
26.81  20.18  17.12  7.70  9.60  16.80  1.73  .40  1.91
13.67  .      .      46.00  .      .      .      .      .
20.89  13.50  79.41  4.00  4.80  6.80  1.38  .53  4.62
  5.26  3.98  11.74  4.20  2.80  7.00  .84  .80  .89
  4.90  5.83  20.89  1.30  1.60  2.00  .27  .62  2.04
  4.28  3.09  12.01  1.30  1.30  1.60  1.07  2.13  1.69
  2.09  1.18  5.74  2.40  1.50  5.30  1.07  1.51  1.33
20.65  23.40  65.39  3.20  3.30  5.60  1.16  1.33  1.11
78.24  55.03  59.83  6.70  5.40  7.30  .22  .22  4.98
19.95  14.83  10.69  5.80  5.50  7.30  .80  1.16  .93
43.77  41.44  35.66  5.30  5.80  7.60  .18  5.24  1.16

*****

VARIABEL  MIDL  ST.DEV  MAX  MIN  OBS
CMIB      21.865  22.404  78.240  2.090  11
FYLB      18.246  17.746  55.030  1.180  10
FREB      31.848  26.768  79.410  5.740  10
CMIC      7.991  12.777  46.000  1.300  11
FYLC      4.160  2.591  9.800  1.300  10
FREC      6.730  4.149  16.800  1.600  10
CMIA      .902  .503  1.730  .180  11
FYLA      1.679  1.686  5.240  .220  11
FREA      2.004  1.434  4.980  .890  11

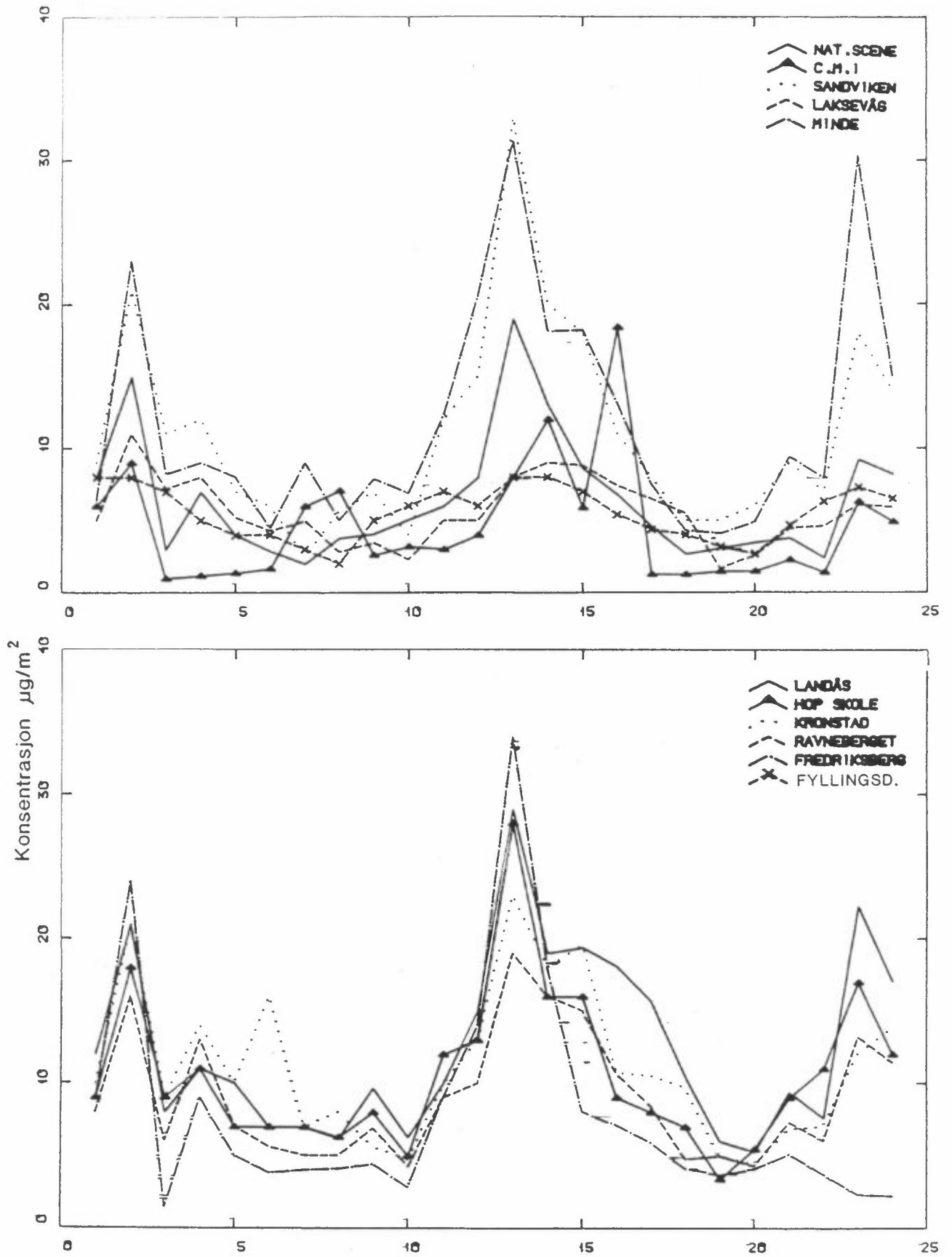
*****

KORRELASJONSMATRISSE
CMIB 1.000
FYLB .974 1.000
FREB .518 .533 1.000
CMIC -.009 .642 .155 1.000
FYLC .548 .537 .185 .924 1.000
FREC .338 .316 .010 .864 .919 1.000
CMIA -.424 -.452 .000 .209 .264 .458 1.000
FYLA -.009 .228 -.110 .542 -.029 -.144 -.189 1.000
FREA .595 .452 .678 -.105 .198 .048 -.094 -.423 1.000
      CMIB FYLB FREB CMIC FYLC FREC CMIA FYLA FREA

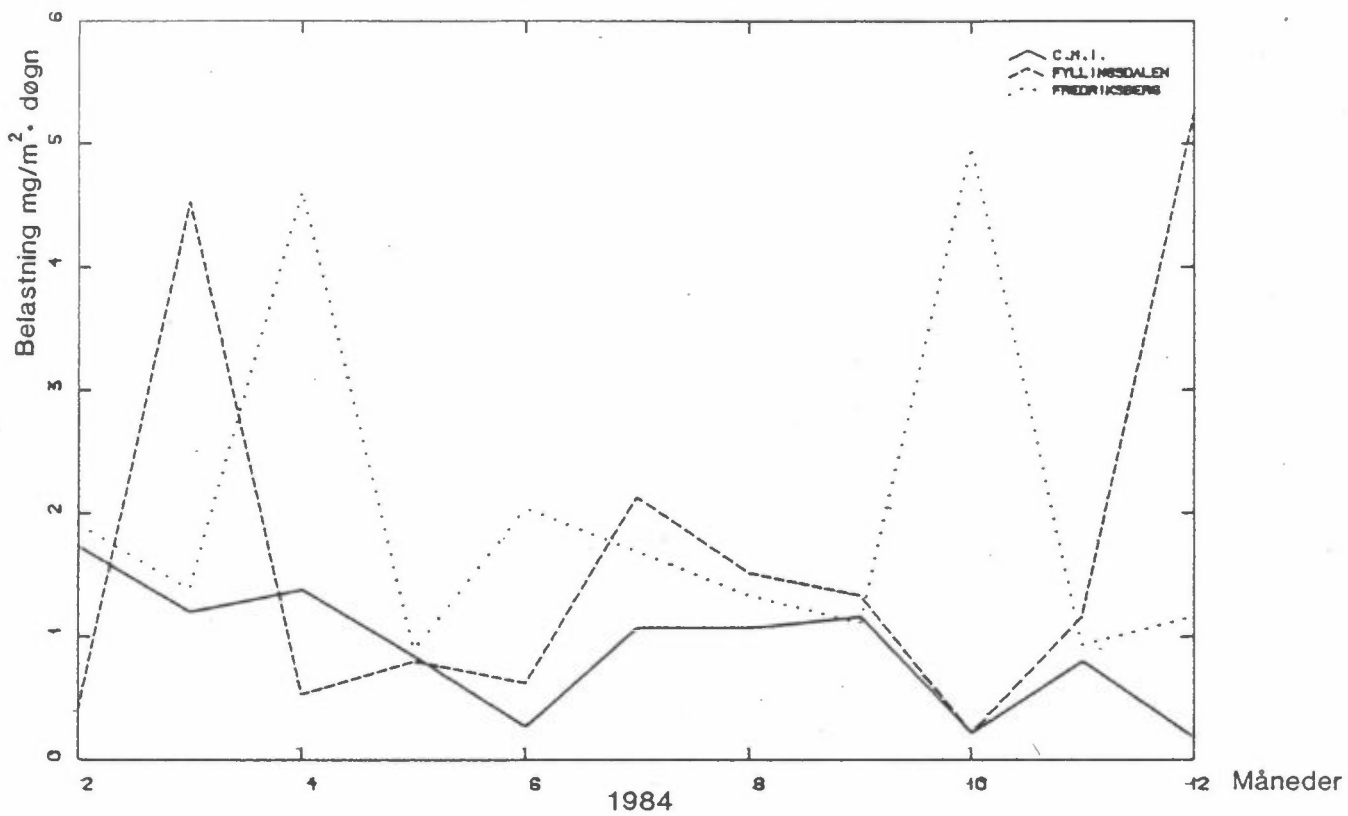
*****

```

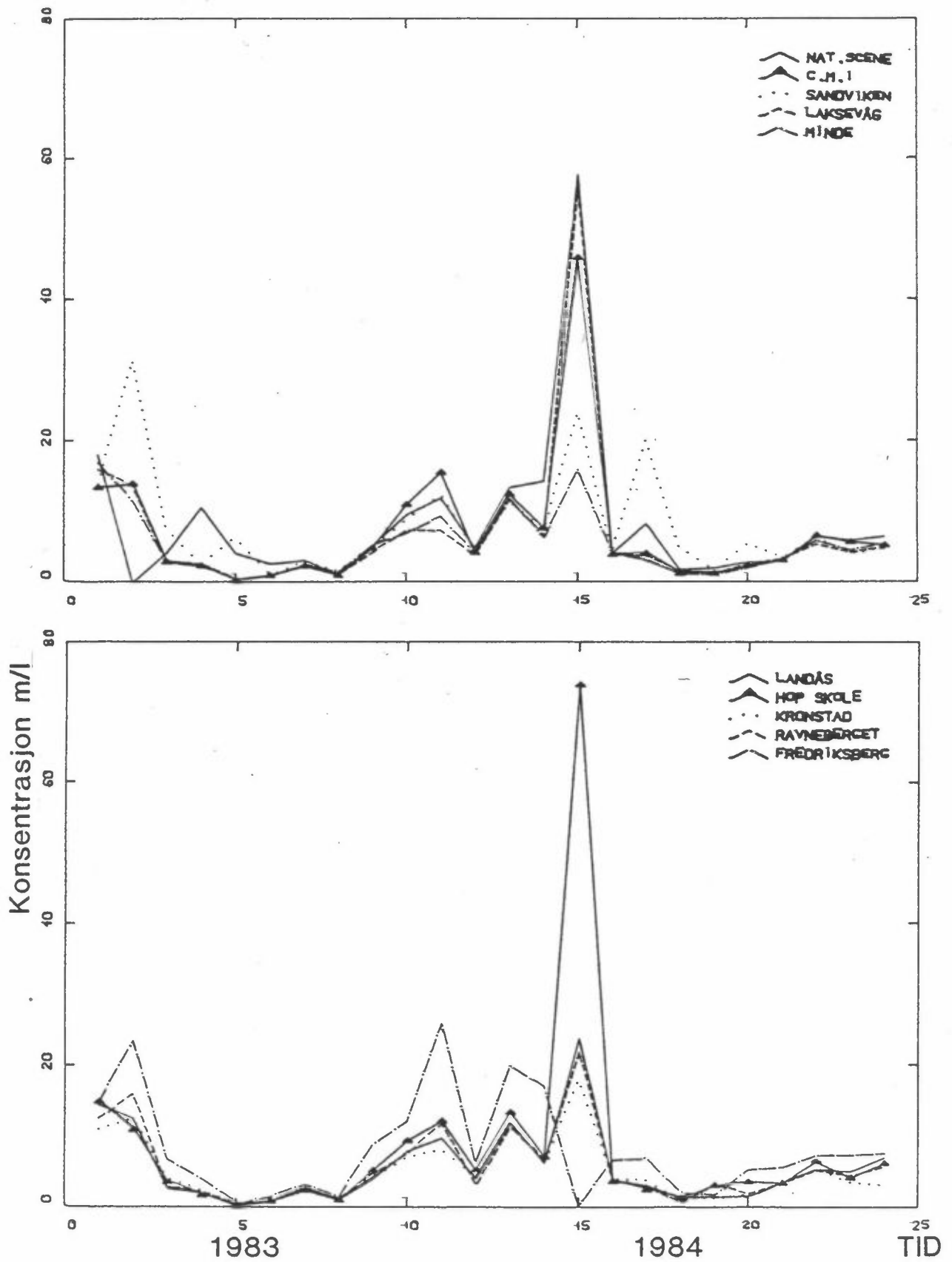




Figur 7: Midlere månedlige  $\text{SO}_2$ -konsentrasjoner på Bergen-stasjonene.



Figur 8: Midlere månedsbelastning av kloridaerosoler i luft målt med NILUs aerosolfelle på CMI, Fyllingsdalen og Fredriksberg i perioden 1984-02-01--12-31.

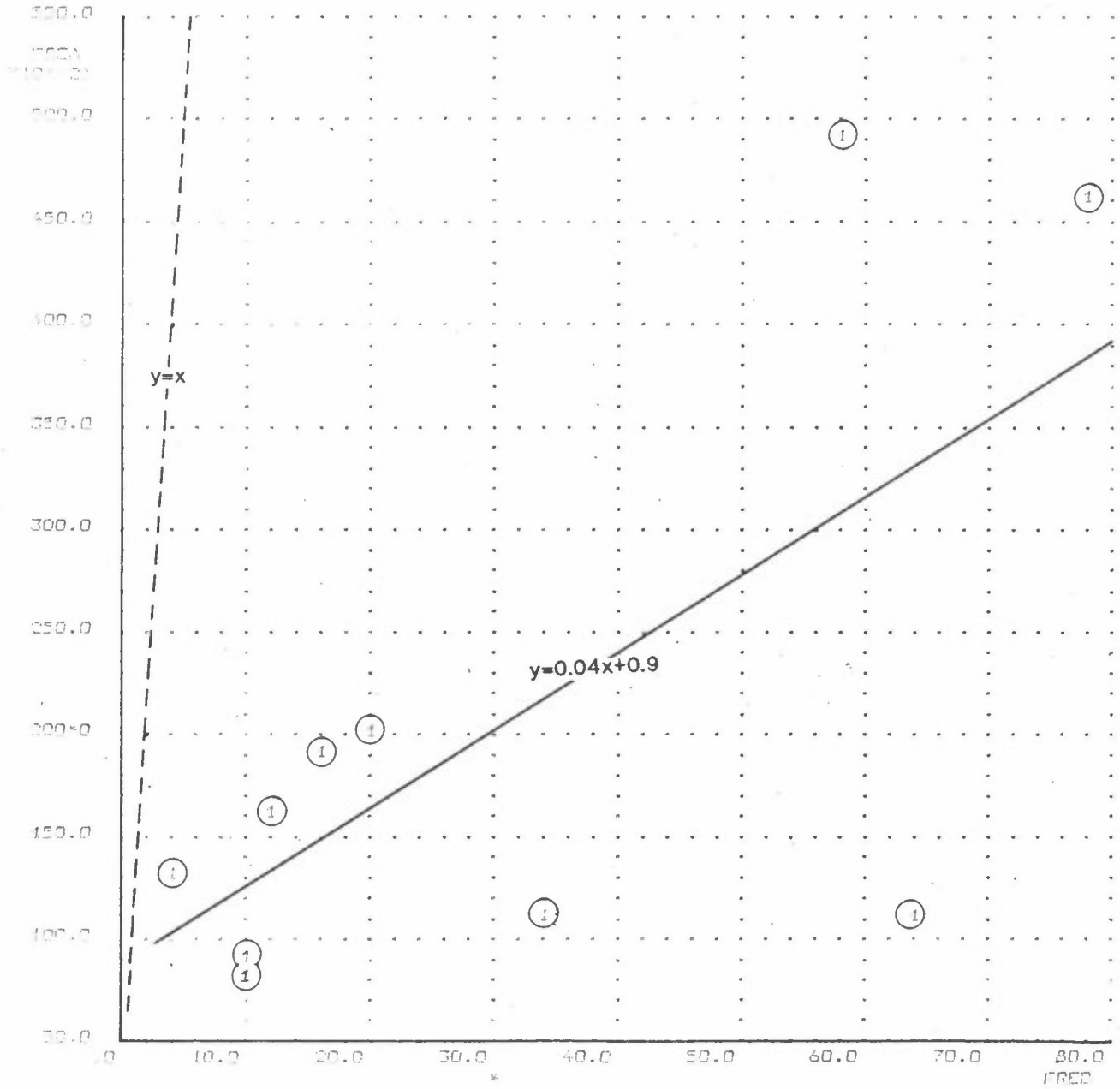


Figur 9: Månedlige kloridkonsentrasjoner i nedbøren målt på stasjonene i Bergen.

35

KLORIDBELASTNING 1984

$$FREA = 0.030 \cdot FREB + 0.850$$



Figur 10: Sammenheng mellom kloridbelastning målt med aerosolfelle (FREA) og med nedbørsamler (FREB) på Fredriksberg i perioden 1984-02-01--12-31.

Tabell 8: Beregnede kvartalsverdier for aktuelle miljøvariable i Bergen.

KV.1: 8301-02		TEMP: 3.0 C , TOW: 808 TIMER					S02
STASJON	NEDBØR	H+ (PH)	CL-C	CL-B	CL(AF)	S02	
	MM	UEKV/L	MG/L	MG/M2*0	MG/M2*0	UG/M3	
INATIONALE S	369.1	8.1(5.09)	10.9	105.3		13.7	
2C.M.I.	271.0	19.5(4.71)	9.3	72.9		12.0	
3SANDVIKEN	381.3	8.0(5.10)	14.0	90.4		13.3	
4LAKSEVAG	275.2	10.3(4.97)	10.7	30.3		10.0	
5MINDE	752.2	11.4(4.94)	10.5	87.6		11.5	
6LANDAS	723.5	11.2(4.95)	9.4	75.4		8.7	
7HOP SKOLE	633.3	11.1(4.96)	10.3	74.3		5.0	
11KRONSTAD	678.3	14.3(4.84)	8.7	55.6		13.7	
12RAVNEBERGET	673.5	12.3(4.89)	9.2	68.8		7.7	
13FREDRIKSBER	833.8	17.7(4.75)	13.0	120.3		12.5	
KV.2: 8304-06		TEMP: 9.7 C , TOW: 948 TIMER					S02
STASJON	NEDBØR	H+ (PH)	CL-C	CL-B	CL(AF)	S02	
	MM	UEKV/L	MG/L	MG/M2*0	MG/M2*0	UG/M3	
INATIONALE S	202.3	7.7(5.11)	4.2	9.4		9.3	
2C.M.I.	356.7	44.2(4.35)	1.1	4.5		8.3	
3SANDVIKEN	239.5	11.3(4.93)	4.2	11.3		13.3	
4LAKSEVAG	345.9	50.3(4.30)	1.2	4.8		3.5	
5MINDE	404.8	47.1(4.33)	1.2	5.4		5.9	
6LANDAS	368.2	56.4(4.25)	1.0	4.3		4.6	
7HOP SKOLE	238.2	58.7(4.23)	1.2	3.1		1.4	
11KRONSTAD	382.2	38.2(4.42)	1.1	4.9		3.3	
12RAVNEBERGET	389.3	44.9(4.35)	1.1	4.6		5.3	
13FREDRIKSBER	626.1	79.9(4.10)	2.0	13.8		7.2	
KV.3: 8307-09		TEMP: 13.3 C , TOW: 1200 TIMER					S02
STASJON	NEDBØR	H+ (PH)	CL-C	CL-B	CL(AF)	S02	
	MM	UEKV/L	MG/L	MG/M2*0	MG/M2*0	UG/M3	
INATIONALE S	473.8	47.3(4.32)	3.5	18.6		7.6	
2C.M.I.	617.8	46.2(4.34)	3.2	22.1		7.1	
3SANDVIKEN	504.8	13.5(4.87)	3.6	20.2		6.9	
4LAKSEVAG	632.2	30.1(4.52)	3.0	20.9		5.6	
5MINDE	651.0	38.6(4.41)	3.9	28.1		4.2	
6LANDAS	609.9	30.1(4.52)	3.0	20.2		3.3	
7HOP SKOLE	596.8	37.2(4.43)	3.6	23.9		5.2	
11KRONSTAD	712.7	30.3(4.52)	2.9	22.6		5.1	
12RAVNEBERGET	693.0	36.4(4.44)	3.4	26.0		3.8	
13FREDRIKSBER	959.2	32.4(4.49)	4.7	30.6		7.3	
KV.4: 8310-12		TEMP: 5.3 C , TOW: 1134 TIMER					S02
STASJON	NEDBØR	H+ (PH)	CL-C	CL-B	CL(AF)	S02	
	MM	UEKV/L	MG/L	MG/M2*0	MG/M2*0	UG/M3	
INATIONALE S	1253.4	32.0(4.49)	9.7	133.3		10.4	
2C.M.I.	1191.4	25.7(4.59)	10.7	142.3		10.0	
3SANDVIKEN	1004.8	15.9(4.80)	8.6	96.2		9.3	
4LAKSEVAG	1143.6	30.5(4.52)	6.6	83.4		7.9	
5MINDE	1230.9	18.4(4.74)	6.9	93.9		8.6	
6LANDAS	1219.7	19.5(4.71)	7.5	101.9		6.4	
7HOP SKOLE	1180.9	18.4(4.74)	9.2	120.6		3.4	
11KRONSTAD	1225.5	22.9(4.64)	6.7	91.8		10.3	
12RAVNEBERGET	1272.3	20.4(4.69)	7.6	107.9		4.1	
13FREDRIKSBER	1188.2	9.1(5.04)	13.8	208.2		13.3	
KV.5: 8401-03		TEMP: 1.3 C , TOW: 564 TIMER					S02
STASJON	NEDBØR	H+ (PH)	CL-C	CL-B	CL(AF)	S02	
	MM	UEKV/L	MG/L	MG/M2*0	MG/M2*0	UG/M3	
INATIONALE S	254.5	6.8(5.17)	13.0	42.4		22.5	
2C.M.I.	297.5	29.6(4.33)	11.8	39.1	1.5	20.0	
3SANDVIKEN	287.9	30.7(4.51)	10.9	34.7		20.2	
4LAKSEVAG	328.0	39.3(4.41)	10.5	38.4		16.7	
5MINDE	375.8	36.4(4.44)	10.5	43.7		20.0	
6LANDAS	333.8	40.4(4.39)	10.6	39.4		13.5	
7HOP SKOLE	273.9	28.2(4.55)	12.3	37.3		8.6	
8FYLLINGSDAL	121.3	65.2(4.19)	11.4	23.1	2.5	7.7	
11KRONSTAD	358.9	35.4(4.45)	10.4	41.5		23.7	
12RAVNEBERGET	289.2	31.2(4.51)	10.5	33.7		8.6	
13FREDRIKSBER	124.8	69.5(4.16)	19.2	40.0	1.7	22.6	
KV.6: 8404-06		TEMP: 10.5 C , TOW: 898 TIMER					S02
STASJON	NEDBØR	H+ (PH)	CL-C	CL-B	CL(AF)	S02	
	MM	UEKV/L	MG/L	MG/M2*0	MG/M2*0	UG/M3	
INATIONALE S	257.6	39.3(4.41)	3.8	10.8		14.3	
2C.M.I.	307.3	33.3(4.45)	3.0	10.4	.8	8.0	
3SANDVIKEN	252.9	11.5(4.94)	5.3	14.9		10.3	
4LAKSEVAG	286.9	51.4(4.29)	2.9	9.2		7.9	
5MINDE	346.5	41.2(4.39)	2.7	10.2		5.7	
6LANDAS	324.8	75.0(4.12)	2.5	9.0		4.7	
7HOP SKOLE	276.8	54.1(4.27)	2.3	8.5		7.0	
8FYLLINGSDAL	236.3	75.5(4.12)	3.0	7.8	.7	4.5	
11KRONSTAD	439.2	66.3(4.18)	3.1	15.0		8.0	
12RAVNEBERGET	292.0	61.7(4.21)	2.5	8.4		6.5	
13FREDRIKSBER	714.0	68.9(4.16)	4.7	37.0	2.5	8.3	
KV.7: 8407-09		TEMP: 13.1 C , TOW: 990 TIMER					S02
STASJON	NEDBØR	H+ (PH)	CL-C	CL-B	CL(AF)	S02	
	MM	UEKV/L	MG/L	MG/M2*0	MG/M2*0	UG/M3	
INATIONALE S	250.0	28.2(4.55)	2.8	7.8		6.9	
2C.M.I.	318.5	38.6(4.41)	2.5	9.0	1.1	6.0	
3SANDVIKEN	260.5	22.5(4.65)	2.9	8.4		5.4	
4LAKSEVAG	339.2	62.1(4.21)	2.7	10.1		5.5	
5MINDE	478.3	33.9(4.47)	2.6	14.0		4.3	
6LANDAS	338.9	39.4(4.40)	2.6	9.7		3.5	
7HOP SKOLE	256.1	43.9(4.36)	3.4	9.8		1.8	
8FYLLINGSDAL	307.6	35.9(4.44)	2.7	9.2	1.7	3.5	
11KRONSTAD	332.5	45.9(4.34)	2.6	9.7		6.7	
12RAVNEBERGET	353.2	34.3(4.47)	3.2	12.6		2.9	
13FREDRIKSBER	608.0	42.1(4.38)	4.1	27.7	1.4	6.1	
KV.8: 8410-12		TEMP: 7.1 C , TOW: 1056 TIMER					S02
STASJON	NEDBØR	H+ (PH)	CL-C	CL-B	CL(AF)	S02	
	MM	UEKV/L	MG/L	MG/M2*0	MG/M2*0	UG/M3	
INATIONALE S	578.3	2.3(5.64)	6.5	41.8		15.7	
2C.M.I.	701.3	8.7(5.06)	6.1	47.3	.4	13.3	
3SANDVIKEN	673.6	12.0(4.92)	5.5	40.8		10.9	
4LAKSEVAG	713.4	24.3(4.61)	5.0	40.0		10.2	
5MINDE	719.1	21.6(4.67)	5.6	44.6		2.7	
6LANDAS	688.5	26.2(4.58)	5.7	43.9		6.6	
7HOP SKOLE	669.4	15.5(4.81)	5.9	43.3		4.2	
8FYLLINGSDAL	601.0	32.8(4.48)	5.6	37.1	2.2	6.7	
11KRONSTAD	738.2	25.5(4.59)	4.3	35.0		13.0	
12RAVNEBERGET	693.6	23.1(4.64)	5.3	40.5		5.5	
13FREDRIKSBER	430.6	23.0(4.64)	7.4	35.4	2.4	17.7	

Tabell 9: Beregnede årsverdier for aktuelle miljøvariable i Bergen.

AR1: 8301-12		TEMP: 7.9 C , TOW:4188 TIMER					
STASJON	NEDBØR	H+ (PH)	CL-C	CL-B	CL(AF)	SO2	
	MM	UEKV/L	MG/L	MG/M2*0	MG/M2*0	UG/M3	
INATIONALE S	2502.9	27.5(4.58)	8.3	63.3		10.3	
2C.M.I.	2836.9	31.0(4.51)	7.7	50.4		9.4	
3SANDVIKEN	2330.9	13.0(4.39)	8.4	54.5		10.7	
4LAKSEVAG	2796.8	28.0(4.55)	6.1	47.4		8.0	
5MINDE	3038.9	24.8(4.61)	6.4	53.8		7.5	
6LANDAS	2923.2	24.3(4.61)	6.2	50.4		5.7	
7HOP SKOLE	2669.4	24.4(4.61)	7.5	55.6		3.8	
11KRONSTAD	2998.7	24.7(4.61)	5.5	46.2		9.4	
12RAVNEBERGET	3028.7	25.6(4.59)	6.2	51.8		5.4	
13FREDRIKSBER	3607.3	29.5(4.53)	9.8	98.2		10.1	
AR2: 8401-12		TEMP: 8.0 C , TOW:3408 TIMER					
STASJON	NEDBØR	H+ (PH)	CL-C	CL-B	CL(AF)	SO2	
	MM	UEKV/L	MG/L	MG/M2*0	MG/M2*0	UG/M3	
INATIONALE S	1340.4	15.1(4.82)	6.9	25.7		14.9	
2C.M.I.	1624.5	23.5(4.63)	5.9	26.4	.9	11.8	
3SANDVIKEN	1474.8	17.4(4.76)	6.0	24.7		11.7	
4LAKSEVAG	1667.5	39.6(4.40)	5.3	24.4		10.1	
5MINDE	1919.7	31.1(4.51)	5.3	28.1		8.2	
6LANDAS	1686.0	41.0(4.39)	5.4	25.5		7.1	
7HOP SKOLE	1476.1	30.0(4.52)	6.1	24.8		5.4	
8FYLLINGSDAL	1266.2	44.6(4.35)	4.9	19.0	2.1	5.6	
11KRONSTAD	1868.8	40.6(4.39)	4.9	25.3		12.8	
12RAVNEBERGET	1628.0	33.9(4.47)	5.3	23.8		5.9	
13FREDRIKSBER	1877.4	49.7(4.30)	6.1	34.7	2.0	13.7	

## GRUNNLAGSMATERIALE 5 - MÅLTE KORROSJONSHASTIGHETER

Månedskorrosjonen av stål varierer totalt med en faktor ca. 5 gjennom 1984. Stasjonene er svært like og godt korrelert. Den midlere månedskorrosjonen i Bergen er lav og ca. 30% høyere enn på bakgrunnstasjonen Hoff i S-F.

Månedskorrosjonen for 1984 er vist i tabell 10 og figur 11. På Sandviken mangler måledata for juli, okt. og des. Dette skyldes hærverk. En rekke plater er fjernet, og måledataene er derfor svært mangelfulle. På Kronstad er det ofte høy korrosjon. Det skyldes trolig at platene her er eksponert relativt nært et lokalt utslipp. Det var umulig å få plassert platene i umiddelbar nærhet av SO<sub>2</sub>-måleutstyret, og prøvene ble derfor ikke påvirket av det samme lokale utslipp. Kronstad er derfor en dårlig målestasjon, som vi egentlig må se bort fra når det gjelder dose-effekt-sammenhenger. Sotra er den eneste stasjonen som ligger en del høyere korrosjonsmessig enn de andre (untatt Kronstad). Siden den er et godt stykke unna Bergen, og dessuten mer påvirket av sjøsalt, er den ikke direkte sammenlignbar med de øvrige stasjonene.

Om vi ser bort fra Sandviken, Sotra og Kronstad av den månedlige middelveirdien 31,5 g/m<sup>2</sup>. I S-F hadde bakgrunnsstasjonen Hoff en midlere månedskorrosjon på ca. 24 g/m<sup>2</sup>, mens "Alvim"-stasjonene hadde ca. 48 g/m<sup>2</sup>. Månedskorrosjonen i Bergen er m.a.o. ca 30% høyere enn i bakgrunnsområdet, og ca. 30% lavere enn i byområdene i S-F.

Med unntak av Kronstad viser den kvartalsvise korrosjonen av stål at det er svært liten forskjell mellom stasjonene.

Kvartalskorrosjonen og den lineære regresjonsanalysen og sammenhengen mellom stasjonene er vist i tabell 11 mens figur 12 viser tidsforløpet for korrosjonen. I Fyllingsdalen startet kvartalseksponeringene først i 1984.

Av figur 12 ses at Kronstad hadde vesentlig høyere kvartalskorrosjon enn de andre stasjonene.

De midlere korrosjonsverdiene viser at i gjennomsnitt er kvartalskorrosjonen (tabell 10 -  $31.5 \text{ g/m}^2$ ) ca. 10% lavere enn månedskorrosjonen, (Tabell 11 -  $85 \text{ g/m}^2$ ), som i S-F. Dette skyldes den bremsende effekten av korrosjonsproduktene. I S-F-undersøkelsen var midlere kvartalskorrosjon  $66 \text{ g/m}^2$  på Hoff og 120 på Alvim-stasjonene. I Bergen er derfor også kvartalskorrosjonen ca. 30% høyere enn på Hoff og ca. 30% lavere enn i byområdene.

Årskorrosjonen for stål viser som for månedsvise og kvartalsvise eksponering at det ikke er noen særlig forskjell mellom stasjonene. Det er en klart høyere korrosjon i -83 enn i -84. Årskorrosjonen i Bergen er ca 15% høyere enn i bakgrunnsområdet i S-F.

Årskorrosjonen for stål, sink, koppar og aluminium er vist i tabell 12, mens årskorrosjonen av stål også er vist i figur 13. Som tidligere ser vi at korrosjonen på Kronstad, på grunn av den spesielle plasseringen, er vesentlig høyere enn på de andre stasjonene. Sett i forhold til ISO-standarden for korrosjonskategorier tilhører korrosjonen i 1983 klasse 3, (ISO/TC 156/WG4-1985) mens korrosjonen i 1984 ligger på grensen av klasse 2 og 3. Toårskorrosjonen viser at korrosjonen er avtagende med tiden. Den midlere årskorrosjonen i Bergen ( $241 \text{ g/m}^2$ ) er ca 15% høyere enn i bakgrunnsområdet (Hoff) og ca 30% lavere enn i byområdene i S-F-undersøkelsen.

Også for sink er det tilnærmet samme korrosjonshastigheten på stasjonene og 83-korrosjonen er høyere enn for 84.

Årskorrosjonen av sink er vist i figur 14. Sammenlignet med ISO-standarden for korrosjonskategorier ligger årskorrosjonen for sink i -83 for det meste i klasse 4 og i -84 i klasse 3. Den relativt høye sink-korrosjonen sammenlignet med stål-korrosjonen skyldes trolig den lange våttiden og de store regnmengdene i Bergen. En har tidligere vist at dette påvirker sink-korrosjonen (Haagenrud et al., 1982 og Ellis, 1949). Av toårs-korrosjonen framgår at i takt med dette er det heller ingen særlig avtagende korrosjon av sink med tiden. Den gjennomsnittlige sink-korrosjon i Bergen er den samme som i byområdene i S-F ("Alvim-stasjonene").



Årskorrosjonen for kopper og aluminium viser også omtrent samme korrosjonshastighet for hele området. Korrosjonen i 1983 er klart høyere enn i 1984.

Årskorrosjonen av kopper og aluminium er vist i hhv. figur 15 og 16. Som en ser er det klar forskjell på korrosjonen i de to årene. For kopper er som oftest korrosjonen i -83 nesten det dobbelte av i -84. Sammenlignet med ISO-standarder ligger korrosjonen i 1983 i klasse tre, mens den i 1984 for det meste ligger i klasse to. Den gjennomsnittlige korrosjonshastigheten i de to årene ( $5,9 \text{ g/m}^2$ ) er ca. 20% lavere enn i byområdene i S-F ( $7,5 \text{ g/m}^2$ ). Også for kopper ser vi at korrosjonen avtar relativt lite med tiden.

For aluminium er korrosjonen i 1983 på grensen mellom klasse to og tre i ISO-standarder, mens 84-korrosjonen ligger i klasse to. Korrosjonshastigheten er sterkt avtagende med tiden, bortsett fra den ekstremt høye verdien på Kronstad. Den gjennomsnittlige korrosjonen i de to årene ( $0,6 \text{ g/m}^2$ ) er ca. 20% lavere enn i byområdene i S-F ( $0,7 \text{ g/m}^2$ ).

Tabell 10: Lineær regresjonsanalyse - sammenheng mellom månedskorrosjon på stasjonene i Bergen i 1984. ( $g/m^2$ ).

```

*** KORR ***
  N.SC   CHI   SAND   LAKS   MIND   LAND   HOP   FYLL   SOTR   KRON   RAVN   FRED
  23.30  16.00  16.70  14.00  17.30  16.30  18.70  17.00  38.60  28.30  15.70  21.70
  36.00  38.30  35.00  32.70  39.30  29.70  25.30  29.30  49.70  45.70  33.30  37.00
  25.70  19.30  25.70  27.30  19.30  18.70  27.70  28.00  35.60  35.70  25.00  28.30
  23.30  20.00  20.70  20.00  21.30  21.70  22.00  25.70  33.60  46.70  22.70  25.30
  21.30  17.30  16.70  21.70  23.30  20.30  21.30  22.30  21.40  40.30  19.70  24.00
  41.00  38.70  26.70  36.70  37.00  36.30  38.00  42.00  45.40  70.30  34.30  42.30
  48.00  42.70          46.00  44.30  47.00  47.00  50.00  27.60          46.70  46.70
  18.00  17.00  12.70  20.30  20.70  20.70  19.30  17.70  18.20  21.00  18.30  24.30
  14.70   9.70   8.00  11.30  12.30  13.30  10.70  14.70  50.60  22.00  33.30  16.70
  66.70  52.30          58.30  56.00  56.30  55.70  61.00  74.60  88.70  53.70  64.70
  51.00  44.00  44.00  49.30  45.00  48.70  50.70  58.00  44.60  71.70  45.00  66.30
  35.30  30.30          29.70  26.70  30.00  28.00  33.70  28.20  47.30  28.30  38.00

*****

VARIABLE  MIDL  ST.DEV  MAX  MIN  OBS
  N.SC    33.492  15.654  66.700  14.700  12
  CHI     27.967  13.607  52.300  9.700  12
  SAND    22.711  11.301  44.000  8.000  9
  LAKS    30.775  14.430  58.300  11.300  12
  MIND    27.375  13.339  56.000  12.300  12
  LAND    29.917  14.186  56.300  13.300  12
  HOP     30.367  14.226  55.700  10.700  12
  FYLL    33.283  15.983  61.000  14.700  12
  SOTR    39.008  15.429  74.600  18.200  12
  KRON    47.064  21.719  88.700  21.000  11
  RAVN    31.333  12.110  53.700  15.700  12
  FRED    36.275  16.325  66.300  16.700  12

*****

KORRELASJONSMATRISE
  N.SC 1.000
  CHI  .983 1.000
  SAND .935 .878 1.000
  LAKS .972 .978 .937 1.000
  MIND .975 .783 .862 .981 1.000
  LAND .975 .987 .875 .980 .992 1.000
  HOP  .962 .972 .870 .982 .971 .972 1.000
  FYLL .967 .978 .888 .979 .968 .978 .989 1.000
  SOTR .593 .483 .404 .493 .492 .475 .442 .483 1.000
  KRON .945 .961 .605 .929 .953 .942 .941 .956 .635 1.000
  RAVN .878 .859 .600 .873 .867 .890 .846 .883 .654 .819 1.000
  FRED .959 .960 .813 .969 .952 .964 .961 .976 .512 .910 .852 1.000
  N.SC  CHI  SAND  LAKS  MIND  LAND  HOP  FYLL  SOTR  KRON  RAVN  FRED

*****

```

Tabell 11: Lineær regresjonsanalyse - sammenheng mellom kvartalskorrosjon på stasjonene i Bergen i 1983/84. (g/m<sup>2</sup>).

```

*** KORR ***
N.SC   CMI     SAND    LAKS    MIND    LAND    HOP     FYLL    SOTR    KRON    RAVN    FRED
159.00 112.70 137.70 112.00 119.30 110.70 108.00          297.00 109.00 131.70
85.30  67.70  49.00  64.30  67.00  65.70  62.70          53.00 129.00  59.00  66.70
89.70  78.70  55.00  81.30  78.00  76.30  71.00          77.30 102.30  72.70  83.30
126.30 118.30 138.00 127.30 107.00  86.00 120.00        145.70 195.70 120.00 139.00
82.30  64.00  71.30  64.00  59.00  63.00  64.30  61.30  81.30  96.30  58.30  77.30
105.30 88.30  72.30  86.70  88.30  89.00  88.30  95.30  94.00 143.30  86.00 101.00
54.70  35.70          45.30  48.30  48.30  43.00  48.30  52.00          42.70  52.70
104.70 80.30          82.30  83.70  82.00  98.70  92.30  99.30 136.00  75.30  97.30

*****

VARIABLE  MIDL  ST.DEV  MAX  MIN  OBS
N.SC     102.162  32.731  159.000  54.700  8
CMI      80.712  26.653  118.300  35.700  8
SAND     87.217  40.254  138.000  49.000  6
LAKS     82.900  36.599  127.300  45.300  8
MIND     81.325  23.788  119.300  48.300  8
LAND     77.625  19.013  110.700  48.300  8
HOP      82.000  26.094  120.000  43.000  8
FYLL     74.300  23.166  95.300  48.300  4
SOTR     86.086  32.010  145.700  52.000  7
KRON    157.086  69.746  297.000  96.300  7
RAVN     77.875  26.239  120.000  42.700  8
FRED     93.500  29.904  138.000  52.700  8

*****

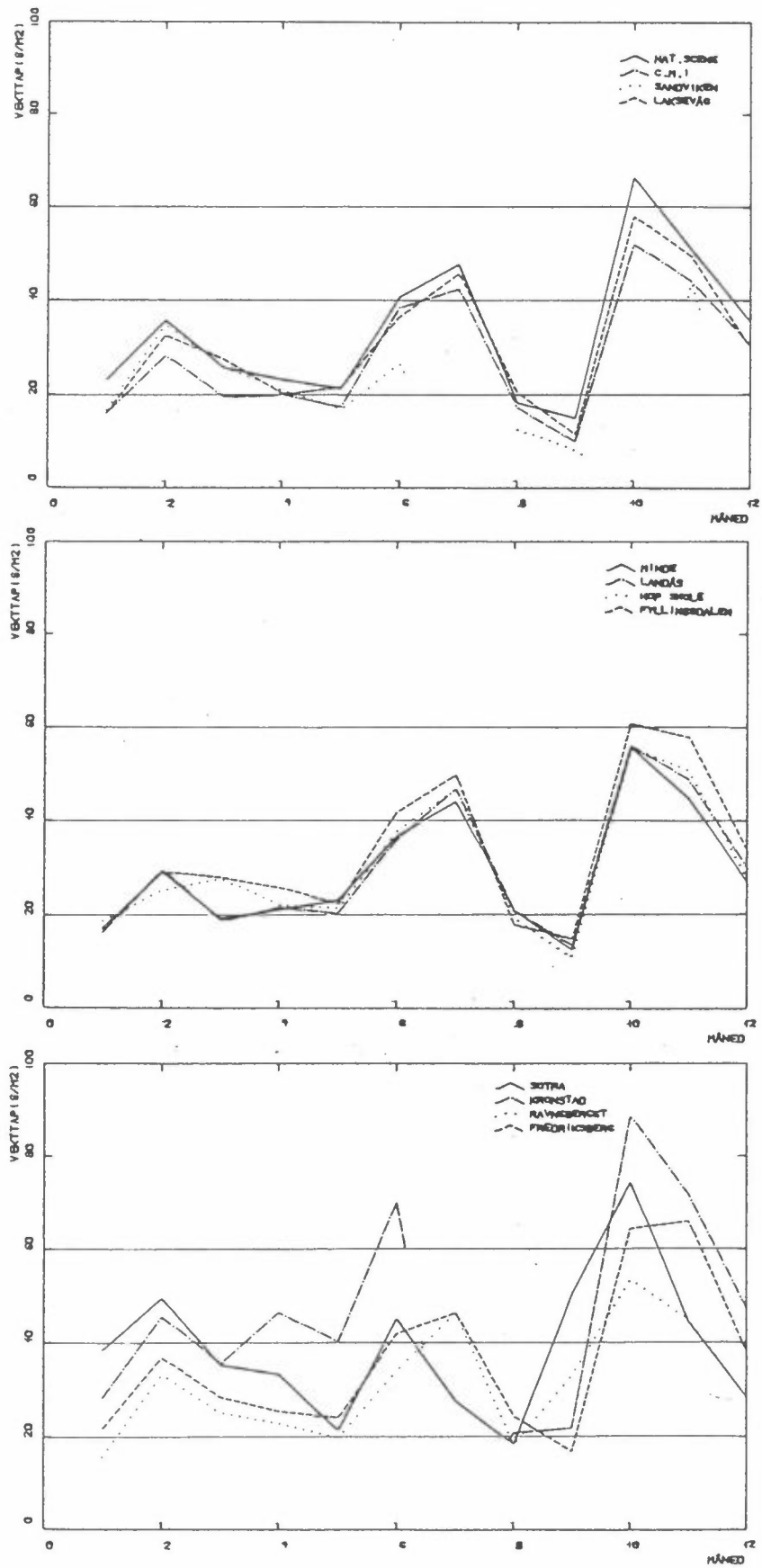
KORRELASJONSMATRISSE
N.SC 1.000
CMI  .956 1.000
SAND .939 .923 1.000
LAKS .931 .984 .916 1.000
MIND .983 .965 .881 .950 1.000
LAND .944 .896 .750 .841 .957 1.000
HOP  .920 .950 .936 .954 .930 .855 1.000
FYLL .966 .953 .982 .999 .989 .967 1.000
SOTR .925 .901 .972 .944 .889 .757 .946 .920 1.000
KRON .962 .832 .855 .761 .910 .893 .733 .998 .800 1.000
RAVN .943 .982 .921 .995 .961 .863 .951 .977 .943 .795 1.000
FRED .958 .973 .958 .982 .960 .881 .971 .971 .980 .814 .988 1.000
N.SC CMI SAND LAKS MIND LAND HOP FYLL SOTR KRON RAVN FRED

*****

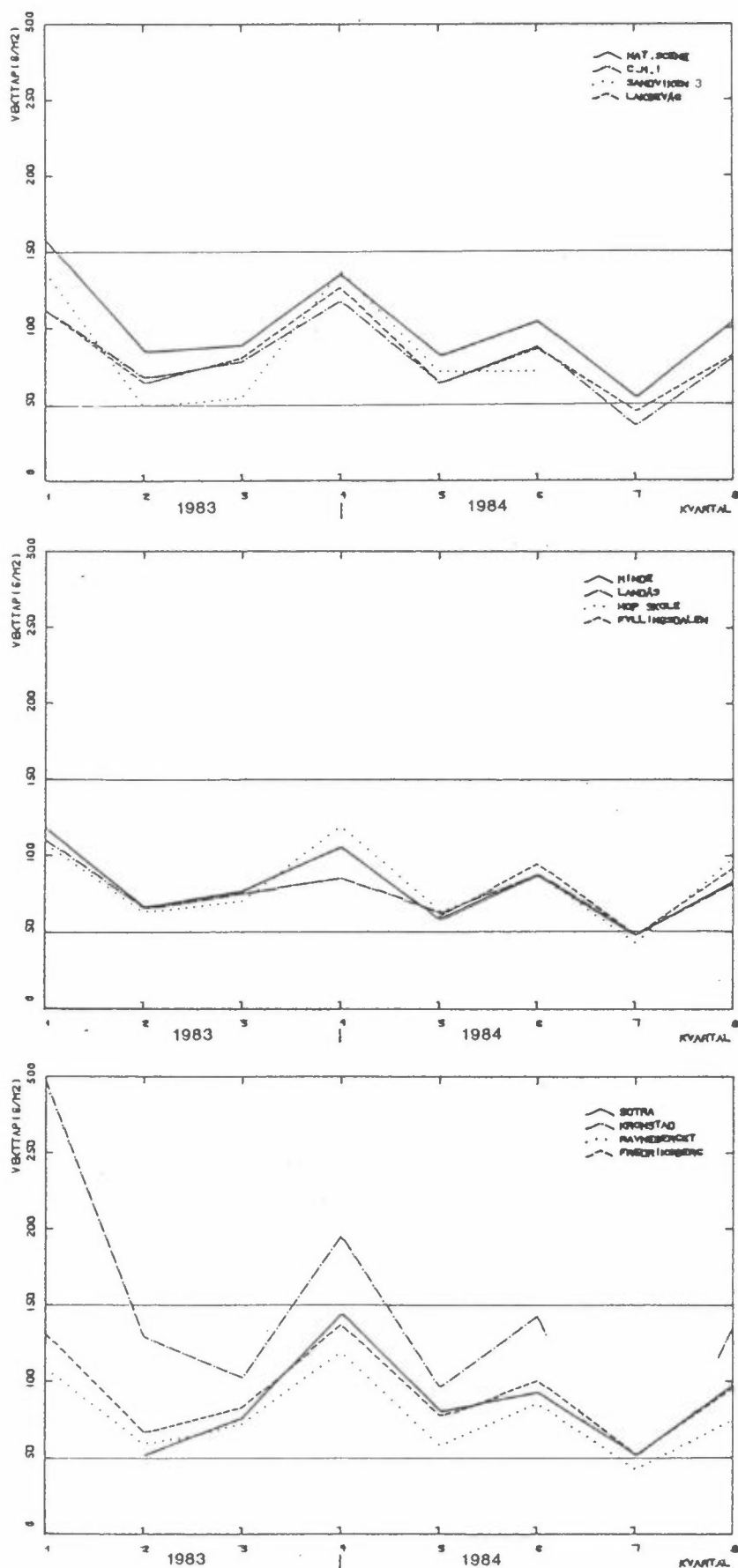
```

Tabell 12: Arskorrosjon av stål, sink, koppar og aluminium i Bergen (g/m<sup>2</sup>).

	STÅL			ZINK		
	1983	1984	83/84	1983	1984	83/84
STASJON						
1 NAT.SCENE	368.7	244.0	486.4	13.3	10.3	28.7
2 C.M.I.	279.3	158.0	216.7	16.7	13.3	28.7
3 SANDVIKEN		266.0		11.3		
4 LAKSEVÅG	285.0	173.0	358.0	19.7	11.3	28.3
5 MINDE	299.0	205.0	387.4	14.7	9.7	23.7
6 LANDÅS	278.0	192.3	340.7	15.7	11.3	29.3
7 HOP SKOLE	272.0	197.7	350.4	16.0	12.7	30.0
8 FYLLINGSØA		182.7			14.0	
11 KRONSTAD	635.4	274.0	815.7	25.0	14.7	40.3
12 RAVNEBERG.	266.7	175.7	348.4	17.3	7.0	52.7
13 FREDRIKSØ.	302.7	199.3	367.7	19.0	21.0	32.7
	CU			AL		
STASJON	1983	1984	83/84	1983	1984	83/84
1 NAT.SCENE	7.0	2.9	10.4	.6	.3	.6
2 C.M.I.	8.8	3.5	12.5	.8	.4	.9
3 SANDVIKEN	7.2			.6		
4 LAKSEVÅG	8.4	3.5	11.5	.8	.4	.6
5 MINDE	6.8	3.4	11.7	.5	.4	.7
6 LANDÅS	7.8	4.4	12.5	.6	.4	.8
7 HOP SKOLE	8.6	5.7	12.3	.6	.4	.8
8 FYLLINGSØA		6.0			.4	
11 KRONSTAD	11.3	5.6	15.7	1.0	.5	1.2
12 RAVNEBERG.	5.4	2.1	7.3	.6	.3	2.2
13 FREDRIKSØ.	9.6	5.5	12.5	.9	.5	1.3

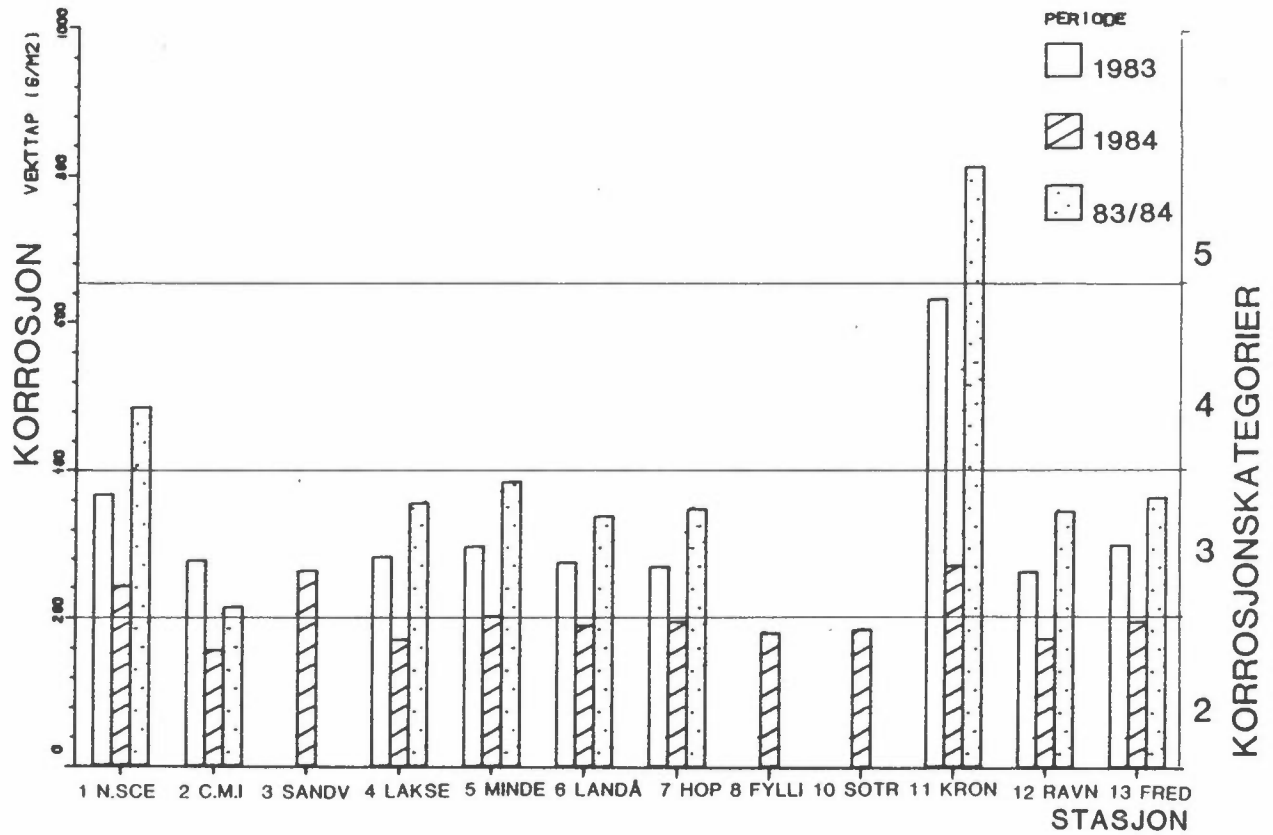


Figur 11: Månedskorrosjon av stål i 1984 på stasjonene i Bergen.

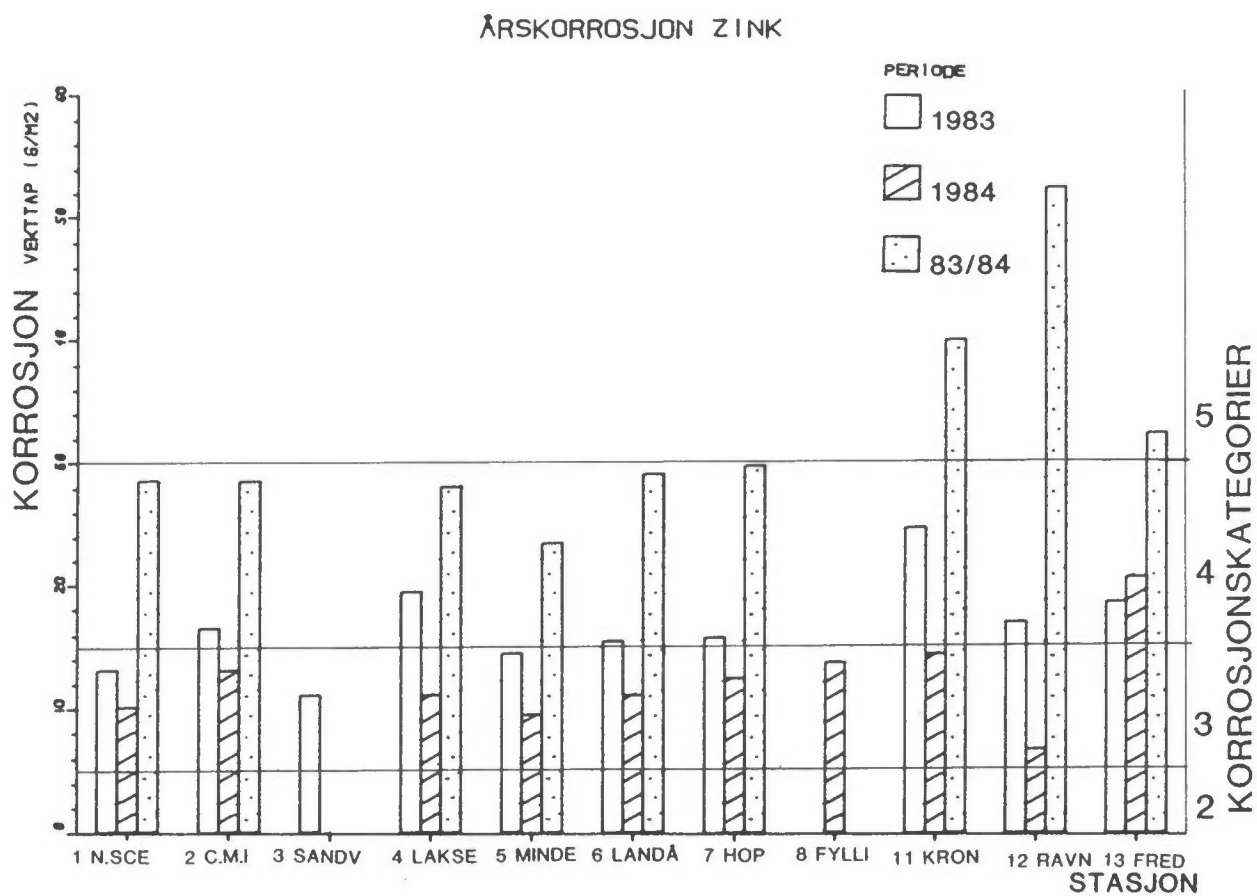


Figur 12: Kvartalskorrosjon av stål målt på stasjonene i Bergen i 1983/84.

## ÅRSKORROSJON STÅL

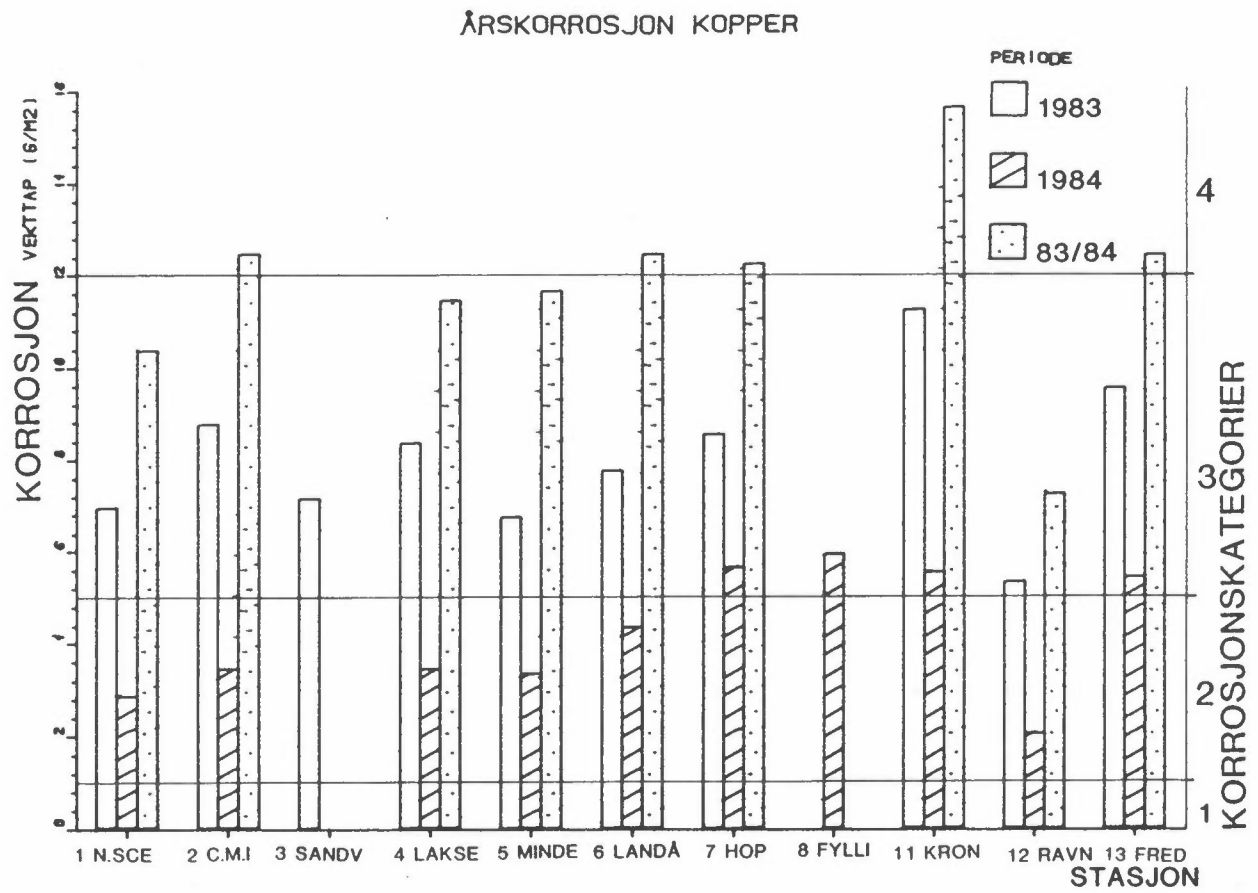


Figur 13: Korrosjon av stål 2x1-års og 2 års eksponering på stasjoner i Bergen.



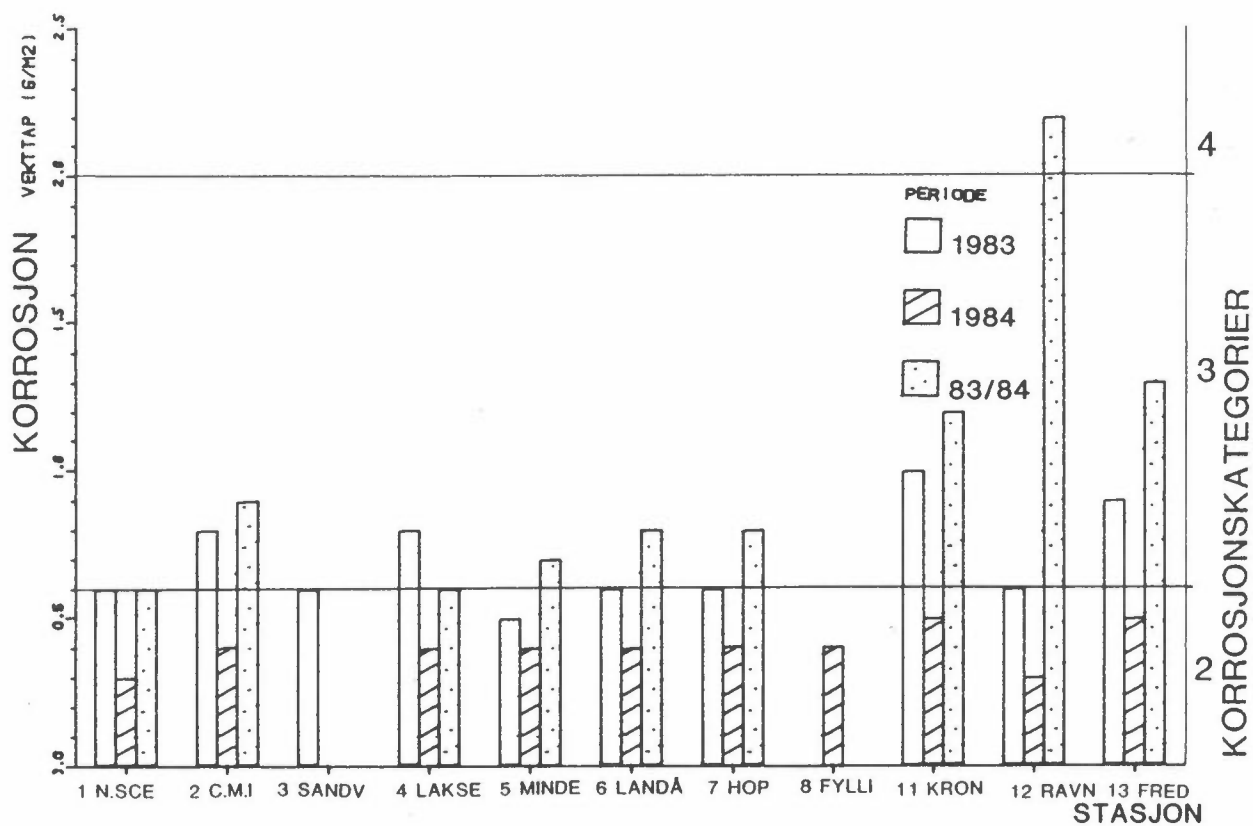
Figur 14: Korrosjon av sink 2x1-års og 2 års eksponering på stasjoner i Bergen.





Figur 15: Korrosjon av kopper 2x1-års og 2 års eksponering på stasjoner i Bergen.

## ÅRSKORROSJON ALUMINIUM



Figur 16: Korrosjon av aluminium 2x1-års og 2 års eksponering på stasjoner i Bergen.

## GRUNNLAGSMATERIALE 6 - DOSE-EFFEKT RELASJONER FOR STÅL

Utenom fuktbelastningen er det liten belastning av de fleste korrosjonsbestemmende variable ( $SO_2$ , surhet og sjøsalt). Korrosjonshastigheten av stål i Bergen er derfor relativt lav (mellom Hof og Alvim i S-F) og uniform, og dårlig korrelert med andre miljøvariable enn nedbørmengde og våttid.

Det er gjort multipel regresjonsanalyse av korrosjonshastigheter og miljøvariablene gitt i grunnlagsmateriale 3 og 4. Ved å anta like klimatiske forhold fikk alle stasjonene de samme månedlige temperaturer og våttid, mens alle stasjonene har separate målinger av øvrige miljøvariable.

Den multiple regresjonsanalysen er gjort med et standardprogram utviklet ved NILU (Gram, 1972). Foruten korrelasjonen mellom de enkelte variable gir programmet også de ti beste relasjonene av summen av henholdsvis to og tre variable. I dette ligger det også en testing av om inkludering av en ny variabel betyr en signifikant økning av korrelasjonen ved de valgte konfidensnivåene 95% (\*\*) og 90% (\*)..

Som det fremgår av etterfølgende tabeller er de fleste av regresjonslikningene med to eller tre variable ikke relevante. Det skyldes en eller flere av følgende årsaker:

- Relasjonen skal bare inneholde uavhengige variable, f.eks. skal ikke både TOW og STOW inngå i samme ligning.
- Ut fra antatt korrosjonsmekanisme skal de nedbørkvalitetsvariable forekomme med positivt fortegn i relasjonene.
- Økningen i antall variable skal bety en signifikant økning av korrelasjonene.

I regresjonsanalysene har vi også inkludert kombinerte variable, som produktet av  $SO_2$  og våttid (S.TOW),  $SO_2$  og kloridkonsentrasjon ( $SO Cl$ ), for å undersøke eventuelle synergistiske effekter.

Fra de ulike regresjonsanalysene har vi trukket ut de beste relasjonene oppnådd på henholdsvis måneds-, kvartals- og årsbasis (Tabell 13).

Tabell 13: De beste månedlige, kvartalsvise og årlige D/R relasjoner for stål.

Relasjon	Korrelasjonskoeffisient R (antall data)	Uforklart variasjon (1-R <sup>2</sup> )%
$K_{Fe}^m = 0.05 \text{ mm} + 0.05 \text{ TOW} + 0.12 \text{ H}^+ + 7.1$	R = 0.47 (126)	83
$K_{Fe}^{kv} = 0.06 \text{ mm} + 0.004 \text{ SO}_2 \times \text{TOW} + 28.9$	R = 0.62 (81)	62
$K_{Fe}^{\text{år}} = 0.12 \text{ TOW} + 0.72 \text{ SO}_2 \times \text{Cl} - \text{C} - 250.3$	R = 0.89 (18)	21
$K_{Fe}^{\text{år}} = 0.12 \text{ TOW} + 5.4 \text{ SO}_2 - 310.2$	R = 0.88 (18)	23

I likningene er mm = mm nedbørmengde, TOW = våttid, H<sup>+</sup> = konsentrasjon av H<sup>+</sup> ioner, SO<sub>2</sub> TOW = SO<sub>2</sub> x våttid, og SO<sub>2</sub> x Cl-C = SO<sub>2</sub> x klorid-konsentrasjon.

Det er dårligst korrelasjon på månedsbasis, hvor en relasjon med summen av mm-nedbør, våttid og H<sup>+</sup> kun gir en korrelasjonskoeffisient på 0.47 med en uforklart restvarians 83%.

Den fullstendige regresjonsanalysen er vist i tabell 14. På månedsbasis ser en at den store nedbørmengden spiller en like stor rolle som våttiden. Sammenlignet med de fleste andre steder i landet vil i Bergen langt mer av den totale våttiden bestå av regn. Nedbøren kan ha både en generell korroderende effekt og en avvaskende korrosjonshindrende effekt. Det sistnevnte er særlig tilfelle når det er mye forurensninger, og hvor nedbøren vasker de korroderende forurensningene vekk fra overflaten. På bakgrunn av det lave forurensningsnivået i Bergen er det rimelig å anta at regnmengden i Bergen primært har en korroderende effekt.

Vi har også kjørt regresjonsanalyser ved å ta bort en og en stasjon fra den totale datamassen og ved å kjøre hver stasjon for seg. Dette gjør ingen forskjell i korrelasjonene. På hver enkelt stasjon blir korrelasjonskoeffisienten noe høyere, men vi får ingen signifikant økning i korrelasjonen ved å legge til to eller tre variable.

For kvartalskorrosjon er det fortsatt svært dårlig korrelasjon, men et visst SO<sub>2</sub>-bidrag kan spores.

Regresjonsanalysen er vist i tabell 15. Som vi ser er det fortsatt mm-nedbør som er best korrelert av de enkeltvariable. Blant annet som følge av dette har vi også fått en korrelasjon med kloridbelastning. Ellers legger vi merke til at det blir en signifikant økning i korrelasjonen når vi inkluderer SO<sub>2</sub>, enten alene eller i form av produktet SO<sub>2</sub> multiplisert med TOW. På grunnlag av en slik ligning vil vi eventuelt kunne beregne korrosjonen for Bergen ut fra konsentrasjonskartet for SO<sub>2</sub> for Bergen (Grønnskei et al., 1986).

Vi har også kjørt denne regresjonen uten de tre stasjonene Fyllingsdalen (mangler mye data) og Sandviken/Kronstad som var beheftet med usikkerheter som tidligere angitt. I det sistnevnte tilfellet øker korrelasjonene en del, og en relasjon med temperatur og våttid eller mm-nedbør har en korrelasjonskoeffisient på 0.76. Økning av antall variable øker ikke korrelasjonene.

Årskorrosjonen av stål er godt korrelert med våttiden. Bidrag fra SO<sub>2</sub> og klorid kan også spores.

Regresjonsanalysene er vist i tabell 16. På grunn av de svært uregelmessige årskorrosjonsdataene på Kronstad er denne stasjonen utelatt i regresjonsanalysen. Vi ser at korrosjonen er godt korrelert med våttiden ( $R = 0.84$ ). Også mm-nedbør og kloridkonsentrasjonen er bra korrelert som enkeltvariable. Dette er som ventet siden det er stor forskjell på korrosjonen i de to årene, men ingen vesentlig forskjell i SO<sub>2</sub>-nivået. Derfor er det ingen korrelasjon med SO<sub>2</sub> som enkeltvariabel. Ved summen av to variable blir det en signifikant økning i korrelasjonen om produktet av SO<sub>2</sub> og kloridkonsentrasjonen inkluderes i ligningen. Da oppnås en korrelasjonskoeffisient på 0.89 (ca 20% restvarians). Vi ser også at det er flere ligninger med tilnærmet samme korrelasjon, f.eks. summen av SO<sub>2</sub> og våttid med  $R=0.88$ . I S-F-undersøkelsen fikk vi ikke denne relasjonen for årskorrosjonen, da denne ble overskygget av korrelasjonen med SO<sub>2</sub> og produktet SO<sub>2</sub>/våttid ( $R=0.93-0.95$ ). (Haagenrud et al.1, 1984). Når vi også inkluderer Kronstad i regresjonene går korrelasjonskoeffisientene vesentlig ned, og det blir ingen signifikant økning av korrelasjonen ved to og tre variable.

Tabell 14: Multipel lineær regresjonsanalyse - sammenheng mellom måneds-  
korrosjon av stål og miljøvariable målt på 10 stasjoner i Bergen  
i perioden 19894-02-01--12-31.

KORROSJON BERGEN										
*** REG ***										
*****										
126 DATASET										
*****										
MIDDELVERDI, MAKSIMUM OG STANDARD AVVIK										
KORR	MM	TEMP	TOW	S02	CL-C	H+	STOW	SOCL	CL-B	
32.249	135.580	8.037	285.143	9.770	7.644	41.152	22574.700	98.788	25.574	
88.700	350.520	14.800	402.000	34.000	74.000	158.490	9817.200	1125.200	93.120	
15.588	94.900	4.895	77.102	7.131	10.575	33.982	1721.492	170.094	23.867	
*****										
KORRELASJONSMATRISEN:										
KORR	1.000	.327	.125	.341	-.066	-.152	.144	.120	-.161	.100
MM	.327	1.000	-.087	.414	-.016	-.270	-.299	.149	-.235	.743
TEMP	.125	-.087	1.000	.482	-.672	-.507	.261	-.496	-.576	-.535
TOW	.341	.414	.482	1.000	-.387	-.593	-.077	.015	-.608	.065
S02	-.066	-.016	-.672	-.387	1.000	.322	-.239	.879	.434	.422
CL-C	-.152	-.270	-.507	-.593	.322	1.000	-.291	.032	.853	.083
H+	.144	-.299	.261	-.077	-.239	-.291	1.000	-.248	-.258	-.412
STOW	.120	.149	-.496	.015	.879	.032	-.248	1.000	.307	.401
SOCL	-.161	-.235	-.576	-.608	.634	.853	-.258	.307	1.000	.203
CL-B	.100	.743	-.535	.065	.422	.083	-.412	.401	.203	1.000
	KORR	MM	TEMP	TOW	S02	CL-C	H+	STOW	SOCL	CL-B
*****										
REGRESSJONSLIGNINGENE:										
KORR =	.0537*MM	+ 24.9633								R= .3272 ,RR= .8930
KORR =	.3979*TEMP	+ 29.0516								R= .1250 ,RR= .9844
KORR =	.0690*TOW	+ 12.5628								R= .3415 ,RR= .8834
KORR =	-.1449*S02	+ 33.6645								R= -.0663 ,RR= .9956
KORR =	-.2238*CL-C	+ 33.9602								R= -.1519 ,RR= .9769
KORR =	.0662*H+	+ 29.5252								R= .1443 ,RR= .9792
KORR =	.0011*STOW	+ 29.4628								R= .1195 ,RR= .9857
KORR =	-.0147*SOCL	+ 33.7051								R= -.1608 ,RR= .9741
KORR =	.0654*CL-B	+ 30.5774								R= .1001 ,RR= .9900
*****										
										RR=UFORKLART VARIANS/TOTAL VARIANS

For neste side:

- (1) \*\* = Signifikant økning av korrelasjonen på 99% nivå.
- (2) = Forkastet på grunn av negativt Cl-B ledd.
- (3) = Forkastet på grunn av 2 avhengige variable.
- (4) = Ingen signifikant økning i R.

Tabell 14: forts.

DE 10 BESTE RELASJONER MED TO VARIABLE:									
KORR =	.0668*MM	* .1220*H*	18.1698	R =	.4141, RR =	.3285			(1)
ST_AVVIK	.0161	.0395	3.1290						↓
T-TEST	4.7287	3.0924	5.3068	OVERGANG FRA MM	(R =	.3277) TIL TO VARIABLE: F =	2.56**	NORS =	124
KORR =	.0368*MM	* .0503*TM*	12.9227	R =	.3978, RR =	.3417			
ST_AVVIK	.0149	.0184	4.9411						
T-TEST	2.4446	2.7357	2.6153	OVERGANG FRA TM	(R =	.3415) TIL TO VARIABLE: F =	4.08**	NORS =	124
KORR =	.0726*MM	* -.2082*CL-B	25.0145	R =	.3904, RR =	.3474			(2)
ST_AVVIK	.0204	.0810	2.2535						
T-TEST	4.3491	-2.5716	11.1004	OVERGANG FRA MM	(R =	.3277) TIL TO VARIABLE: F =	4.41**	NORS =	124
KORR =	.0717*TM*	* .0798*H*	3.5578	R =	.3820, RR =	.3541			
ST_AVVIK	.0169	.0333	5.3434						
T-TEST	4.2444	2.0542	1.3014	OVERGANG FRA TM	(R =	.3415) TIL TO VARIABLE: F =	4.22**	NORS =	124
KORR =	-1.6441*S02	* .0071*STW*	30.1165	R =	.3783, RR =	.3569			(3)
ST_AVVIK	.3823	.0014	2.3429						
T-TEST	-4.3003	4.4624	12.3545	OVERGANG FRA STW	(R =	.1195) TIL TO VARIABLE: F =	18.49**	NORS =	124
KORR =	.0560*MM	* .4924*TEMP*	20.7054	R =	.3414, RR =	.3492			
ST_AVVIK	.0159	.2587	3.2567						
T-TEST	4.0366	1.8323	4.3579	OVERGANG FRA MM	(R =	.3272) TIL TO VARIABLE: F =	3.54**	NORS =	124
KORR =	.0687*TM*	* .0010*STW*	9.7953	R =	.3401, RR =	.3703			
ST_AVVIK	.0170	.0008	5.3453						
T-TEST	4.0387	1.3598	1.3630	OVERGANG FRA TM	(R =	.3415) TIL TO VARIABLE: F =	1.85**	NORS =	124
KORR =	.0680*TM*	* .0510*CL-B	11.5525	R =	.3503, RR =	.3773			
ST_AVVIK	.0171	.0553	5.1597						
T-TEST	3.9745	.9229	2.2390	OVERGANG FRA TM	(R =	.3415) TIL TO VARIABLE: F =	.45**	NORS =	124
KORR =	.0751*TM*	* .1694*S02	9.1732	R =	.3449, RR =	.3783			
ST_AVVIK	.0185	.2003	6.4395						
T-TEST	4.0536	.8458	1.4253	OVERGANG FRA TM	(R =	.3415) TIL TO VARIABLE: F =	.72**	NORS =	124
KORR =	.0784*TM*	* .1147*CL-C	9.0289	R =	.3472, RR =	.3795			
ST_AVVIK	.0212	.1547	6.9443						
T-TEST	3.6923	.7411	1.3002	OVERGANG FRA TM	(R =	.3415) TIL TO VARIABLE: F =	.55**	NORS =	124
.....									
DE 10 BESTE RELASJONER MED TRE VARIABLE:									
KORR =	.0503*MM	* .0474*TM*	* .1165*H*	7.1294	R =	.4454, RR =	.7832		
ST_AVVIK	.0151	.0178	.0386	5.1557					
T-TEST	3.3232	2.6581	3.0202	1.3429	OVERGANG FRA MM	OG H*	(R =	.4141) TIL TRE VARIABLE: F =	7.07**
KORR =	.0921*MM	* .1004*H*	* -.1478*CL-B	19.4083	R =	.4384, RR =	.3074		
ST_AVVIK	.0200	.0410	.0831	3.7790					
T-TEST	4.6144	2.4521	-1.7788	6.1051	OVERGANG FRA MM	OG H*	(R =	.4141) TIL TRE VARIABLE: F =	3.16**
KORR =	.0450*MM	* .1358*H*	* .0012*STW*	14.7230	R =	.4338, RR =	.3118		
ST_AVVIK	.0141	.0402	.0008	3.7932					
T-TEST	4.6147	3.3804	1.5871	3.4415	OVERGANG FRA MM	OG H*	(R =	.4141) TIL TRE VARIABLE: F =	2.52**
KORR =	.0370*MM	* -1.3268*S02	* .0056*STW*	25.7524	R =	.4334, RR =	.3120		
ST_AVVIK	.0143	.3932	.0014	2.4408					
T-TEST	2.5960	-3.3746	3.4062	9.0650	OVERGANG FRA S02	OG STW	(R =	.3793) TIL TRE VARIABLE: F =	6.74**
KORR =	.1040*MM	* .0017*STW*	* -.2941*CL-B	20.8843	R =	.4319, RR =	.3135		
ST_AVVIK	.0207	.0008	.0887	7.8743					
T-TEST	5.0348	2.2545	-3.3397	7.2444	OVERGANG FRA MM	OG CL-B	(R =	.3906) TIL TRE VARIABLE: F =	5.09**
KORR =	.0670*MM	* .3112*TEMP*	* .1105*H*	16.1219	R =	.4247, RR =	.3196		
ST_AVVIK	.0141	.2704	.0407	3.5958					
T-TEST	4.7462	1.1511	2.7168	4.4835	OVERGANG FRA MM	OG H*	(R =	.4141) TIL TRE VARIABLE: F =	1.33**
KORR =	.0479*MM	* .0373*TM*	* -.1431*CL-B	14.0597	R =	.4200, RR =	.3234		
ST_AVVIK	.0241	.0199	.0874	5.2682					
T-TEST	2.8196	1.8743	-1.4378	3.0494	OVERGANG FRA MM	OG TM	(R =	.3978) TIL TRE VARIABLE: F =	2.68**
KORR =	.0695*MM	* .0677*CL-C	* .1304*H*	16.4061	R =	.4140, RR =	.3269		
ST_AVVIK	.0154	.1379	.0433	4.0716					
T-TEST	4.5299	.4911	3.0175	4.1492	OVERGANG FRA MM	OG H*	(R =	.4141) TIL TRE VARIABLE: F =	.24**
KORR =	.0705*TM*	* .1121*H*	* .1142*CL-B	4.9591	R =	.4140, RR =	.3278		
ST_AVVIK	.0167	.0415	.0591	5.6598					
T-TEST	4.2180	2.7004	1.9471	.8055	OVERGANG FRA TM	OG H*	(R =	.3820) TIL TRE VARIABLE: F =	3.87**
KORR =	.0719*TM*	* .0978*H*	* .0015*STW*	3.8441	R =	.4144, RR =	.3279		
ST_AVVIK	.0167	.0391	.0008	5.4023					
T-TEST	4.3016	2.4991	1.9436	.6625	OVERGANG FRA TM	OG H*	(R =	.3820) TIL TRE VARIABLE: F =	3.84**

Tabell 15: Multipel lineær regresjonsanalyse - sammenheng mellom kvartalskorrosjon og stål og miljøvariable målt på 10 stasjoner i Bergen-området 1983/84.

KVARTALSKORROSJON BERGEN										
*** REG ***										
*****										
81 DATASET										
*****										
MIDDELVERDI, MAKSIMUM OG STANDARD AVVIK										
	KORR	MM	TEMP	TOW	S02	CL-C	H+	STOW	SOCL	CL-B
	90.678	559.221	7.823	955.951	8.972	6.202	33.0078038	38.111	68.932	42.157
	297.000	1272.300	13.300	1200.000	23.700	19.200	79.900	*****	433.920	208.200
	38.251	302.368	4.220	186.264	5.036	4.049	18.4163584	0.68	79.893	39.649
*****										
KORRELASJONSMATRISEN:										
KORR	1.000	.514	-.364	.166	.222	.318	-.330	.435	.193	.565
MM	.514	1.000	-.157	.595	-.130	.219	-.415	.188	-.055	.797
TEMP	-.364	-.157	1.000	.617	-.647	-.855	.355	-.437	-.741	-.547
TOW	.166	.595	.617	1.000	-.581	-.476	-.187	-.109	-.408	.174
S02	.222	-.130	-.647	-.581	1.000	.660	-.245	.838	.880	.232
CL-C	.318	.219	-.855	-.476	.660	1.000	-.414	.496	.873	.680
H+	-.330	-.415	.355	-.187	-.245	-.414	1.000	-.425	-.233	-.536
STOW	.435	.188	-.437	-.109	.838	.496	-.425	1.000	.631	.409
SOCL	.193	-.055	-.741	-.608	.880	.873	-.233	.631	1.000	.397
CL-B	.565	.797	-.547	.174	.232	.680	-.536	.409	.397	1.000
	KORR	MM	TEMP	TOW	S02	CL-C	H+	STOW	SOCL	CL-B
*****										
REGRESSJONSLIGNINGENE:										
KORR	=	.0651*MM	+	54.2916					R=	.5143 ,RR= .7355
KORR	=	-3.3006*TEMP	+	116.5000					R=	-.3641 ,RR= .8674
KORR	=	.0341*TOW	+	58.0438					R=	.1662 ,RR= .9724
KORR	=	1.6843*S02	+	75.5667					R=	.2217 ,RR= .9508
KORR	=	3.0059*CL-C	+	72.0338					R=	.3182 ,RR= .8987
KORR	=	-.6864*H+	+	113.3341					R=	-.3305 ,RR= .8008
KORR	=	.0046*STOW	+	53.3664					R=	.4349 ,RR= .8108
KORR	=	.0924*SOCL	+	84.3100					R=	.1929 ,RR= .9628
KORR	=	.5455*CL-B	+	67.6835					R=	.5655 ,RR= .6803
*****										
RR=UFORKLART VARIANS/TOTAL VARIANS										



Tabell 15: forts.

DE 10 BESTE RELASJONER MED TO VARIABLE:										
KORR =	.01567*MM	+	.0037*STOW	+	28.8810		R =	.6190,	RR =	.6160
ST_AVVIK	.0115		.0010		0.6994					
T-TEST	4.9519		3.8718		2.9777					
OVERGANG FRA MM (R = .5143) TIL TO VARIABLE: F = 14.79** NOBS = 81										
KORR =	-6.8520*TEMP	+	.1276*TON	+	20.1718		R =	.6150,	RR =	.6206
ST_AVVIK	1.0275		.0233		18.7226					
T-TEST	-6.6490		5.5694		3.0785					
OVERGANG FRA TEMP (R = -.3641) TIL TO VARIABLE: F = 31.02** NOBS = 81										
KORR =	.0026*STOW	+	.4490*CL-B	+	50.7570		R =	.6080,	RR =	.6304
ST_AVVIK	.0011		.0950		8.4533					
T-TEST	2.4843		4.7253		6.0045					
OVERGANG FRA CL-B (R = .5655) TIL TO VARIABLE: F = 6.17* NOBS = 81										
KORR =	.0699*MM	+	2.2289*SO2	+	31.6020		R =	.5900,	RR =	.6508
ST_AVVIK	.0117		.6997		10.2253					
T-TEST	5.9966		3.1852		3.0904					
OVERGANG FRA MM (R = .5143) TIL TO VARIABLE: F = 10.15** NOBS = 81										
KORR =	.0593*MM	+	-2.6350*TEMP	+	78.1276		R =	.5890,	RR =	.6530
ST_AVVIK	.0117		.8598		10.5680					
T-TEST	5.0604		-3.1378		7.3922					
OVERGANG FRA MM (R = .5143) TIL TO VARIABLE: F = 9.85** NOBS = 81										
KORR =	.0221*MM	+	.4114*CL-B	+	60.9999		R =	.5752,	RR =	.6692
ST_AVVIK	.0194		.1480		7.8203					
T-TEST	1.1347		2.7796		7.8002					
OVERGANG FRA CL-B (R = .5655) TIL TO VARIABLE: F = 1.29 NOBS = 91										
KORR =	.7270*SO2	+	.5241*CL-B	+	62.0643		R =	.5731,	RR =	.6716
ST_AVVIK	.7246		.0920		7.6189					
T-TEST	1.0033		5.6949		8.1461					
OVERGANG FRA CL-B (R = .5655) TIL TO VARIABLE: F = 1.01 NOBS = 81										
KORR =	-1.1631*CL-C	+	.6263*CL-B	+	71.4939		R =	.5726,	RR =	.6721
ST_AVVIK	1.1957		.1221		6.4841					
T-TEST	-1.9728		5.1286		11.0260					
OVERGANG FRA CL-B (R = .5655) TIL TO VARIABLE: F = .95 NOBS = 81										
KORR =	.0141*TON	+	.5558*CL-B	+	54.7027		R =	.5695,	RR =	.6757
ST_AVVIK	.0194		.0912		18.6195					
T-TEST	.7258		5.8521		2.9379					
OVERGANG FRA CL-B (R = .5655) TIL TO VARIABLE: F = .53 NOBS = 81										
KORR =	-.7111*TEMP	+	.5041*CL-B	+	74.9998		R =	.5693,	RR =	.6759
ST_AVVIK	1.0077		.1073		11.5796					
T-TEST	-1.7056		4.7006		6.4761					
OVERGANG FRA CL-B (R = .5655) TIL TO VARIABLE: F = .50 NOBS = 81										
*****										

Tabell 16: Multipel lineær regresjonsanalyse - sammenheng mellom årskorrosjon av stål og miljøvariable målt på 9 stasjoner (ikke Kronstad) i årene 1983 og 1984.

ÅRSKORROSJON BERGEN										UTEN NR.9 KRONSTAD													
*** REG ***																							
*****																							
18 DATASETJ																							
*****																							
MIDDELVERDI, MAKSIMUM OG STANDARD AVVIK																							
*****																							
K	FE	MM	H+	CL-C	CL-B	S02	TEMP	TOW	STOW	SOCL	K	FE	MM	H+	CL-C	CL-B	S02	TEMP	TOW	STOW	SOCL		
241.394	2186.928	30.056	6.411	41.000	8.589	7.956	3754.667	*****	55.786		241.394	2186.928	30.056	6.411	41.000	8.589	7.956	3754.667	*****	55.786			
368.700	3607.300	49.700	9.800	98.200	14.900	8.000	4188.000	*****	102.810		368.700	3607.300	49.700	9.800	98.200	14.900	8.000	4188.000	*****	102.810			
57.884	728.191	8.995	1.236	20.645	3.123	.051	398.822	*****	24.927		57.884	728.191	8.995	1.236	20.645	3.123	.051	398.822	*****	24.927			
*****																							
KORRELASJONSMATRISEN:																							
K	FE	MM	H+	CL-C	CL-B	S02	TEMP	TOW	STOW	SOCL	K	FE	MM	H+	CL-C	CL-B	S02	TEMP	TOW	STOW	SOCL		
1.000	.729	-.472	.733	.773	.002	-.835	.835	.261	.328		1.000	.729	-.472	.733	.773	.002	-.835	.835	.261	.328			
.729	1.000	.219	.661	.918	-.247	-.933	.933	.022	.086		.729	1.000	.219	.661	.918	-.247	-.933	.933	.022	.086			
-.472	-.219	1.000	-.332	-.208	-.105	.324	-.324	-.178	-.215		-.472	-.219	1.000	-.332	-.208	-.105	.324	-.324	-.178	-.215			
.733	.661	-.332	1.000	.888	.198	-.443	.443	.420	.607		.733	.661	-.332	1.000	.888	.198	-.443	.443	.420	.607			
.773	.918	-.208	.888	1.000	-.063	-.852	.852	.207	.346		.773	.918	-.208	.888	1.000	-.063	-.852	.852	.207	.346			
.002	-.247	-.105	.198	-.063	1.000	.314	-.314	.955	.893		.002	-.247	-.105	.198	-.063	1.000	.314	-.314	.955	.893			
-.835	-.933	.324	-.643	-.852	.314	1.000	-1.000	.031	-.022		-.835	-.933	.324	-.643	-.852	.314	1.000	-1.000	.031	-.022			
.835	.933	-.324	.643	.852	-.314	-1.000	1.000	-.031	.022		.835	.933	-.324	.643	.852	-.314	-1.000	1.000	-.031	.022			
.261	.022	-.178	.420	.207	.955	.031	-.031	1.000	.958		.261	.022	-.178	.420	.207	.955	.031	-.031	1.000	.958			
.328	.086	-.215	.607	.346	.893	-.022	.022	.958	1.000		.328	.086	-.215	.607	.346	.893	-.022	.022	.958	1.000			
	K	FE	MM	H+	CL-C	CL-B	S02	TEMP	TOW	STOW	SOCL		K	FE	MM	H+	CL-C	CL-B	S02	TEMP	TOW	STOW	SOCL
*****																							
REGRESSJONSLIGNINGENE:																							
K	FE	=	.0580	*MM	+	114.6348					R=	.7292	,RR=	.4683									
K	FE	=	-3.0352	*H+	+	332.6182					R=	-.4717	,RR=	.7775									
K	FE	=	34.3389	*CL-C	+	21.2440					R=	.7331	,RR=	.4626									
K	FE	=	2.1666	*CL-B	+	152.5636					R=	.7727	,RR=	.4029									
K	FE	=	.0312	*S02	+	241.1246					R=	.0017	,RR=	1.0000									
K	FE	=	-945.5500	*TEMP	+	7763.7700					R=	-.8352	,RR=	.3024									
K	FE	=	.1212	*TOW	+	-213.7626					R=	.8352	,RR=	.3024									
K	FE	=	.0014	*STOW	+	196.6487					R=	.2613	,RR=	.9317									
K	FE	=	.7614	*SOCL	+	198.9163					R=	.3279	,RR=	.8925									
*****																							
										RR=IFORKLART VARIANS/TOTAL VARIANS													

Tabell 16: forts.

DE 10 BESTE RELASJONER MED TO VARIABLE:				
K FE =	.1205* $TOW$ +	.7199* $SOCL$ +	-250.2721	R = .8909, RR = .2063
ST,AVVIK	.0170	.2724	65.7207	
T-TEST	7.0628	2.6426	-3.8081	
OVERGANG FRA $TOW$ (R = .8352) TIL TO VARIABLE: F = 6.08* NOBS = 18				
K FE =	-0.979679* $TEMP$ +	.7199* $SOCL$ +	7663.2905	R = .8909, RR = .2063
ST,AVVIK	152.8039	.2724	*****	
T-TEST	-7.0628	2.6426	7.2501	
OVERGANG FRA $TEMP$ (R = -.8352) TIL TO VARIABLE: F = 6.08* NOBS = 18				
K FE =	.1225* $TOW$ +	.0015* $STOW$ +	-247.8790	R = .8833, RR = .2198
ST,AVVIK	.0176	.0007	70.1193	
T-TEST	6.9712	2.3749	-3.8206	
OVERGANG FRA $TOW$ (R = .8352) TIL TO VARIABLE: F = 5.64* NOBS = 18				
K FE =	-0.9556974* $TEMP$ +	.0015* $STOW$ +	7795.2465	R = .8833, RR = .2198
ST,AVVIK	137.0928	.0007	*****	
T-TEST	-6.9712	2.3749	7.1501	
OVERGANG FRA $TEMP$ (R = -.8352) TIL TO VARIABLE: F = 5.64* NOBS = 18				
K FE =	5.4184* $SO2$ +	.1345* $TOW$ +	-310.2485	R = .8801, RR = .2253
ST,AVVIK	2.5926	.0187	79.5234	
T-TEST	2.2647	7.1809	-3.9013	
OVERGANG FRA $TOW$ (R = .8352) TIL TO VARIABLE: F = 5.13* NOBS = 18				
K FE =	5.4184* $SO2$ +	***** $TEMP$ +	8542.7192	R = .8801, RR = .2253
ST,AVVIK	2.5926	144.1248	*****	
T-TEST	2.2647	-7.1809	7.3883	
OVERGANG FRA $TEMP$ (R = -.8352) TIL TO VARIABLE: F = 5.13* NOBS = 18				
K FE =	15.6387* $CL-C$ +	.0900* $TOW$ +	-196.9642	R = .8735, RR = .2371
ST,AVVIK	7.6931	.0238	69.3676	
T-TEST	2.0328	3.7778	-2.8394	
OVERGANG FRA $TOW$ (R = .8352) TIL TO VARIABLE: F = 4.13 NOBS = 18				
K FE =	15.6387* $CL-C$ +	-702.3675* $TEMP$ +	5728.8561	R = .8735, RR = .2371
ST,AVVIK	7.6931	185.9213	*****	
T-TEST	2.0328	-3.7778	3.7906	
OVERGANG FRA $TEMP$ (R = -.8352) TIL TO VARIABLE: F = 4.13 NOBS = 18				
K FE =	-51.7440* $SO2$ +	.0157* $STOW$ +	184.7177	R = .8717, RR = .2402
ST,AVVIK	7.8756	.0023	22.8818	
T-TEST	-6.5719	4.8884	8.0727	
OVERGANG FRA $STOW$ (R = .2613) TIL TO VARIABLE: F = 43.19** NOBS = 18				
K FE =	-1.4440* $H+$ +	.1107* $TOW$ +	-130.6788	R = .8618, RR = .2573
ST,AVVIK	.8909	.0201	88.1595	
T-TEST	-1.6218	5.5075	-1.4823	
OVERGANG FRA $TOW$ (R = .8352) TIL TO VARIABLE: F = 2.63 NOBS = 18				
*****				

**GRUNNLAGSMATERIALE 7 - DOSE/EFFEKT RELASJONER FOR SINK, KOPPER OG ALUMINIUM**

Årskorrosjonen av sink, kopper og aluminium er bra korrelert med nedbørsmengde og/ eller våttid. Våtdeponert klorid (Cl-B) er også av betydning.

De ulike ligningene for de tre materialene er vist i tabell 17, mens fullstendig regresjonsanalyse for sink er vist i tabell 18. De tilsvarende regresjonsanalysene for kopper og aluminium er svært like og tabellene utelates.

Tabell 17: Årlig dose-effekt relasjoner for sink, kopper og aluminium.

Relasjon	Korrelasjonskoeffisient R (18 data)	Uforklart variasjon (1-R <sup>2</sup> )%
$\frac{\text{år}}{K_{Zn}} = 0.004 \text{ mm} + 0.16H^{\dagger} + 0.51$	R = 0.72	48
$\frac{\text{år}}{K_{Zn}} = 0.007 \text{ TOW} + 0.22H^{\dagger} - 20.1$	R = 0.70	50
$\frac{\text{år}}{K_{Cu}} = 0.003 \text{ mm} + 0.37$	R = 0.77	40
$\frac{\text{år}}{K_{Cu}} = 0.005 \text{ TOW} - 11.7$	R = 0.82	32
$\frac{\text{år}}{K_{Cu}} = 0.09 \text{ Cl-B} + 2.1$	R = 0.81	35
$(\frac{\text{år}}{K_{Cu}} = 0.006 \text{ TOW} + 0.07H^{\dagger} - 17.2)$	R = 0.87	25
$\frac{\text{år}}{K_{Al}} = 0.0002 \text{ mm} + 0.05$	R = 0.86	26
$\frac{\text{år}}{K_{Al}} = 0.0004 \text{ TOW} - 0.82$	R = 0.82	33
$\frac{\text{år}}{K_{Al}} = 0.008 \text{ Cl-B} + 0.21$	R = 0.88	23

For alle tre materialene er det god korrelasjon med enkeltvariablene mm-nedbør, våttid og kloridbelastning. Siden nedbørmengden er målt på hver stasjon er datagrunnlaget for denne variabelen vesentlig bedre enn for våttid, hvor vi kun har én verdi for hele området for hvert år. Variablene er inter-korrelert og understreker det faktum at korrosjonen i Bergen i dominerende grad er bestemt av nedbør/våttid.

Nedbørkvaliteten i form av surhet og/eller klorid har også betydning. For sink gir tillegg av surhet i nedbøren signifikant økning av korrelasjonen. For kopper er surheten i nedbøren på grensen til å gi en signifikant økning av korrelasjonen.

SO<sub>2</sub> har ingen betydning.

Utover dette får vi ikke for noen av materialene noen signifikant økning av korrelasjonen ved tillegg av to eller tre variable i regresjonene.

Tabell 18: Multipel lineær regresjonsanalyse - sammenheng mellom årskorrosjonen av sink og miljøvariable målt på 9 stasjoner (ikke Kronstad) i Bergen-området i årene 1983 og 1984.

ÅRSKORROSJON BERGEN											UTEN NR.9
*** REG ***											
***** 18 DATASETT											
MIDDELVERDI, MAKSIMUM OG STANDARD AVVIK											
K ZN	MM	H+	CL-C	CL-B	S02	TEMP	TOW	STOW	SOCL		
14.1282234	706.489	29.811	6.544	42.656	8.533	7.9503798	8.000	*****	56.879		
21.0003607	706.300	49.700	9.800	98.200	14.900	8.0004188	8.000	*****	102.810		
3.738	706.580	9.410	1.316	20.455	3.073	.051	401.307	*****	26.005		
*****											
KORRELASJONSMATRISEN:											
K ZN	MM	H+	CL-C	CL-B	S02	TEMP	TOW	STOW	SOCL		
1.000	.608	.180	.333	.550	.044	-.506	.506	.171	.155		
.608	1.000	-.315	.633	.910	-.189	-.910	.910	.078	.130		
.180	-.315	1.000	-.481	-.331	-.095	.488	-.488	-.232	-.292		
.333	.633	-.481	1.000	.877	.271	-.669	.669	.499	.669		
.550	.910	-.331	.877	1.000	.012	-.847	.847	.281	.408		
.044	-.189	-.095	.271	.012	1.000	.220	-.220	.951	.891		
-.506	-.910	.488	-.669	-.847	.220	1.000	-1.000	-.078	-.127		
.506	.910	-.488	.669	.847	-.220	-1.000	1.000	.078	.127		
.171	.078	-.232	.499	.281	.951	-.078	.078	1.000	.961		
.155	.130	-.292	.669	.408	.891	-.127	.127	.961	1.000		
K ZN	MM	H+	CL-C	CL-B	S02	TEMP	TOW	STOW	SOCL		
*****											
REGRESSJONSLIGNINGENE:											
K ZN =	.0032*MM	+	6.9393							R = .6082	RR = .6301
K ZN =	.0716*H+	+	11.9935							R = .1802	RR = .9675
K ZN =	.9457*CL-C	+	7.9385							R = .3329	RR = .8892
K ZN =	.1005*CL-B	+	9.8393							R = .5502	RR = .6973
K ZN =	.0536*S02	+	13.6704							R = .0441	RR = .9981
K ZN =	-36.7778*TEMP	+	306.5111							R = -.5063	RR = .7437
K ZN =	.0047*TOW	+	-3.7802							R = .5063	RR = .7437
K ZN =	.0001*STOW	+	12.2639							R = .1714	RR = .9706
K ZN =	.0222*SOCL	+	12.8635							R = .1546	RR = .9761
*****											
RR=UFORKLART VARIANS/TOTAL VARIANS											

Tabell 18: forts.

DE 10 BESTE RELASJONER MED TO VARIABLE:						
K ZH =	.0030*MM	+	.1440*H+	+	.5009	R = .7235, RR = .4765
ST.AVVIK	.0010		.0746		3.6611	
T-TEST	3.9317		2.1992		.1393	
OVERGANG FRA MM (R= .6082) TIL TO VARIABLE: F= 4.84 NOBS= 18						
K ZH =	.2230*H+	+	.0073*TOV	+	-20.1305	R = .7045, RR = .5034
ST.AVVIK	.0834		15.2547		8.9354	
T-TEST	2.6740		3.7170		-2.2520	
OVERGANG FRA TOV (R= .5063) TIL TO VARIABLE: F= 7.15 NOBS= 18						
K ZH =	.2230*H+	+	-54.7019*TEMP	+	458.2501	R = .7045, RR = .5034
ST.AVVIK	.0834		15.2547		120.0815	
T-TEST	2.6740		-3.7170		3.8162	
OVERGANG FRA TEMP (R= -.5063) TIL TO VARIABLE: F= 7.15 NOBS= 18						
K ZH =	.1618*H+	+	.1252*CL-B	+	3.0427	R = .6712, RR = .5495
ST.AVVIK	.0804		.0371		3.3574	
T-TEST	2.0082		3.3778		1.1803	
OVERGANG FRA CL-B (R= .5507) TIL TO VARIABLE: F= 4.03 NOBS= 18						
K ZH =	-1.8379*CL-C	+	.2042*CL-B	+	17.4441	R = .6321, RR = .6005
ST.AVVIK	1.1822		.0760		5.1868	
T-TEST	-1.5546		2.6853		3.3634	
OVERGANG FRA CL-B (R= .5502) TIL TO VARIABLE: F= 2.42 NOBS= 18						
K ZH =	.0034*MM	+	.2009*SO2	+	4.8550	R = .6204, RR = .6038
ST.AVVIK	.0011		.2485		3.5779	
T-TEST	3.1295		.8081		1.3572	
OVERGANG FRA MM (R= .6082) TIL TO VARIABLE: F= .65 NOBS= 18						
K ZH =	.0032*MM	+	.0000*STOV	+	5.4944	R = .6208, RR = .6146
ST.AVVIK	.0011		.0001		3.2176	
T-TEST	2.9479		.6154		1.7698	
OVERGANG FRA MM (R= .6082) TIL TO VARIABLE: F= .38 NOBS= 18						
K ZH =	.0045*MM	+	-.0026*TOV	+	13.7146	R = .6188, RR = .6171
ST.AVVIK	.0026		.0044		12.3080	
T-TEST	1.7541		-.5623		1.1143	
OVERGANG FRA MM (R= .6082) TIL TO VARIABLE: F= .32 NOBS= 18						
K ZH =	.0045*MM	+	19.9954*TEMP	+	-154.9865	R = .6188, RR = .6171
ST.AVVIK	.0026		35.5615		287.0912	
T-TEST	1.7541		.5423		-.5382	
OVERGANG FRA MM (R= .6082) TIL TO VARIABLE: F= .32 NOBS= 18						
K ZH =	.0032*MM	+	.0110*SOCL	+	6.4298	R = .6120, RR = .6243
ST.AVVIK	.0011		.0294		2.8685	
T-TEST	2.9072		.3731		2.2415	
OVERGANG FRA MM (R= .6082) TIL TO VARIABLE: F= .14 NOBS= 18						
*****						

**REFERANSER**

Haagenrud, S., Henriksen, J.F. og Gram, F. (1984) Basisundersøkelse av luftkvaliteten i Sarpsborg og Fredrikstad 1981-1983. Delrapport B - Korrosjon og miljø. Lillestrøm (NILU OR 28/84).

Ellis, O.B. (1949) ASM Proceedings, 49, 152-170.

Gram, F. (1972) Program Mul-Reg. Lillestrøm (NILU TN 22/72).

International Standard Organization (1985) Corrosion of metals and alloys. Classification of corrosivity categories of atmospheres. (ISO/TC156/WG4 - ISO DP 9223.

Larssen, S. (1986) Basisundersøkelse av luftkvaliteten i Bergen 1983-85. Hovedrapport. Lillestrøm (NILU OR 58/86).

Wrangléen, G. (1972) An introduction to corrosion and protection of metals. Stockholm, Institut för metalskydd.



