

NILU OR: 40/88

NILU OR : 40/88  
REFERANSE: O-8630  
DATO : AUGUST 1988  
ISBN : 82-7247-937-0

UNDERSØKELSE AV LUFTKVALITET  
OG KORROSJON RUNDT  
AVFALLSFORBRENNINGSANLEGGET  
PÅ HEIMDAL

T. Bøhler, J.F. Henriksen og T. Berntsen

---

## SAMMENDRAG

NILU har på oppdrag fra Trondheim Elektrisitetsverk og Statens forurensningstilsyn utført en undersøkelse av luft- og nedbørkvalitet og korrosjon i området rundt Heimdal Varmesentral. Formålet med undersøkelsen var å vurdere om luftkvaliteten i området var endret sammenlignet med forholdene før varmesentralen startet. Målinger av meteorologi og luftkvalitet foregikk i tre måneder sommeren 1987 og tre måneder vinteren 1986/87. Korrosjon og nedbør ble målt i ett år fra juni 1986. Tilsvarende målinger er gjennomført i årene 1983-84, før anleggstart. Luftkvalitetsmålingene har ikke omfattet dioksiner og dibenzofuraner.

Ved bruk av tidligere målinger av meteorologi ble det utført spredningsberegninger for å bestemme hvilke områder som får høyest belastning fra anlegget. Resultatene ble brukt til lokalisering av målestedet for denne etterundersøkelsen. Lokaliseringen ble sør for Tiller kirke, 2 km nordøst for Heimdal Varmesentral.

### Luftkvalitet

Konsentrasjonen av hydrogenklorid og svoveldioksid har økt siden førundersøkelsen. Analyser av måledata viser at kun hydrogenklorid kan tilskrives utslipp fra forbrenningsanlegget for avfall, mens økningen av svoveldioksid trolig skyldes annen aktivitet i området. Konsentrasjonen av både svoveldioksid og hydrogenklorid er lave og tilsvarer verdier målt i lite forurensede områder i Norge.

Konsentrasjonene av kvikksølv (Hg) er på samme nivå som i førundersøkelsen i begge perioder. I juni 1987 ble det målt enkelte høye Hg-konsentrasjoner. Disse skyldes trolig utslipp fra andre kilder, som naturlig re-emisjon fra bakken i varme perioder, og ikke utslipp fra avfallsforbrenningsanlegget.

Konsentrasjonen av bly og kadmium har gått ned om sommeren sammenlignet med førundersøkelsen. I vinterperioden har blykonsentrasjonen

økt noe, mens kadmium var på samme nivå som i førundersøkelsen. Regresjonsanalysen viser imidlertid ingen sammenheng mellom forekomst av vind fra anlegget og økte konsentrasjoner.

Tørravsetning av klorid har økt siden førundersøkelsen. Dette kan trolig tilskrives forbrenningsanlegget.

### Nedbørkvalitet

Sulfatkonsentrasjonen og surhetsgraden i nedbøren har økt noe siden førundersøkelsen. Nivået er imidlertid fremdeles det samme som i lite forurensede områder av Norge. Tilsvarende endringer er registrert på nærmeste målestasjon for langtransporterte forurensninger.

Klorid-, magnesium- og blykonsentrasjonen er tilnærmet den samme i nedbøren, mens kadmiumkonsentrasjonen har avtatt i forhold til førundersøkelsen. Kadmiumkonsentrasjonen er nå nede på det nivå som er vanlig i bakgrunnsområder.

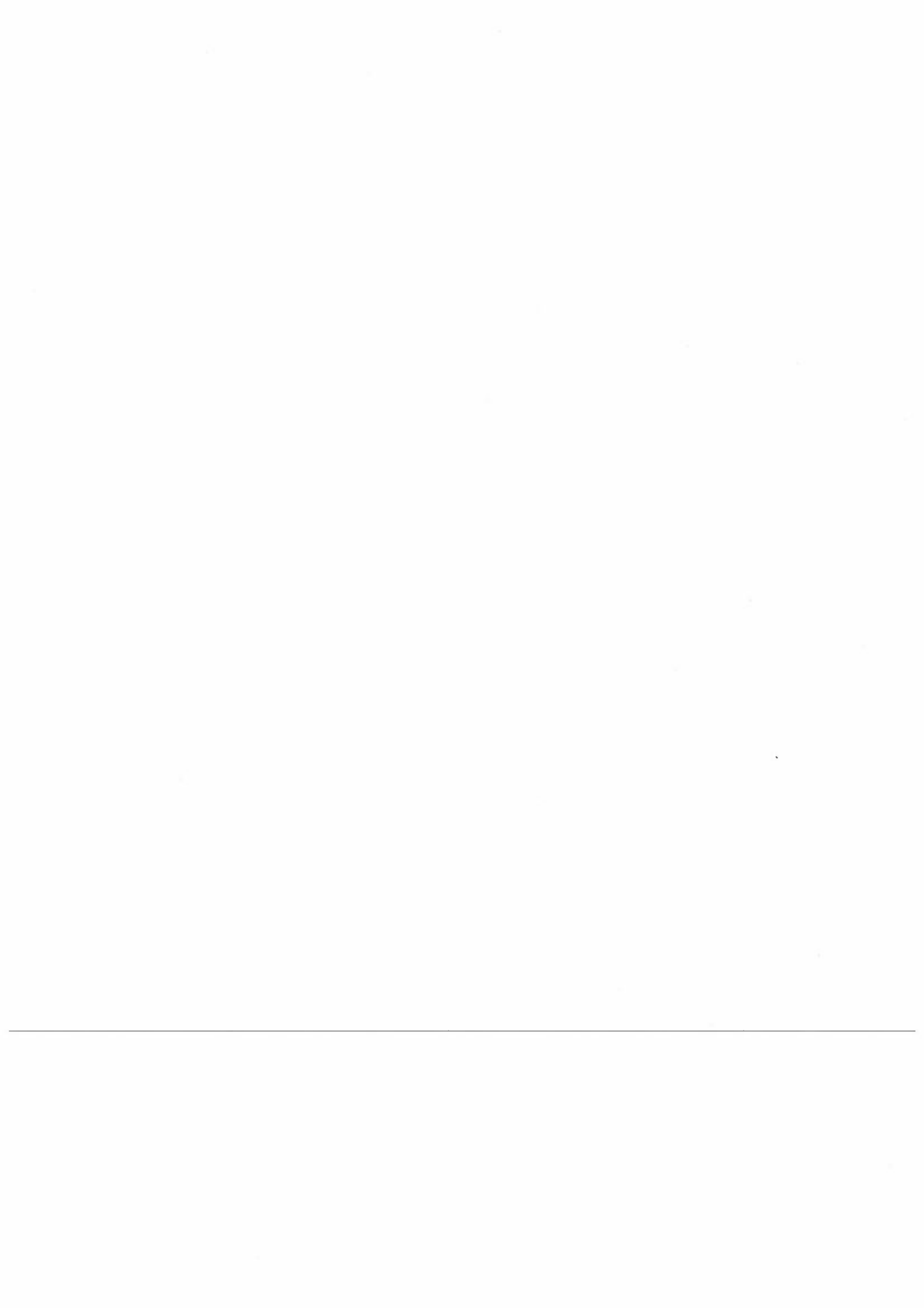
### Korrosjon

Korrosjonsmålingene viser at den økte mengden med tørravsatt klorid ikke har medført økt korrosjon på metaller i området. Dette skyldes at selv om økningen har vært betydelig relatert til førundersøkelsen, er nivået fremdeles så lavt at det må regnes som et bakgrunnsområde. Korrosjonshastighetene kan derfor sammenlignes med korrosjonshastigheter i andre landområder.

---

# INNHOLD

	Side
SAMMENDRAG .....	1
1 INNLEDNING .....	5
2 SPREDNINGSBEREGNINGER .....	6
2.1 Korttidsbelastning .....	6
2.2 Langtidsbelastning .....	8
3 VALG AV MÅLESTEDER OG PERIODE .....	10
4 METEOROLOGI .....	11
4.1 Temperatur og luftfuktighet .....	11
4.2 Vind .....	13
5 STATISTISKE METODER .....	15
5.1 Hypotesetesting av middelkonsentrasjonene .....	15
5.2 Regresjonsanalyse .....	16
6 LUFTKVALITET .....	19
6.1 Luftkvalitet - sommeren 1986 .....	19
6.2 Luftkvalitet - vinteren 1986/87 .....	22
7 NEDBØRKVALITET .....	25
8 AVSETNING .....	27
9 KORROSJON .....	30
9.1 Kloridbelastningene .....	31
10 KONKLUSJON .....	32
11 REFERANSER .....	34
Vedlegg A: Tekniske data - utslippsverdier for avfalls- forbrenningsanlegget .....	35
Vedlegg B: Fordeling av vind og stabilitet fra før- undersøkelsen .....	39
Vedlegg C: Grafisk presentasjon av timesverdier for meteorologiske parametre .....	43
Vedlegg D: Vindstatistikk sommeren 1986 og vinteren 1986/87 for Heimdal .....	51
Vedlegg E: Forekomst av vind fra varmesentralen mot måle- stedet .....	55
Vedlegg F: Grafisk presentasjon av luftkvalitetsdata .....	59
Vedlegg G: Grafisk presentasjon av nedbørdata .....	73
Vedlegg H: Statistisk bearbeidelse av måldata .....	79
Vedlegg I: Grafisk presentasjon av korrelasjon mellom vind og konsentrasjoner .....	85



## UNDERSØKELSE AV LUFTKVALITET OG KORROSJON RUNDT AVFALLSFORBRENNINGSANLEGGET PÅ HEIMDAL

### 1 INNLEDNING

Trondheim Elektrisitetsverk (TEV) driver et anlegg for produksjon av fjernvarme på Heimdal syd for Trondheim. Anlegget baseres på avfallsforbrenning, men har muligheter til å fyre med olje i perioder med høyt kraftbehov. Avfallsanlegget har en maksimal kapasitet på 12 tonn avfall pr. time, og årlig destruksjon vil være ca. 70 000 tonn avfall.

Norsk institutt for luftforskning (NILU) har tidligere på oppdrag fra TEV foretatt en førundersøkelse av spredning og luftkvalitet på Heimdal (Schjoldager, 1985). Både førundersøkelsen og denne undersøkelsen inngår i et større prosjekt, "Miljøvirkning av avfallsforbrenning", der SINTEF, Avdeling for Teknisk kjemi, er sekretariat.

Analysene av pH, mengde, bly, kadmium og antimon i nedbørsprøvene, samt bly, kadmium og antimon på filterprøvene ble utført av Kjøtt- og Næringsmiddelkontrollen i Trondheim. De resterende analysene ble utført av NILU.

For å vurdere behovet for ytterligere rensing av utslippene fra varmeentralen ble TEV pålagt av Statens forurensningstilsyn (SFT) å utføre en omfattende undersøkelse av miljøvirkningene fra anlegget. NILU ble bedt av TEV om å foreta målinger av luftkvaliteten og sammenlikne med resultater fra førundersøkelsen. I løpet av måleperioden ble kravene til rensing skjerpet, slik at forutsetningene for undersøkelsen ble endret. SFT ønsket imidlertid å slutføre undersøkelsen og overtok dermed som oppdragsgiver med finansiell støtte fra Miljøverndepartementet.

---

NILU har også foretatt en undersøkelse av atmosfærisk korrosjon på Heimdal. Resultatene fra denne er sammenliknet med en tilsvarende undersøkelse som NILU foretok for egne midler samtidig med førundersøkelsen (Henriksen, 1985).

## 2 SPREDNINGSBEREGNINGER

I perioden fra juni 1983 til juni 1984 ble det foretatt meteorologiske målinger på Heimdal, som en del av førundersøkelsen. Målested og måleperiode for luftkvalitet i etterundersøkelsen ble valgt ut fra spredningsberegninger utført på grunnlag av utslippstall og de meteorologiske målingene fra førundersøkelsen.

Spredningsberegningene er utført ved bruk av NILUs gaussiske spredningsmodeller, hvor det antas at konsentrasjonsfordelingen i røykskyen er normalfordelt både horisontalt og vertikalt normalt på vindretningen (Bøhler, 1985). Beregningene er utført for både ustabile, nøytrale og stabile forhold, og det er tatt hensyn til topografi og at vindhastigheten øker med høyden.

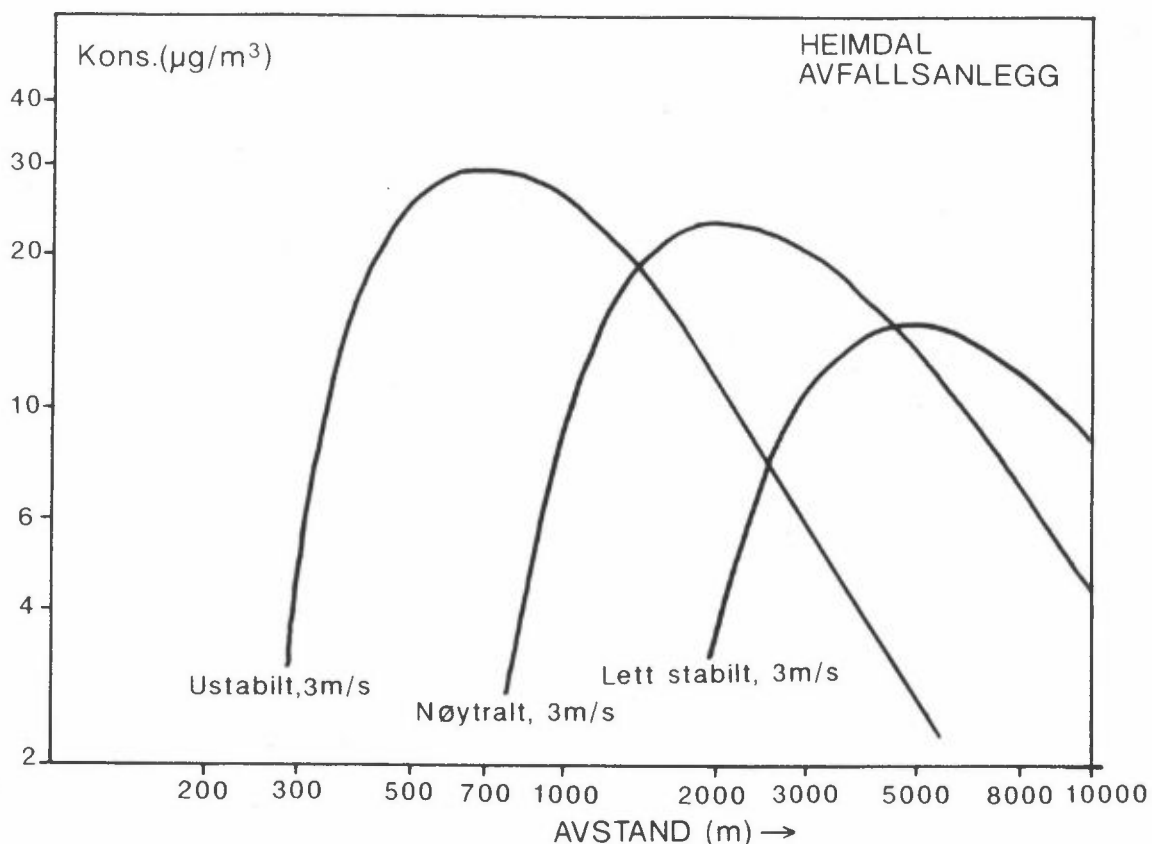
Det er utført beregninger både for korttidskonsentrasjoner og for langtidsbelastning. Spredningsberegningene er foretatt på grunnlag av driftsdata (vedlegg A) og vind- og stabilitetsdata fra før undersøkelsen (vedlegg B).

### 2.1 KORTTIDSBELASTNING

Figur 1 viser maksimale timesmidlete bakkekonsentrasjoner for et utslipp på 10 g/s gjennom skorsteinen. Figuren viser at de høyeste verdiene forekommer ved ustabil sjiktning i 600-800 meters avstand fra utslippet. Høyeste konsentrasjon ved nøytral sjiktning forekommer ved 3 m/s vind i en avstand av ca. 2 km fra utslippet, mens avstanden til høyeste bakkekonsentrasjon ved lett stabil sjiktning er 5-8 km.

Ustabil sjiktning forekommer i perioder med svak vind og soloppvarming av bakken, vanligvis i forbindelse med godværsdager om sommeren. Nøytral sjiktning er helt dominerende ved vindstyrker over 3 m/s, pga. god blanding i atmosfæren. Stabil sjiktning forekommer stort sett om vinteren ved svak vind, klart vær og stor utstråling fra bakken.

Tabell 1 viser utslippene fra skorsteinen, beregnet maksimal timesmidlet bakkekonsentrasjon og forslag til grenseverdier for de aktuelle utslippene fra forbrenningsanlegget.



Figur 1: Maksimale timesmidlele bakkekonsentrasjoner ved ustabil, nøytral og lett sjiktning som funksjon av avstanden fra utslippet. Utslipp 10 g/s.

Tabell 1: Utslipp og beregnet maksimal timesmidlet bakkekonsentrasjon med tilhørende forslag til grenseverdier for luftforurensninger fra avfallsforbrenningsanlegget på Heimdal. Kapasitet: 12 tonn avfall pr. time.

Stoff	Utslipp	Konsentrasjon (% av grenseverdi)	Grenseverdi
Støv	0.7 g/s	2.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2)	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
HCl	17.3 "	51.9 " (65)	80 "
SO	6.5 "	19.5 " (10)	200 "
NO <sup>2</sup>	6.5 "	19.5 " (14)	140 "
HF <sup>2</sup>	0.1 "	0.3 " (0.5)	80 " <sup>3</sup>
Hg	10.8 mg/s	32.4 ng/m <sup>3</sup> (3)	1200 ng/m <sup>3</sup>
Cd	2.2 "	6.5 " (1)	800 "
Pb	43.3 "	130.0 " (3)	5000 "

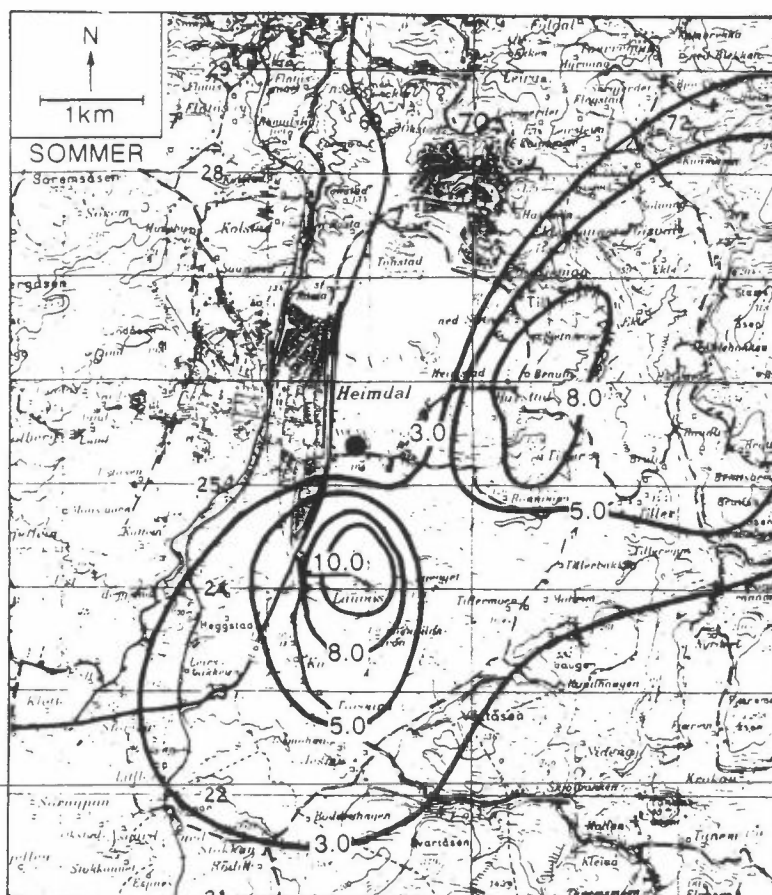
Beregningene viser at uten gassrensing er hydrogenklorid (HCl) den komponenten av utslippet som kommer nærmest opp til grenseverdien. Beregningene er foretatt for et utslipp ved maksimal kapasitet ved anlegget, dvs. 12 tonn avfall i timen.



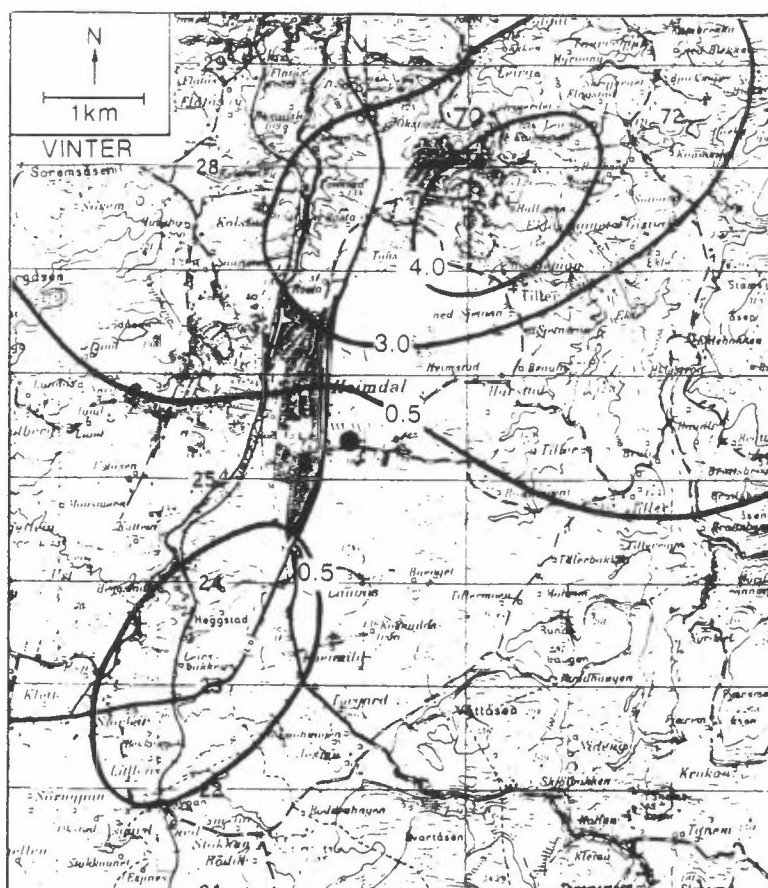
## 2.2 LANGTIDSBELASTNING

Ved bruk av de meteorologiske målingene fra førundersøkelsen 1983/84 (vedlegg B) er det utført spredningsberegninger for å vurdere langtidsbelastningen i området rundt anlegget. De tekniske data for utslippet er gitt i vedlegg A, og en årlig destruksjon av 70 000 tonn avfall er brukt i beregningene.

Figur 2 og 3 viser midlere beregnede bakkekonsentrasjoner for henholdsvis sommer- og vinterperioden for et utslipp på 100 g/s. Avsetningen på bakken av et stoff er proporsjonal med konsentrasjonen i lufta. I spredningsberegningene er det brukt avsetningshastighet lik 1 cm/s totalt for både tørr- og våtavsetning. Avsetning ( $\text{g/m}^2$ ) for hver periode (3 mndr.) fås ved å multiplisere tallene i figur 2 og 3 med 0,079.



Figur 2: Beregnede midlelte bakkekonsentrasjoner i  $\mu\text{g/m}^3$  for sommeren ved et utslipp på 100 g/s fra avfallsforbrenningsanlegget på Heimdal.



Figur 3: Beregnede midlelte bakkekonsentrasjoner i  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for vinteren ved et utslipp på 100 g/s fra avfallsforbrenningsanlegget på Heimdal.

Spredningsberegningene for langtidskonsentrasjoner for utslipp fra avfallsanlegget viser en klar sesongvariasjon. Om sommeren forekom vind fra nord relativt ofte. Dette gav de høyeste langtidsverdier i et område rett sør for anlegget i en avstand på 1-2 km. I samme periode forekom et område med forhøyet belastning nordøst for anlegget i en avstand 1,5-3,0 km. Om vinteren var forekomsten stor av vind fra sør-vest, og dette ga et maksimumsområde nord-nordøst for anlegget i en avstand 2-4 km.

Maksimale sesongmidlelte konsentrasjoner og avsetninger av de forskjellige luftforurensningskomponentene er gitt i tabell 2.

Tabell 2: Beregnede maksimale middelveidier av konsentrajon og avsetning for de forskjellige luftforurensningskomponentene for sommeren 1983 og vinteren 1983/84.

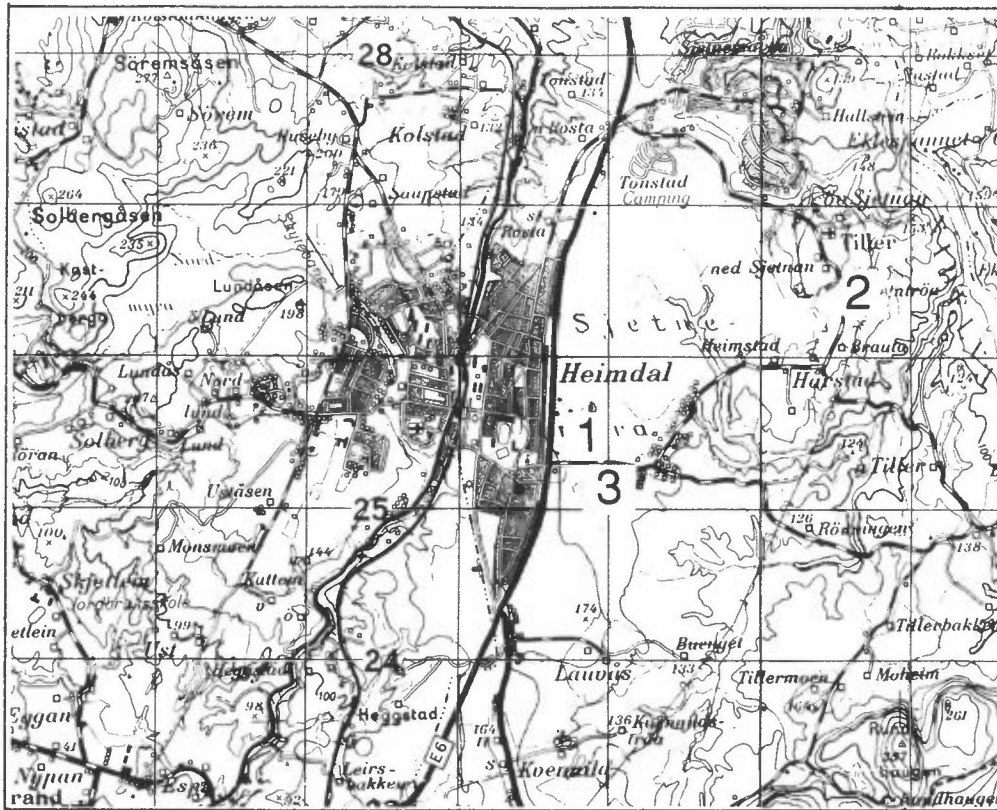
Stoff	Konsentrasjon Sommer	Avsetning Sommer	Konsentrasjon Vinter	Avsetning Vinter
Støv	0,05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	4,0 $\text{mg}/\text{m}^2$	0,02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1,6 $\text{mg}/\text{m}^2$
HCl	1,2 "	94,8 "	0,6 "	47,4 "
SO <sub>2</sub>	0,4 "	31,6 "	0,2 "	15,8 "
NO <sub>2</sub>	0,4 "	31,6 "	0,2 "	15,8 "
HF <sup>2</sup>	7,0 $\text{ng}/\text{m}^3$	0,6 "	3,5 $\text{ng}/\text{m}^3$	0,27 "
Hg	0,7 "	55,3 $\mu\text{g}/\text{m}^2$	0,3 "	23,7 $\mu\text{g}/\text{m}^2$
Cd	0,15 "	11,8 "	0,07 "	5,5 "
Pb	2,9 "	229,0 "	1,5 "	118,5 "

### 3 VALG AV MÅLESTEDER OG PERIODE

Ved valg av målested for meteorologi var formålet å beskrive vindstyrke og vindretning for utslippet best mulig. Målestedet som ble brukt i førundersøkelsen ble derfor valgt slik at man også kunne vurdere de to sesongenes værforhold mot hverandre. Lokaliseringen ble rett syd for varmesentralen (se figur 4).

Ved plassering av målestasjonen for luftkvalitet ble det lagt vekt på at stasjonen skulle ligge i et område med høye kort- og langtidskonsentrasjoner. Vind med retning fra varmesentralen mot målestedet skulle være relativt retningsstabil, slik at en eventuell sammenheng konsentrasjon og vindretning skulle være mulig å måle. Vindmålingene ble utført på samme sted som i førundersøkelsen.

Ut fra disse kriteriene ble lokaliseringen syd for Tiller valgt, selv om beregnede langtidsmiddelkonsentrasjoner er noe høyere sør for anlegget. Vind fra sydvest er generelt sterkere og er dermed mer retningsstabil, og frekvensen av vind fra nord er lav om vinteren.



Figur 4: Lokalisering av avfallsanlegget (1) og målestasjonene for luftkvalitet (2) og meteorologi (3), Heimdal 1986-1987.

## 4 METEOROLOGI

Meteorologiske målinger er foretatt i to tremåneders perioder, sommeren 1986 og vinteren 1986/87. Temperatur og luftfuktighet er målt på Tiller, mens vindstyrke og vindretning er målt ved Heimdal (se figur 4). Figurer over timesverdier av temperatur, relativ fuktighet, vindstyrke og vindretning er gitt i vedlegg C.

### 4.1 TEMPERATUR OG LUFTFUKTIGHET

Sammendrag av temperatur- og fuktighetsmålingene er gitt i tabell 3 og 4.

Tabell 3: Maksimum, minimum, midlere maksimum, midlere minimum og middelerverdi av temperatur. Tiller, sommeren 1986 og vinteren 1986/87.

Periode	T <sub>maks</sub> °C	T <sub>min</sub> °C	Midlere T <sub>maks</sub> °C	Midlere T <sub>min</sub> °C	T <sub>middel</sub> °C	T <sub>normal</sub> <sup>**</sup> (1931-60) °C
Juni 86	26,5	3,9	17,6	8,6	13,3	11,3
Juli 86	24,7	4,5	16,7	9,3	13,0	14,4
August 86	22,4	3,1	16,3	8,0	12,1	13,3
Sommeren 86	26,5	3,1	16,9	8,6	12,8	13,0
Desember 86	10,2	-16,7	-0,8	-6,5	-3,5	-1,0
Januar 87	8,7	-24,6	-4,7	-11,5	-8,2	-3,4
Februar 87	6,9	-15,5	0,1	-5,7	-2,4	-2,9
Vinteren 86/87	10,2	-24,6	-1,9	-8,0	-4,9	-2,4

Tabell 4: Maksimum, minimum, midlere maksimum, midlere minimum og middelerverdi av relativ fuktighet. Tiller, sommeren 1986 og vinteren 1986/87.

Periode	RH <sub>maks</sub> (%)	RH <sub>min</sub> (%)	Midlere RH <sub>maks</sub> (%)	Midlere RH <sub>min</sub> (%)	RH <sub>middel</sub> (%)	RH <sub>normal</sub> <sup>**</sup> (1931-60) (%)
Juni 86	98	34	94	56	76	78
Juli 86	96	49	96	65	83	79
August 86	104*	42	97	62	82	81
Sommeren 86	104	34	96	61	80	79
Desember 86	97	50	86	66	77	78
Januar 87	96	49	91	73	84	78
Februar 87	98	37	93	72	85	76
Vinteren 86/87	98	50	90	70	82	77

\* Mer enn 100% rel. fukt. kan forekomme i sjeldne tilfeller med overmetning.

\*\* 30-års normaler fra stasjonen Voil i Trondheim, ca. 6 km nord-nordøst for målestasjonen på Tiller.

Tabell 3 og 4 viser at juni var varmere og noe tørrere enn normal, mens juli og august var kaldere enn normalt. Dette kan særlig ha betydning for konsentrasjonen av flyktige komponenter som kvikksølv (se avsnitt 4.2.1) og for korrosjonsforholdene (kapittel 8). I middel var sommerperioden omtrent som normalt for begge parametrene.

Målingene i vinterperioden viser at desember og januar var kaldere enn normalt, mens februar var omtrent som normalt. Januar og februar var fuktigere enn normalt, mens desember var som normalt. Temperaturvariasjonen har mindre betydning om vinteren, da snøen dekker og isolerer bakken, slik at naturlige utslipp blir små og reemisjonen av tilførte forurensninger blir liten.

#### 4.2 VIND

Vindstyrke og vindretning er målt i 10 meters høyde. Figurene i vedlegg C viser timesvise verdier for hver måned, mens vindstatistikk for sommer- og vinterperioden er gitt i vedlegg D.

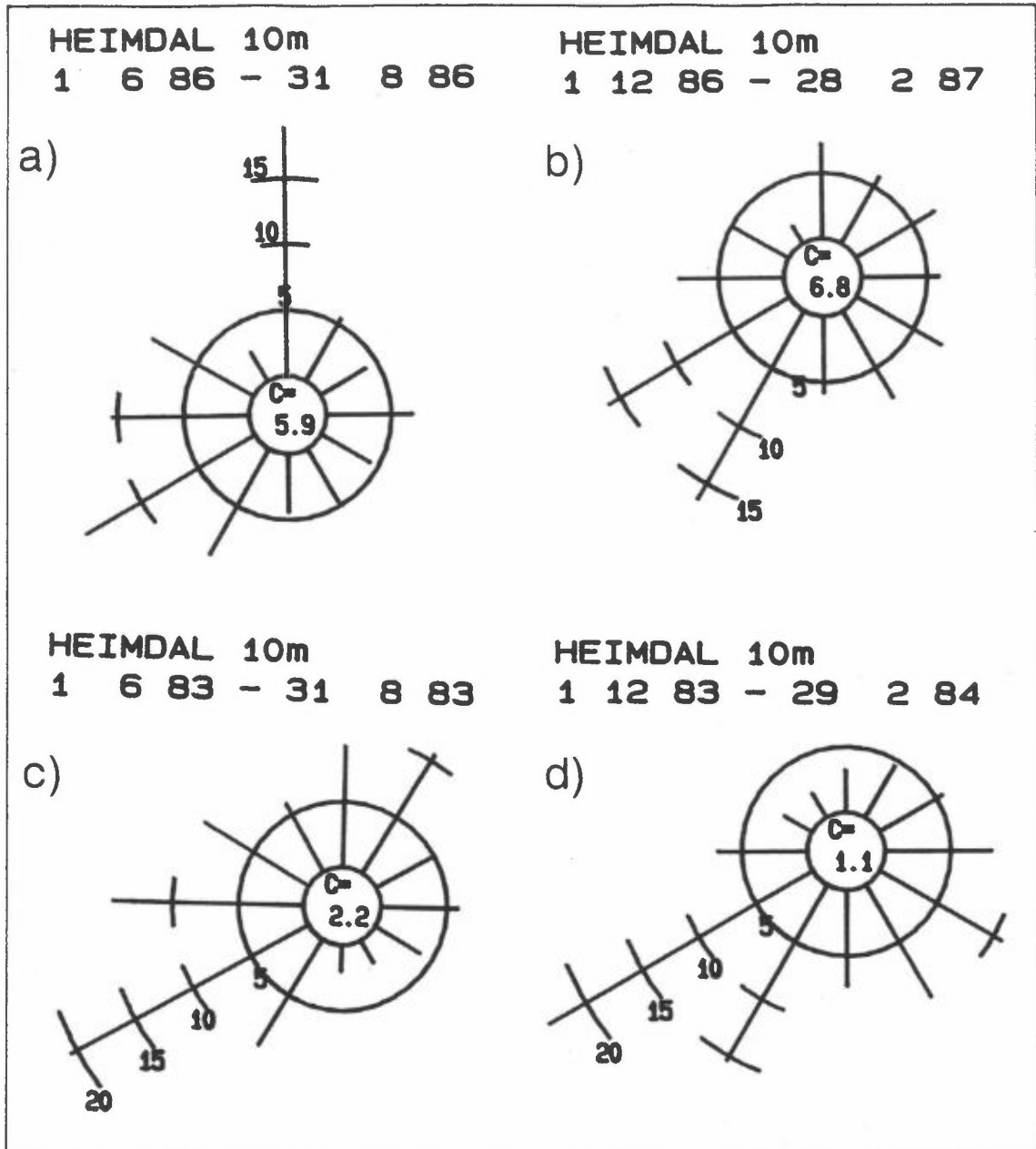
Vindroser for sommer- og vinterperioden er vist i figur 5. Sommeren 1986 var hovedvindretningene nord ( $360^{\circ}$ ) og vest-sørvest ( $240^{\circ}$  og  $270^{\circ}$ ). Vinteren 1986/87 var hovedvindretningen sørvest ( $210^{\circ}$  og  $240^{\circ}$ ).

Sammenlignet med førundersøkelsen var vinden fra nord mer kanalisert sommeren 1986. Frekvensen fra nord ( $360^{\circ}$ ) har økt fra 9% til 18%, mens frekvensen fra  $330^{\circ}$  og  $30^{\circ}$  har avtatt tilsvarende. Frekvensen av vind mot Tiller ( $240^{\circ} \pm 30^{\circ}$ ) var sommeren 1983 ca. 47%, mens det i etterundersøkelsen var redusert til ca. 35%.

For vinterperioden 1986/87 var vinden fra nordlig kant ( $290^{\circ}$ - $70^{\circ}$ ) økt fra ca. 14% til ca. 26% sammenlignet med førundersøkelsen. Frekvens av vind mot målestasjonen ( $240^{\circ} \pm 30^{\circ}$ ) var ca. 40% vinteren 1986/87, mot ca. 45% vinteren 1983/84.

Frekvensfordeling av vindstyrke og vindretning fordelt på fire vindstyrkeklasser og tolv sektorer, samt midlere døgnvariasjon for sommer- og vinterperioden er gitt i vedlegg D.

---



Figur 5: Frekvensfordeling av vindretning på Heimdal 1986-87 og 1983-84.

Enhet: prosent (%).

C betyr vindstille, dvs. mindre enn 0,2 m/s.

a) sommer 86, b) vinter 86/87, c) sommer 83, d) vinter 83/84.

## 5 STATISTISKE METODER

### 5.1 HYPOTESETESTING AV MIDDELKONSENTRASJONENE

Luftkvalitetsmålinger ble foretatt ved Heimdal som en del av førundersøkelsen, og tilsvarende målinger er foretatt i to tre-måneders perioder i etterundersøkelsen sommeren 1986 og vinteren 1986/87. For å bestemme om forandringer i middelkonsentrasjoner skyldes tilfeldige variasjoner eller om det skyldes en systematisk forandring, har vi foretatt en hypotesetest.

Korttidskonsentrasjoner  $C$  av gasser eller partikler målt over lang tid regnes som normalfordelte med middelværdi  $\mu$  og standardavvik  $\sigma$ ,  $C \sim N(\mu, \sigma^2)$ .

Følgende hypoteser ble testet, hvor indeks  $e$  står for etterundersøkelsen og  $f$  står for førundersøkelsen:

$H_0$ :  $\mu_e = \mu_f$ , dvs. ingen systematisk forandring i middelkonsentrasjonene,

mot

$H_1$ :  $\mu_e \neq \mu_f$ , dvs. systematisk forandring i middelkonsentrasjonene.

Utvalget av alle mulige differanser  $D = C_f - C_e$  av korttidskonsentrasjoner vil være normalfordelt med middelværdi  $\mu = \mu_f - \mu_e$  og standardavvik  $\sigma = \sqrt{(\sigma_e)^2 + (\sigma_f)^2}$ ,  $D \sim N(\mu, \sigma^2)$ , (Spiegel, 1972).

Under  $H_0$  vil da størrelsen  $D' = \frac{D}{\sigma}$  være standard normalfordelt, dvs.  $D' \sim N(0,1)$

Testobservatoren  $Z$  er gitt ved:

$$Z = \frac{\overline{C_f - C_e}}{\sigma'(C_f - C_e)} = \overline{C_f - C_e} / [(\sigma'_f)^2/N_f + (\sigma'_e)^2/N_e]^{1/2}$$

der  $\overline{C} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_i$  er en estimator for  $\mu$ ,

$\sigma' = \left[ \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (C_i - \overline{C})^2 \right]^{1/2}$  er en estimator for  $\sigma$



og  $N$  = antall observasjoner. Hypotesetesten kan utføres med et ønskelig signifikansnivå. Med et signifikansnivå på f eks 5%, menes at det er 5% sannsynlighet for å forkaste  $H_0$  selv om det ikke har vært noen virkelig forandring i middelkonsentrasjonene, eller å akseptere  $H_0$  når det har vært en virkelig forandring.

For et signifikansnivå på 5% må  $H_0$  forkastes dersom  $|z| > 1,96$ .

Resultatene av statistisk analyse ved bruk av teorien ovenfor er gitt i forbindelse med diskusjonen for de enkelte komponentene i avsnitt 6.1 og 6.2 og samlet i vedlegg H.

## 5.2 REGRESJONSANALYSE

Det har også vært ønskelig å fastslå om det har vært noen sammenheng mellom frekvens av vind fra varmesentralen mot målestasjonen og luftkvaliteten på Tiller. For å undersøke dette er antall timer med vind fra anlegget mot stasjonen innenfor hver måleperiode (1 døgn for Hg, 2 og 3 døgn for  $SO_2$ , HCl, Pb og Cd), talt opp og frekvensen (%) beregnet. Som eksempel på bruk av regresjonsanalyse er samhørende verdier av frekvens og konsentrasjon plottet for  $SO_2$  i figur 6. Tilsvarende figurer for andre stoffer er vist i vedlegg I. På figuren er også "beste" lineære tilpasning tegnet inn ved bruk av "minste kvadraters metode".

Som et mål på hvor god tilpasningen til en rett linje er, brukes vanligvis korrelasjonskoeffisienten  $r$ :

$$r = \left| \frac{\text{cov}(c, f)}{\sigma_c \sigma_f} \right| =$$

$$= \left| \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (c_i f_i - \bar{c} \bar{f})}{\left[ \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (c_i - \bar{c})^2 \right)^{1/2} - \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i - \bar{f})^2 \right)^{1/2} \right]} \right|$$

hvor  $\sigma_c$  = standardavvik for konsentrasjon  
 $\sigma_f$  = standardavvik for vindfrekvens (retn.)  
 $c_i$  : enkeltkonsentrasjon  
 $f_i$  : tilhørende vindfrekvens

$r$  er et tall mellom 0 og 1.  $r = 0$  tilsier ingen lineær sammenheng, mens  $r = 1$  tilsier perfekt tilpasning, dvs.  $c = a \cdot f + b$ .

Ved å anta at målingene er normalfordelt, testes hypotesen  $H_0: \rho=0$  mot alternativet  $\rho \neq 0$ , hvor  $\rho$  er den teoretiske korrelasjonen mellom variablene.

Testobservatoren,  $t$ , er gitt ved:

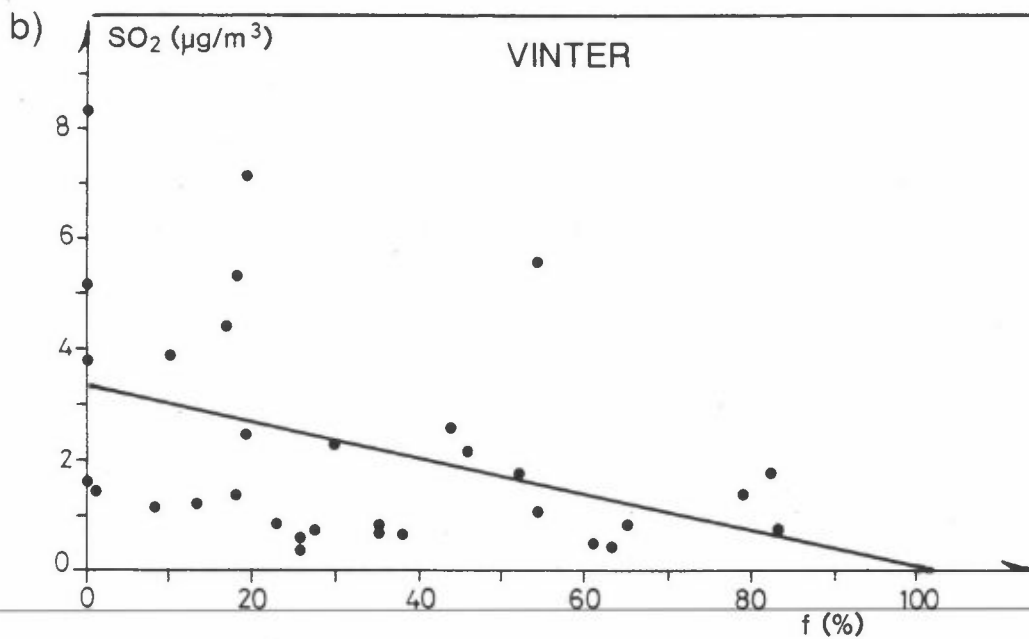
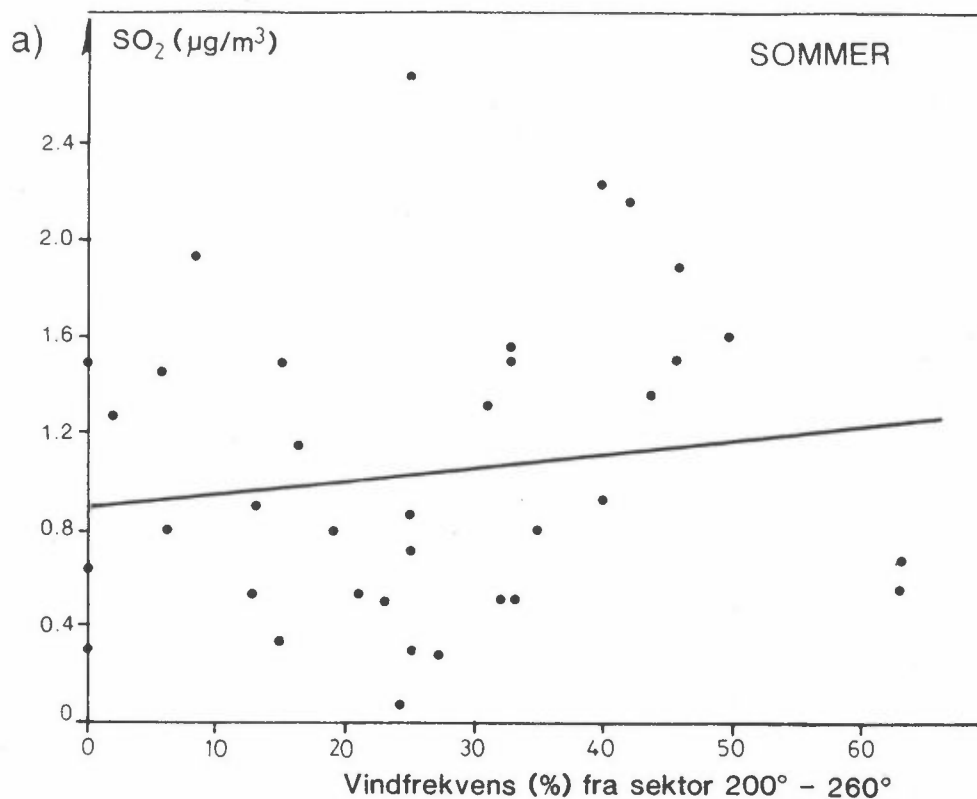
$$t = r(N-2)^{1/2} / (1-r^2)^{1/2}$$

hvor  $N$  er antall observasjoner og  $r$  er den beregnede korrelasjonen. For et signifikansnivå på 5% vil hypotesen bli forkastet for verdier av  $t$  lik 2,03 for ca. 30 observasjoner og 1,99 for ca. 90 observasjoner. Korrelasjonskoeffisienten  $r$  vil være signifikant forskjellig fra null for  $r > 0,20$  for døgnmålinger, og for  $r > 0,33$  for tre målinger pr. uke.

For  $SO_2$  er  $r = 0,14$  og  $r = 0,39$  for henholdsvis sommeren 1986 og vinteren 1986/87.

Figur 6 viser at  $SO_2$ -konsentrasjonen har en meget svak økning med vindfrekvenser mot stasjonen om sommeren. Korrelasjonskoeffisienten  $r$  er imidlertid meget liten. Om vinteren har vi en signifikant negativ sammenheng, dvs. avtagende vindfrekvens mot stasjoner gir økt  $SO_2$ -konsentrasjon. Dette skyldes at  $SO_2$ -utslippene om vinteren stort sett skyldes husoppvarming, slik at effekten av avfallsforbrenningsanlegget blir liten.

Resultatene av regresjonsanalysen for alle komponentene er presentert grafisk og i tabeller i vedlegg H og I. Korrelasjonskoeffisienter for hvert enkelt stoff er diskutert i avsnittene om luftkvalitet.



Figur 6: Samhørende verdier av vindfrekvens mot stasjonen og  $\text{SO}_2$ -koncentrasjoner og beste lineære tilpasning.  
a) sommeren 1986    b) vinteren 1986/87.

## 6 LUFTKVALITET

Luftkvaliteten er målt syd for Tiller kirke, som vist i figur 4. Målingene har foregått i samme periode som de meteorologiske målingene på Heimdal, dvs. 3 måneder sommer og vinter.

Luftkvalitetsmålingene har i 1986-87 omfattet gassene svoveldioksid ( $\text{SO}_2$ ), hydrogenklorid (HCl) og hydrogenfluorid (HF) på 2 og 3 døgns basis og kvikksølv (Hg) på døgnbasis. Svevestøv er blitt samlet inn på 2 og 3 døgns basis og analysert med hensyn på bly (Pb), kadmium (Cd), antimon (Sb) og fluorid ( $\text{F}^-$ ). Svevestøvet består av partikler opp til 10-15  $\mu\text{m}$ . Partiklene under 1,5-3  $\mu\text{m}$  er respirable, dvs. de følger luftstrømmen ned i lungene. Større partikler (3-10  $\mu\text{m}$ ) vil bli stoppet i nese og svelg. Målinger ved Resirkuleringsanlegget i Oslo og andre steder (Hagen og Henriksen, 1987) har vist at svevestøv fra avfallsforbrenningsanlegg består av mer enn 80% respirable partikler.

Måleperioden for 2- og 3-døgnmidlene har vært mandag-onsdag, onsdag-fredag og fredag-mandag, med bytte kl 0800. Grafisk presentasjon av alle måleresultatene er gitt i vedlegg F. Det er ikke foretatt målinger av dioksiner eller dibenzofuraner i uteluft på Heimdal.

### 6.1 LUFTKVALITET - SOMMEREN 1986

#### Gass-målinger

I tabell 5 er det gitt et sammendrag av gassmålingene for sommeren 1986 og somrene 1983/84.

Tabell 5: Sammendrag av gassmålingene sommeren 1986 og 1983/84. Tallene for 1983/84 er hentet fra førundersøkelsen.

Stoff	Juni 86	Juli 86	Aug. 86	Sommeren 86	Somrene 83/84
Min.	0.30	0.10	0.26	0.05	0.1
$\text{SO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Middel	1.6	0.72	0.79	1.04	0.64
Maks.	2.7	1.6	1.5	2.7	1.6
HCl ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Maks.	1.0	1.0	0.2	1.0	0.3
Min.	2.1	1.7	0.9	0.9	2*
Hg ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ) Middel	19.2	4.1	2.8	8.5	9.7*
Maks.	193	7.3	5.4	193	24*
HF ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Maks.	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	

\* Verdier fra 3 perioder à 8 dager henholdsvis august 1983, mai 1984 og september 1984.

Somrene 1983/84 var 47% av HCl-målingene under deteksjonsgrensen på  $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sommeren 1986 var 43% under deteksjonsgrensen.

Tabell 5 viser at maksimumkonsentrasjonen av hydrogenklorid har økt etter at anlegget ble satt i drift. Det er vanskelig å peke på kilder for hydrogenklorid før anlegget kom i drift. For målingene i perioden 1. juni til 2. juli, der bare en av målingene var under  $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ble korrelasjonskoeffisienten  $r = 0,51$ . Dette viser godt samsvar mellom frekvens av vind mot målestasjonen og HCl-konsentrasjoner (se vedlegg I). Det er ikke foretatt noen hypotesetest for HCl, som beskrevet i avsnitt 5.1, da for mange av målingene var under deteksjonsgrensen på  $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Tabell 5 viser også en svak økning i  $\text{SO}_2$ -nivået sommeren 1986 i forhold til somrene 1983 og 1984. Økningen er signifikant på 5%-nivået etter testen beskrevet i avsnitt 5.1 ( $Z = 2,45$ ).

Figur 6 viser at man kan spore en svak sammenheng mellom frekvens av vind fra avfallsanlegget mot målestedet og  $\text{SO}_2$ -konsentrasjonene om sommeren. Konsentrasjonene er imidlertid fremdeles svært lave og betydelig lavere enn det som er blitt målt på andre stasjoner i Trondheimsområdet (Hagen, 1984; 1985). Bidraget til luftkvalitetsbelastning fra anlegget pga.  $\text{SO}_2$ -utslipp er trolig lite. Økningen i middelkonsentrasjonen om sommeren skyldes trolig en kombinasjon av utslipp fra anlegget og økt aktivitet generelt i området.

Som tabell 5 viser, ble det målt en del høye kvikksølvkonsentrasjoner i juni 1986. Denne måneden var spesielt varm og tørr, og i tillegg var det betydelig aktivitet på åkrene rundt målestasjonen i denne perioden.

Ved å studere vindfrekvensen mot stasjonen de fem døgnene Hg-konsentrasjonene var over  $30 \text{ ng}/\text{m}^3$ , fant man at det bare i ett av døgnene var vind mot stasjonen i mer enn 30% av tiden. Den 15 og 16 juni, det døgnet med absolutt høyest Hg-konsentrasjon, var vindfrekvensen mot stasjonen bare 4%. Det er derfor grunn til å tro at høyeste Hg-konsentrasjonene ikke skyldes forbrenningsanlegget.

Tabell 5 viser at Hg-konsentrasjonene var betydelig lavere i juli og august. Konsentrasjonen i denne perioden var også lave sammenliknet med det som ble målt i 1983/84.

Hydrogenfluorid HF er ikke målt over deteksjonsgrensen på  $0,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i hele sommerperioden. Denne komponenten ble ikke målt i førundersøkelsen.

### Partikkelmålinger

Partikler (svevestøv) er blitt samlet inn og analysert med hensyn på bly, kadmium, antimon og fluorid i sommerperioden.

Et sammendrag av partikkelmålingene sommeren 1986 og sammenliknbare målinger fra somrene 1983 og 1984 er gitt i tabell 6.

Tabell 6: Målinger av bly (Pb), kadmium (Cd), antimon (Sb) og fluorid ( $\text{F}^-$ ), Heimdal, sommeren 1986 og somrene 1983-84.

Stoff		Juni 86	Juli 86	Aug. 86	Sommeren 86	Somrene 83/84
Pb ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	Min.	12	14	12	12	10
	Middel	26	22	22	23	39
	Maks.	38	34	34	38	80
Cd ( $\text{pg}/\text{m}^3$ )	Min.	31	23	24	23	<15
	Middel	130	106	59	98	126
	Maks.	256	230	109	256	670
Sb ( $\text{pg}/\text{m}^3$ )	Min.	15	<25	17	15	-
	Middel	66	41	52	52	-
	Maks.	180	68	139	180	260
$\text{F}^-$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Maks.	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-

I førundersøkelsen er bare maksimumsverdier for antimon (Sb) gitt, da 58% av verdiene var lavere enn deteksjonsgrensen på  $25 \text{pg}/\text{m}^3$ . Sommeren 1986 var 18% av målingene under deteksjonsgrensen. Middelveidien i etterundersøkelsen indikerer et bidrag fra avfallsanlegget. Regresjonsanalysen viser imidlertid ingen sammenheng mellom vind fra varmeentralen og konsentrasjoner.

Tabell 6 viser at konsentrasjonene av bly er gått betydelig ned. Nedgangen er signifikant på 5%-nivået ( $Z = 2,82$ ), etter hypotesetesten beskrevet i avsnitt 5.1. Det er ingen klar sammenheng mellom frekvens av vind mot målestasjonen og Pb-konsentrasjonene (se vedlegg I). Dette skyldes at hovedkilden for bly er biltrafikk. Fra 1983/84 til 1986 er blyinnholdet i bensinen redusert, slik at konsentrasjonen i luften har avtatt. Effekten av avfallsforbrenningsanlegget synes å være ubetydelig i forhold til utslipp fra biltrafikk.

For kadmium tyder tabell 6 også på en viss nedgang. Nedgangen er imidlertid ikke signifikant på 5%-nivået etter testen i avsnitt 5.1. Sammenstilling av frekvens av vind mot stasjonen og Cd-konsentrasjonen tyder på en svak positiv sammenheng, med korrelasjonskoeffisient  $r = 0,38$  (se vedlegg H).

Fluorid ( $F^-$ ) er ikke målt over deteksjonsgrensen på  $0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i hele sommerperioden.

## 6.2 LUFTKVALITET - VINTEREN 1986/87

### Gass-målinger

Sammendrag av forurensningsnivået av gasser vinteren 1986/87 og vinteren 1983/84 er gitt i tabell 7.

Tabell 7: Månedsmidler av konsentrasjon for gasser, Tiller vinteren 86/87 og vinteren 83/84. Tallene fra 83/84 er hentet fra førundersøkelsen.

Stoff	Des. 86	Jan. 86	Feb. 87	Vinter 86/87	Vinter 83/84
$\text{SO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Min.	0,72	0,40	0,40	0,4
	Middel	3,2	2,0	1,4	2,2
	Maks.	9,5	7,1	3,8	8,5
$\text{HCl}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Maks.	0,1	0,2	0,4	0,4
$\text{Hg}$ ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	Min.	<0,8	<0,2	<0,5	<0,5
	Middel	3,1	4,2	6,7	4,6
	Maks.	11,0	8,6	16,2	16,2
$\text{HF}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Maks.	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
					0,1

\* Verdier fra 2 perioder á 8 døgn henholdsvis november/desember 83 og februar/mars 84.

Da 74% av verdiene var under deteksjonsgrensene på  $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  for HCl, er bare maksimalverdiene tatt med i tabell 7.

Ut fra verdiene for hydrogenklorid i tabellen er det vanskelig å bestemme om nivået har økt eller avtatt for vinterperioden etter at avfallsforbrenningsanlegget kom i drift. Konsentrasjonene var imidlertid fremdeles meget lave, slik at miljøbelastningen pga. HCl om vinteren, var meget liten også etter starten ved anlegget. Pga. at så mange verdier lå under deteksjonsgrensen, har det ikke vært mulig å foreta noen hypotesetest. Regresjonsanalysen mellom vindretning og HCl-konsentrasjoner viser en svak sammenheng ( $r = 0,26$ , vedlegg H og I).

Tabell 7 viser at nivået av svoveldioksid i luften på Heimdal har øket. Økningen er signifikant på 5%-nivået etter testen beskrevet i avsnitt 5.1 ( $Z = 2,80$ ). Regresjonsanalysen vist i figur 6b viser imidlertid en negativ sammenheng for frekvens av vind mot målestasjonen og  $\text{SO}_2$ -konsentrasjonene ( $r = 0,4$ ). Det er derfor rimelig å anta at økningen i  $\text{SO}_2$ -nivået skyldes økte utslipp fra andre kilder, hovedsakelig husoppvarming, og at varmesentralen bare gir små bidrag til  $\text{SO}_2$ -belastningen i området.

Kvikksølvkonsentrasjonen har som tabell 7 viser gått ned siden førundersøkelsen. Nedgangen er signifikant på 5%-nivået ( $Z = 6,34$ ). Regresjonsanalyse av forholdet mellom frekvens av vind fra anlegget mot stasjonen og Hg-konsentrasjonene viser en svak positiv sammenheng. Korrelasjonskoeffisienten  $r$  er imidlertid ikke høyere enn 0,18. Bidraget fra anlegget til Hg-belastningen på Heimdal i vintersesongen må derfor være svært begrenset. Det er i vinterhalvåret ikke målt tilsvarende høye verdier av kvikksølv som ble målt i sommerperioden.

Konsentrasjonen av hydrogenfluorid var i hele vinterperioden under deteksjonsgrensen på  $0,005 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Miljøbelastningen av hydrogenfluorid i Heimdalsområdet er derfor ubetydelig.



### Partikkelmålinger

Partikler (svevestøv) er blitt samlet inn i 2- og 3-døgns perioder, og analysert med hensyn på bly, kadmium, antimon og fluorid. Et sammen- drag av resultatene og sammenliknende resultater fra vinteren 1983/84 er gitt i tabell 8.

Tabell 8: Månedsmiddelverdier av bly (Pb), kadmium (Cd), antimon (Sb) og fluorid (F<sup>-</sup>) på partikler, vinteren 86/87 og vinteren 83/84.

Stoff		Des. 86	Jan. 86	Feb. 87	Vinter 86/87	Vinter 83/84
Pb (ng/m <sup>3</sup> )	Min.	13	15	11	11	10
	Middel	35,5	31,0	27,8	31,5	22
	Maks.	75	49	60	75	42
Cd (pg/m <sup>3</sup> )	Min.	39	82	46	39	<15
	Middel	126	201	97,4	141,4	130
	Maks	299	433	211	433	434
Sb (pg/m <sup>3</sup> )	Min.	49,0	34,0	38,0	37,0	
	Middel	177,5	199,3	91,4	153,0	
	Maks.	570	1010	214	1010,0	130
F <sup>-</sup> (µg/m <sup>3</sup> )	Maks.	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	

Tabell 8 viser at blykonsentrasjonen i luften på Heimdal har gått noe opp. Økningen er imidlertid ikke signifikant på 5%-nivået ( $Z = 1,55$ ). Regresjonsanalysen mellom frekvens av vind mot stasjonen og blykonsen- trasjonen viser ingen sammenheng,  $r = 0,013$ .

Som tabell 8 viser, har middelkonsentrasjonen av kadmium på Heimdal om vinteren forandret seg lite. Den lille økningen er ikke signifikant på 5%-nivået ( $Z = 0,14$ ). Regresjonsanalysen viser en svak negativ sammen- heng, ( $r = 0,24$ ), dvs. økt frekvens av vind fra anlegget mot måle- stasjonen gir avtagende Cd-konsentrasjoner.

Etterundersøkelsen viser en økning av antimon i området, da ingen av målingene var under deteksjonsgrensen på 25 pg/m<sup>3</sup> i denne perioden, sammenlignet med hele 55% i førundersøkelsen. Regresjonsanalysen viser imidlertid ingen sammenheng mellom vind fra anlegget og forekomst av antimon på målestedet ( $r = 0,16$ ).

## 7 NEDBØRKVALITET

Nedbørmålingene er foretatt på ukesbasis på Tiller, se figur 1. Konstrasjonene av sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), klorid ( $\text{Cl}^-$ ), magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), bly (Pb) og kadmium (Cd) ble målt, samt surhetsgraden, pH. Målingene har foregått i samme periode som målingene av luftkvalitet, dvs. 3 måneder sommer og vinter. Nedbørdata er presentert grafisk i vedlegg G.

Surhetsgraden (pH) i nedbør er sammenfattet for sommeren 1986 og vinteren 1986/87 i tabell 9 og 10.

Tabell 9: pH-målinger, sommeren 1986 og somrene 1983/84.

	Juni 86	Juli 86	Aug. 86	Tot.	83/84*
min.	4,1	4,34	4,58	4,1	4,3
pH veid middel	5,04	4,73	4,82	4,78	4,83
maks.	6,31	6,19	6,72	6,72	6,2
mengde (mm)	19,5	94,6	45,1	159,2	280

\* Middelerverdi for de to somrene 1983 og 1984.

Tabell 10: pH-målinger, vinteren 1986/87 og vinteren 1983/84.

	Des. 86	Jan. 87	Feb. 87	Vinteren 86/87	83/84
min.	5,19	4,72	4,59	4,59	4,75
pH veid middel	5,25	4,91	4,94	5,00	5,24
maks.	6,72	5,71	5,13	6,72	5,50
nedbør (mm)	53,8	55,6	83,9	195	176

Laveste pH-verdi i sommerperioden var 4,1 og høyeste 6,72. I vinterperioden var laveste pH-verdi 4,59 og høyeste 6,72. Surheten i nedbøren varierer vanligvis mye over tid avhengig av hvor luften i nedbøren kommer fra. Utslipp av hydrogenklorid fra avfallsforbrenningsanlegget kan ha bidratt til en liten økning av surhetsgraden i nedbøren over nærområdene til anlegget, men også en økning pga. langtransport fra Europa er mulig. Årsmiddel for pH på den nærmeste overvåkningsstasjonen Kårvatn var 5,0 i 1984 og 4,87 i 1986.

Konsentrasjoner i nedbøren på Heimdal sommeren 1986 og vinteren 1986/87 er gitt i henholdsvis tabell 11 og 12 for sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), klorid ( $\text{Cl}^-$ ), magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), bly (Pb) og kadmium (Cd).

Tabell 11 og 12 viser at det har vært en økning av både sulfat- ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) og klorid- ( $\text{Cl}^-$ ) innholdet i nedbøren på Heimdal. Det er derfor grunn til å tro at den svake økningen i surhetsgraden som vist i tabell 9 og 10 skyldes en kombinasjon av langtransport og utslipp av HCl fra anlegget. Surhetsgraden ligger imidlertid fremdeles rundt det som er vanlig i lite forurensede områder i Norge.

Tabell 11: Veide middelkonsentrasjoner i nedbør av sulfat, klorid, magnesium, bly og kadmium. Heimdal, sommeren 1986 og somrene 1983/84.

Stoff	Juni 86	Juli 86	Aug. 86	Sommeren 86	83/84
$\text{SO}_4^{2-}$ -S mg/l	0,67	0,52	0,38	0,50	0,35
$\text{Cl}^-$ mg/l	0,65	0,54	2,08	0,99	0,8
Mg mg/l	0,078	0,037	0,061	0,049	0,049
Pb $\mu\text{g/l}$	7,1	3,4	2,9	3,7	3,4
Cd $\mu\text{g/l}$	0,14	0,16	0,13	0,16	0,57

Tabell 12: Veide middelkonsentrasjoner i nedbør av sulfat, klorid, magnesium, bly og kadmium. Heimdal, vinteren 86/87 og vinteren 83/84.

Stoff	Des. 86	Jan. 87	Feb. 87	Vinteren 86/87	Vinteren 83/84
$\text{SO}_4^{2-}$ -S mg/l	0,44	0,96	0,74	0,71	0,21
$\text{Cl}^-$ ng/l	5,1	14,4	6,3	8,2	7,4
Mg mg/l	0,13	0,73	0,31	0,38	0,47
Pb $\mu\text{g/l}$	2,0	2,4	3,9	2,9	2,7
Cd $\mu\text{g/l}$	0,08	0,23	0,50	0,31	0,67

I tabell 11 og 12 er det brukt veide midler, da konsentrasjonene vil variere mye avhengig av nedbørmengden. Av samme grunn vil konsentrasjonene i nedbøren ikke være normalfordelte slik at hypotesetesten beskrevet i avsnitt 5.1 ikke lenger kan anvendes.

Konsentrasjonene av sulfat i nedbøren har gått opp siden førundersøkelsen, særlig i vinterperioden. Det samme gjelder kloridinnholdet, men økningen av klorid er lavere enn for sulfat. For begge komponentene er nivået tilsvarende lite forurensede steder i Norge.

Konsentrasjonen av kadmium i nedbøren har gått kraftig ned. Nivået i 1983/84 var høyere enn det som er vanlig i lite forurensede områder av Norge. Dette er i samsvar med både partikkelmålingene og det reduserte bidraget fra langtransport målt på Kårvatn, som var 0,12 µg/l i 1983 og 0,01 µg/l i 1986.

Innholdet av magnesium og bly i nedbøren har vært tilnærmet uforandret siden 1983/84.

## 8 AVSETNING

Samlet avsetning beregnes som summen av tørravsetning og våtavsetning. Tørravsetningen ( $D_t$ ) beregnes vanligvis som

$$D_t = v_d c$$

der  $v_d$  er avsetningshastigheten og  $c$  er konsentrasjonene i luft. Avsetningshastigheten varierer sterkt avhengig av stoffets fysiske og kjemiske egenskaper, atmosfæriske forhold og bakkens egenskaper (topografi og vegetasjon). Som gjennomsnittsverdier brukes ofte verdier som vist i tabell 13.

Tabell 13: Gjennomsnittsverdier for tørravsetningshastighet.

Stoff	$v_d$ cm/s
SO <sub>2</sub>	0,8
HCl	1,0
Partikler	0,2

Tørravsetningen kan også måles direkte. Dette ble gjort på Heimdal i forbindelse med NILUs korrosjonsundersøkelse ved hjelp av en "aerosolfelle" (Henriksen, 1985). Målinger av tørravsetning er ikke generelt sikrere enn beregninger. Når tørravsetningen av klorid på Heimdal skal anslås, er det imidlertid bedre å bruke målt avsetning enn beregnet avsetning. Årsaken til dette er at den målte avsetningen omfatter både sjøsalt (partikler) og hydrogenklorid (gass). Den beregnede avsetningen vil bare gjelde gassformig hydrogenklorid, fordi kloridpartikler ikke ble målt.

Våtavsetningen ( $D_v$ ) beregnes som produktet av nedbørmengde ( $p$ ) og konsentrasjon i nedbøren ( $c_p$ )

$$D_v = p c_p$$

Både  $p$  og  $c_p$  blir målt.

Fordi nedbørsamleren står ca. 2 m over bakken (for å unngå fremmede stoffer) blir ofte den målte nedbøren mindre enn den virkelige, særlig ved vind og snø. Det er ikke korrigert for dette i tabell 14. Tabellen viser beregnet, samlet avsetning på Heimdal av svovel ( $SO_2$  og  $SO_4$ ), klorid, bly og kadmium. Denne avsetningen er et mål for den samlede luftforurensning som i dag tilføres Heimdals-området.

Tabell 14: Samlet avsetning av svovel, klorid, magnesium, bly og kadmium, sommeren 1986 og somrene 1983/84.

	Periode	( $SO_2$ & $SO_4$ )- $S_2$ mg/m	Cl mg/m	Mg mg/m	Pb µg/m	Cd µg/m
Tørravsetning	1/6-31/8.86	45*	75*	2.1*	363	1,6
Våtavsetning	" "	80	160	7.9	596	24,5
Sum 86	" "	125	235	10.0	959	26,1
Tørravsetning	1/6-31/8.84	25*	29*	0,4*	503	1,3
Våtavsetning	" "	98	175	14	827	145
Sum 83/84	" "	123	204	14,4	1330	146

\* Basert på målinger med aerosolfelle (Henriksen, 1985).

Tabell 14 viser at avsetningene generelt har gått noe ned i forhold til avsetningen sommeren 1984, unntatt for klorid, som har økt noe. Det er særlig tørravsetningen av klorid og magnesium som har økt. Klorid/magnesium-forholdet viser at våtavsetningene er relatert til sjøvann, mens tørravsetningene viser et bidrag fra lokale kilder.

Tabell 15: Samlet avsetning av svovel, klorid, magnesium, bly og kadmium. Heimdal, vinteren 86/87 og vinteren 83/84.

	Periode	$(SO_2 \& SO_4) - S$ mg/m	Cl <sub>2</sub> mg/m	Mg <sub>2</sub> mg/m	Pb <sub>2</sub> µg/m	Cd <sub>2</sub> µg/m
Tørravsetning	1.12.86-28.2.87		750*	32,2*	489	2,2
Våtavsetning	" "	139	1104**	74,1	564	60,4
Sum 86/87	" "		1854	106,3	1053	62,6
Tørravsetning	1.12.83-29.2.84	76	75,8	1,9	342	2,0
Våtavsetning	" "	37	1304	83,4	469	119
Sum 83/84	" "	113	1380	85,3	811	121

\* Målinger med aerosolfelle desember 1986 er beregnet som middelveiden for året 1.6.1986 til 1.6.1987 minus januar 1987 hvor bidraget av sjøsalter var dominerende.

\*\* Våtblastet klorid er beregnet ut fra magnesiumverdiene ved å bruke faktortallet i Cl/Mg i sjøvann 14,9.

Tabell 15 viser at det har vært en liten økning i avsetningen av bly i vinterperioden. Avsetningen av kadmium er gått ned til omlag det halve. Dette skyldes at konsentrasjonene av kadmium i nedbøren er kommet ned på et normalt nivå for Heimdal-området i forhold til de høye Cd-konsentrasjonene i nedbøren i førundersøkelsen. Den store økningen i avsetningen av både klorid og magnesium viser at økt innhold av sjøsaltpartikler i luften er årsaken til den høye kloridavsetningen. Magnesium slippes ut i ubetydelige mengder fra avfallsforbrenningsanlegget. Forholdstallet Cl/Mg viser at en også har en økning som ikke skyldes sjøvann. Dette indikerer at HCl fra forbrenningsanlegget har gitt en økt belastning i området, men at økningen er liten.

## 9 KORROSJONSMÅLINGER

Korrosjonsmålinger er utført i to perioder på Heimdal. Den første måleperioden, juni 1983-desember 1984, var før start av avfallsforbrenningsanlegget (Henriksen, 1985). Målingene ble foretatt på Løvås og hadde som mål å bestemme korrosjonsforholdet i området uten belastning fra avfallsforbrenningsanlegget. Den andre måleperioden, juni 1986-juni 1987, var etter start av forbrenningsanlegget. Målingene ble utført syd for Tiller kirke som ut fra spredningsberegningene skulle ligge i et av maksimumsområdene for belastning fra avfallsforbrenningsanlegget.

Korrosiviteten ble karakterisert ved eksponering av årsprøver av stål, sink, kopper og aluminium. Årsvariasjonene ble registrert ved eksponering av kvartalsprøver for stål. Resultatene er gitt i tabell 16.

Tabell 16: Kvartal- og årskorrosjon for stål og årskorrosjon for sink, kobber og aluminium i før- og etterperioden ( $\text{g/m}^2$ ).

Førperiode (Løvås)					Etterperiode (Tiller)				
Tid	Fe	Zn	Cu	Al	Tid	Fe	Zn	Cu	Al
Juni-aug. 1983	86,6 *				Juni-aug. 1986	38,2			
Sept.-nov. 1983	86,6 *				Sept.-nov. 1986	30,0			
Des. 1983-feb. 1984	54,0				Des. 1986-feb. 1987	29,5			
Mars-mai 1984	29,7				Mars-mai 1987	34,3			
Juni-aug. 1984	18,3				Juni-aug. 1987	-			
sept.-des. 1984	17,7				sept.-des. 1987	-			
juni 1983-juni 1984	133,3	6,3	7,6	0,13	juni 1986-juni 1987	92,1	12,5	6,05	0
des. 1983-des. 1984	118,0	5,2	1,75	0,30	des. 1986-des. 1987	-	-	-	-

\* Prøvene sto ute i seks måneder. Vekttapet er delt likt på de to kvartalene.

Kvartalsverdiene for stålkorrosjon viser stor spredning i førperioden og tilnærmet samme verdier i hele etterperioden. Korrosjonsresultatene varierer, men ligger alle innenfor de grenser en kan få på grunn av meteorologiske variasjoner over et år. Korrosjonsnivået er sammenlignbart med bakgrunnstasjoner i Øst-Norge. Kvartalsverdiene viser derfor ingen økt korrosjonseffekt i området etter at avfallsforbrenningen har startet.

## 9.1 KLORIDBELASTNINGENE

Avsatt mengde forurensninger er en viktig parameter for korrosjonshastigheten. På Heimdal ble avsatt mengde klorider bestemt ved å anvende en NILU-produsert aerosolfelle. For å skille ut det kloridbidraget som skyldes påvirkning av sjøsalt, ble også magnesiummengden bestemt. Forholdet klorid/magnesium i sjøvann er 14,8, og store avvik fra dette forholdstall viser påvirkning fra andre kilder. Forholdstallet blir et dårlig mål når totalmengdene er små. Nøyaktigheten for magnesiummålingene blir avgjørende, og en viss tilbakeholding av magnesium på filteret øker usikkerheten i enkelte måleverdier.

I tabell 17 er resultatene for ett års målinger i før og etter perioden listet. Alle magnesiumverdiene er korrigert for tap av magnesium på filteret. Korreksjonen utgjør 0,53 mg Mg/m<sup>2</sup>.

Tabell 17: Avsatt mengde klorid og magnesium og forholdet klorid/magnesium målt på Heimdal i periodene august 1983-juli 1984 og juli 1986-mai 1987.

Førperiode (Løvas)				Etterperiode (Tiller)			
Tid	Cl <sub>2</sub> mg/m	Mg <sub>2</sub> mg/m	Cl/Mg	Tid	Cl <sub>2</sub> mg/m	Mg <sub>2</sub> mg/m	Cl/Mg
Aug. 1983	10,7	0,67	16,0	Juni 1986	33,3	1,60	20,8
Sept. "	18,7	1,20	15,6	Juli "	24,0	0,93	25,8
Okt. "	66,7	2,67	25,0	Aug. "	17,3	1,20	14,4
Nov. "	6,7	0,80	8,4	Sept. "	85,3	2,67	31,9
Des. "	24,7	0,93	26,6	Okt. "	69,3	1,73	40,1
Jan. 1984	11,5	1,20	9,6	Nov. "	41,3	0,93	44,4
Feb "	41,3	1,73	23,9	Des "	58,6	1,79	32,7
Mars "	38,0	3,07	12,4	Jan. 1987	573,3	29,46	19,5
April "	5,3	0,93	5,7	Feb. "	117,3	2,53	46,4
Mai "	14,7	1,07	13,7	Mars "	17,3	0,67	25,8
Juni "	16,0	1,07	15,9	April "	120,0	3,87	31,0
Juli "	2,7	0,67	4,1	Mai "	61,3	1,73	35,4
Totalt pr. år	257	15,9		Totalt pr. år	1217,9	49,15	
Middel belast	21,4	1,33	16,2	Middel belast	101,5	4,60	24,8
				Middel belast			
				- Jan. 1987	58,6	1,79	32,7

\* Det ble ikke foretatt målinger i desember. Middelverdiene for de resterende måneder unntatt januar 1987 er brukt for å beregne en årsverdi.



Resultatene viser at målestasjon Løvås i førundersøkelsen var mindre belastet for sjøsalt enn Tiller. I januar 1987 var det spesielt kraftig belastning av klorider fra sjøsalt på Tiller. Månedsverdiene på Løvås viser lav kloridbelastning gjennom hele måleperioden, og Cl/Mg forholdet viser at belastningen stort sett skyldes havsalter. På Tiller øker Cl/Mg-forholdet fra sjøsalt i så stor grad de fleste månedene, at en annen kilde enn sjø må være til stede. Det er derfor rimelig å anta at en har fått en merbelastning av klorid fra avfallsforbrenningsanlegget. Det totale bidraget er likevel så lite at det ikke får noen korrosjonsmessig betydning. Sammenlignet med tidligere målinger (Anda og Haagenrud, 1984) langs kysten av Norge er belastningen i etterperioden mindre enn tilsvarende verdier målt 10 km fra kysten på Jæren. Selv januar 1987 hadde ikke større belastning enn det som normalt finnes 5 km fra kysten på Jæren.

## 10 KONKLUSJON

Det er samlet inn meteorologiske data på Heimdal, og luft- og nedbørkvalitetsdata på Tiller i 2 perioder à 3 måneder, sommeren 1986 og vinteren 1986/87. Resultatene er sammenliknet med resultatene fra førundersøkelsen (Schjoldager, 1985).

I sommerperioden var juni betydelig varmere og noe tørrere enn normalt, mens juli og august var noe kjøligere enn normalt. I vinterperioden var desember og januar kaldere enn normalt, mens februar var omtrent som normalt. Januar og februar var noe fuktigere enn normalt, mens desember var som normalt.

I sommermånedene var vinden mer kanalisert fra nord, og frekvensen av vind fra sørvest var mindre enn i førundersøkelsen. I vinterperioden var frekvensen av vind fra nordlig kant noe høyere enn i førundersøkelsen.

Konsentrasjonen av hydrogenklorid, svoveldioksid og antimon har økt siden førundersøkelsen. Analyser av måledata viser at spesielt hydrogenklorid i sommermånedene kan tilskrives utslipp fra avfallsanlegget, mens økningen av svoveldioksid trolig skyldes økt aktivitet i området.

Regresjonsanalysen mellom vindretning og antimon viser ingen sammenheng mellom vind fra utslippet og konsentrasjoner av antimon.

Konsentrasjonene av kvikksølv er på samme nivå som i førundersøkelsen i begge perioder. I juni ble det målt enkelte høye Hg-konsentrasjoner. Disse skyldes trolig utslipp fra andre kilder, som naturlig re-emisjon fra bakken i varme perioder og ikke utslipp fra avfallsforbrenningsanlegget.

Konsentrasjonen av bly og kadmiium har gått ned om sommeren sammenlignet med førundersøkelsen. I vinterperioden har blykonsentrasjonen økt noe, mens kadmiium er på samme nivå som i førundersøkelsen. Regresjonsanalysen viser imidlertid ingen sammenheng mellom forekomst av vind fra anlegget og økte konsentrasjoner, unntatt for kadmiium om sommeren hvor det er en svak sammenheng.

Det er ikke målt konsentrasjoner av hydrogenfluorid og fluorid på partikler over deteksjonsgrensen i noen av undersøkelsene.

Sulfatkonsentrasjonen og surhetsgraden i nedbøren har økt noe siden førundersøkelsen. Nivået er imidlertid fremdeles det samme som i lite forurensede områder av Norge. Tilsvarende endringer i pH som på Tiller er registrert på nærmeste målestasjon for langtransporterte forurensninger.

Klorid-, magnesium- og blykonsentrasjonen er tilnærmet den samme i nedbøren, mens kadmiiumkonsentrasjonen har avtatt i forhold til førundersøkelsen. Cd-konsentrasjonen er nå nede på det nivå som er vanlig i bakgrunnsområder. Ved å sammenholde nedbør og tørredeponert klorid som en totalavsetning, ser en at kloridavsetningen har økt og at dette primært skyldes økt tørravsetning av klorid. Noe av forandringen skyldes at Tiller synes å ha en høyere bakgrunnsverdi enn Løvås, men forholdstallet mellom klorid og magnesium viser at en del av den økte tørravsetningen skyldes belastning av hydrogenklorid fra forbrenningsanlegget.

Korrosjonsmålingene viser at den noe høyere kloridkonsentrasjonen ikke har medført økt korrosjon på metaller i området. Dette skyldes at selv om økningen har vært betydelig sammenlignet med til førundersøkelsen, er nivået fremdeles så lavt at det må regnes som et bakgrunnsområde. Korrosjonshastighetene kan derfor sammenlignes med korrosjonshastigheter i andre lite belastede områder i landet.

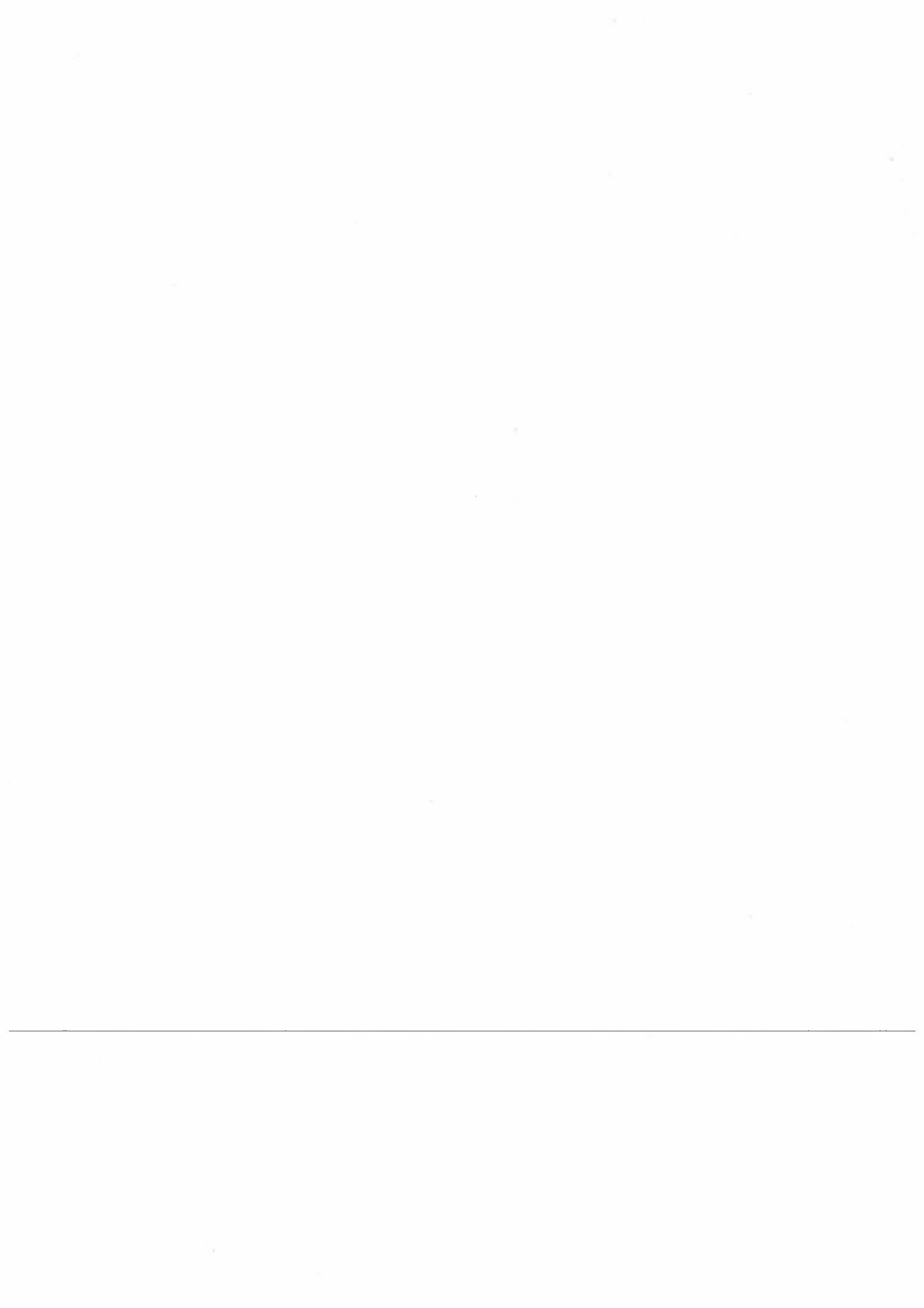
## 11 REFERANSER

- Anda, O. og Haagenrud, S.E. (1984) Havsaltavsetninger målt med NILUs nedbørsamler og aerosolfelle. Lillestrøm (NILU TR 8/84).
- Bøhler, T. (1985) Skorsteinshøydeberegninger for små forbrenningsanlegg. Lillestrøm (NILU OR 2/85).
- Hagen, L.O. (1984) Rutineovervåking av luftforurensning. April 1983-mars 1984. Lillestrøm (NILU OR 49/84).
- Hagen, L.O. (1985) Rutineovervåking av luftforurensning. April 1984-mars 1985. Lillestrøm (NILU OR 42/85).
- Hagen, L.O. og Henriksen, J.F. (1987) Undersøkelse av miljøbelastning rundt Klemetsrud etter start av avfallsforbrenningsanlegget. Lillestrøm (NILU OR 32/87).
- Henriksen, J.F. (1985) Korrosjonsforhold på Heimdal. Lillestrøm (NILU TR 22/85).
- Schjoldager, J. (1985) Spredningsforhold og luftkvalitet, Heimdal, Trondheim, 1983-84. Lillestrøm (NILU OR 80/85).
- Spiegel, M.R. (1972) Schaum's outline of theory and problems of statistics in SI units. First edition. New York, McGraw-Hill.
-

## VEDLEGG A

Tekniske data - utslippsverdier for  
avfallsforbrenningsanlegget.

---



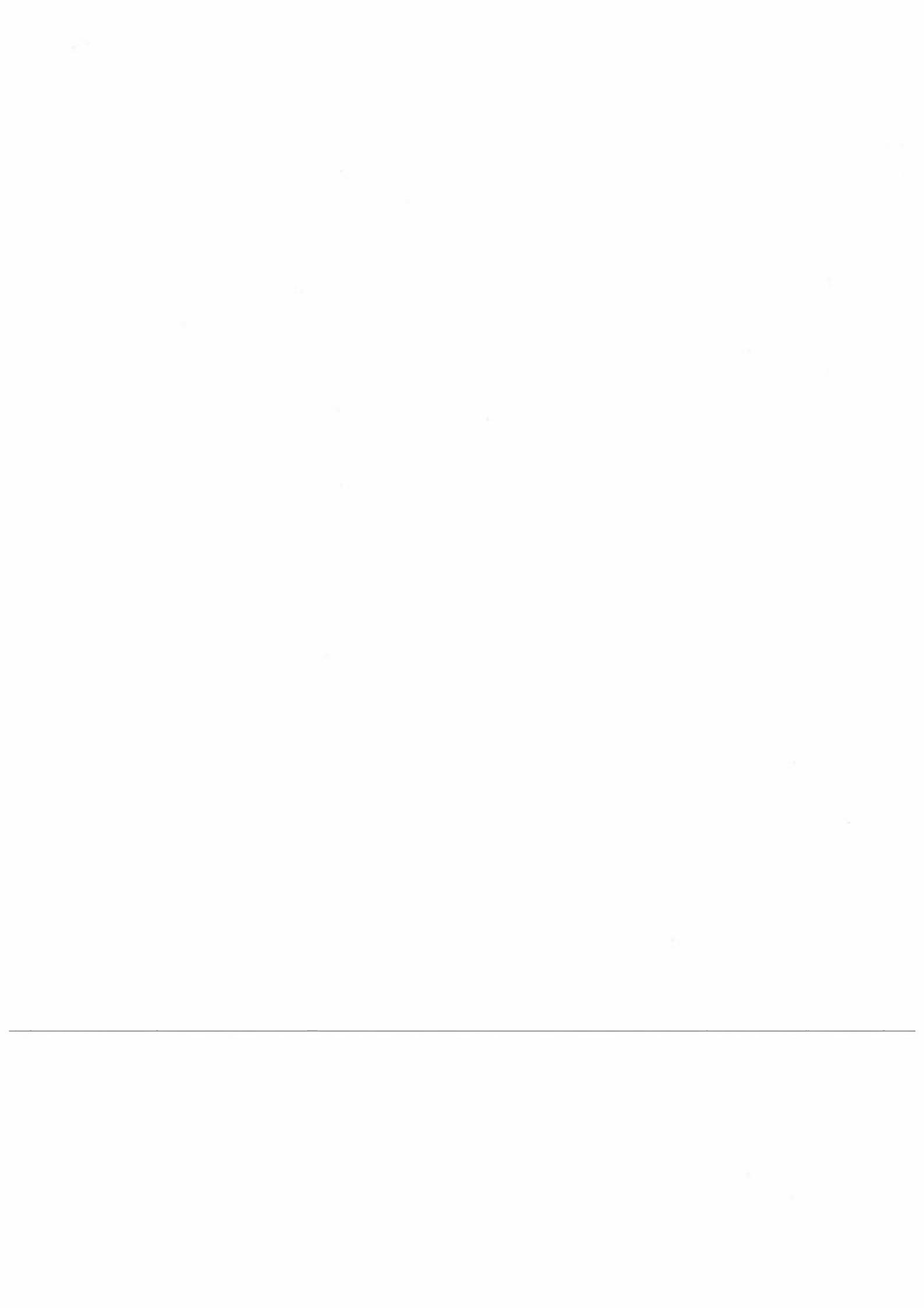
## DRIFTSDATA

Maksimal kapasitet:	12 tonn/time
Årlig destruksjon:	70 000 tonn
Røykgassvolum:	6 500 m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /tonn avfall
Gasstemperatur:	200° C
Utslippshastighet:	26 m/s ved maks. kapasitet
Utslippsdiameter:	1,2 m
Skorsteinshøyde:	70 m

Tabell A-1: Utslippsverdier ved utslipp fra et moderne forbrenningsanlegg for avfall.

Stoff	Uten gassrensing	Gassrensing, tørr metode <sup>1</sup>
Støv	30 mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	30 mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>
Hydrogenklorid, HCl	800 mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	100 mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>
Svoveldioksid, SO <sub>2</sub>	300 mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	150 mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>
Nitrogendioksid, NO <sub>2</sub>	300 mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	150 mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>
Hydrogenfluorid, HF	5 mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	3 mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>
Kvikksølv, Hg	0,5 mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	0,08 mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>
Kadmium, Cd	0,1 mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	0,02 mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>
Bly, Pb	2 mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	0,4 mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>
<u>Organiske forbindelser</u>		
2,3,7,8-TCDD-ekv.	0,5 ng/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	0,05 ng/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>

<sup>1</sup> Ref.: Målinger utført på anleggene i Linkjeping og Malmö i Sverige.

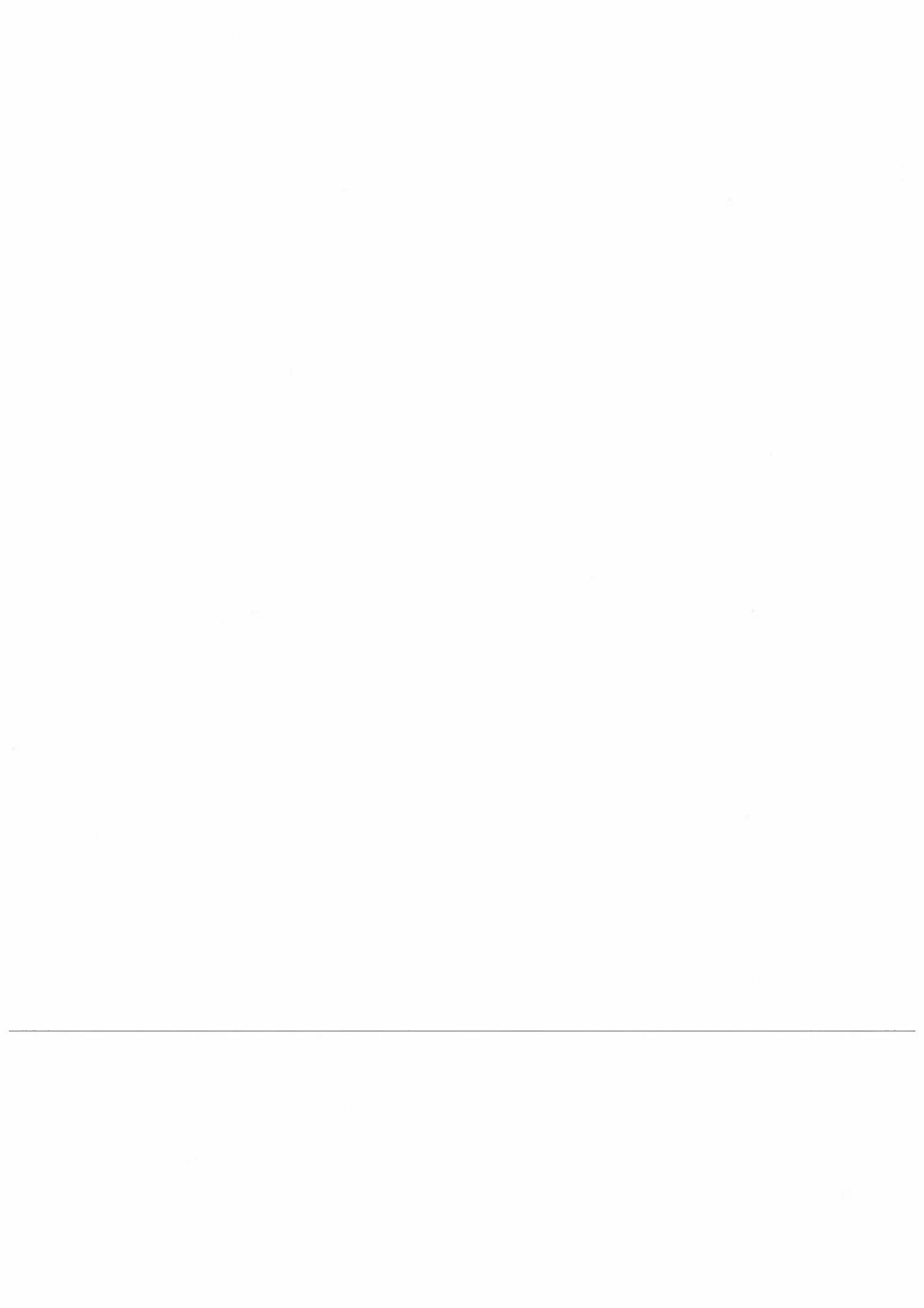


## VEDLEGG B

Fordeling av vind og stabilitet  
fra førundersøkelsen

---





Frekvensmatrise for vind og stabilitet.

1: ustabilt  
2: nøytralt  
3: lett stabilt  
4: stabilt

SOMMER 1983

	0,0-2,0 m/s				2,0-4,0 m/s				4,0-6,0 m/s				over 6,0 m/s				Rose
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
30	1,0	1,9	0,5	0,4	3,1	1,9	0,5	0,3	0,4	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	10,1
60	0,4	1,0	0,5	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8
90	0,4	1,1	0,8	1,1	0,3	0,5	0,1	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6
120	0,5	0,6	0,7	0,7	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9
150	0,2	0,3	0,4	0,5	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	1,7
180	0,3	0,6	0,6	0,3	0,1	0,1	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	0,0	0,0	2,6
210	0,4	2,5	1,5	0,6	0,2	1,7	1,3	0,7	0,2	0,4	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	9,3
240	0,9	4,7	1,9	0,9	0,8	7,1	1,4	0,5	0,0	2,3	0,4	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	21,7
270	0,3	2,1	0,9	0,3	0,2	5,5	0,4	0,1	0,1	4,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	16,5
300	0,2	1,6	0,2	0,1	0,8	3,2	0,1	0,0	0,4	1,4	0,0	0,0	0,2	0,6	0,0	0,0	8,6
330	0,5	0,8	0,1	0,1	1,0	1,9	0,1	0,0	1,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9
360	2,0	1,1	0,3	0,1	4,6	1,1	0,3	0,1	2,2	0,4	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	12,2
Stille	0,2	0,3	0,3	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1
Total	7,1	18,2	8,4	5,3	11,3	23,1	4,7	2,3	4,4	9,0	0,6	0,0	1,0	4,8	0,0	0,0	100,0

Fordeling på vindhastighet

0,0-2,0 m/s                      2,0-4,0 m/s                      4,0-6,0 m/s                      over 6,0 m/s  
38,9                                      41,3                                      13,9                                      5,8

Fordeling av stabilitetsklassene

23,7                                      55,1                                      13,6                                      7,6

VINTER 1983/84

	0,0-2,0 m/s				2,0-4,0 m/s				4,0-6,0 m/s				over 6,0 m/s				Rose
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
30	0,1	0,2	0,6	1,0	0,1	0,1	0,5	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	4,3
60	0,1	0,1	0,6	1,4	0,0	0,1	0,2	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2
90	0,1	0,2	0,9	1,3	0,0	0,3	0,6	1,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	5,6
120	0,2	0,5	0,7	1,5	0,4	0,5	2,0	3,0	0,2	0,1	0,5	0,2	0,0	0,4	0,6	0,0	10,6
150	0,1	0,2	0,5	0,8	0,3	2,2	2,7	1,0	0,2	1,1	1,4	0,0	0,1	0,6	0,6	0,0	11,6
180	0,2	0,4	0,5	0,5	0,3	1,2	2,2	0,6	0,2	1,6	2,2	0,0	0,0	1,7	1,0	0,0	12,4
210	0,1	0,3	1,4	1,3	0,1	1,2	4,3	5,2	0,0	1,5	4,2	4,4	0,0	2,5	2,3	0,3	28,8
240	0,0	0,7	1,1	2,3	0,0	0,7	2,1	2,5	0,0	1,2	0,7	0,4	0,0	1,2	0,8	0,0	13,8
270	0,0	0,3	0,4	1,0	0,0	0,2	0,1	0,4	0,0	0,4	0,3	0,0	0,0	1,6	0,3	0,0	4,8
300	0,0	0,2	0,2	0,3	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	1,4
330	0,1	0,0	0,3	0,4	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1
360	0,0	0,2	0,5	0,3	0,0	0,1	0,3	0,7	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2
Stille	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
Total	0,8	3,3	7,6	12,9	1,0	6,5	15,2	17,3	0,5	6,0	9,9	4,9	0,1	8,3	5,6	0,3	100,0

Fordeling på vindhastighet

0,0-2,0 m/s                      2,0-4,0 m/s                      4,0-6,0 m/s                      over 6,0 m/s  
24,5                                      40,0                                      21,2                                      14,2

Fordeling av stabilitetsklassene

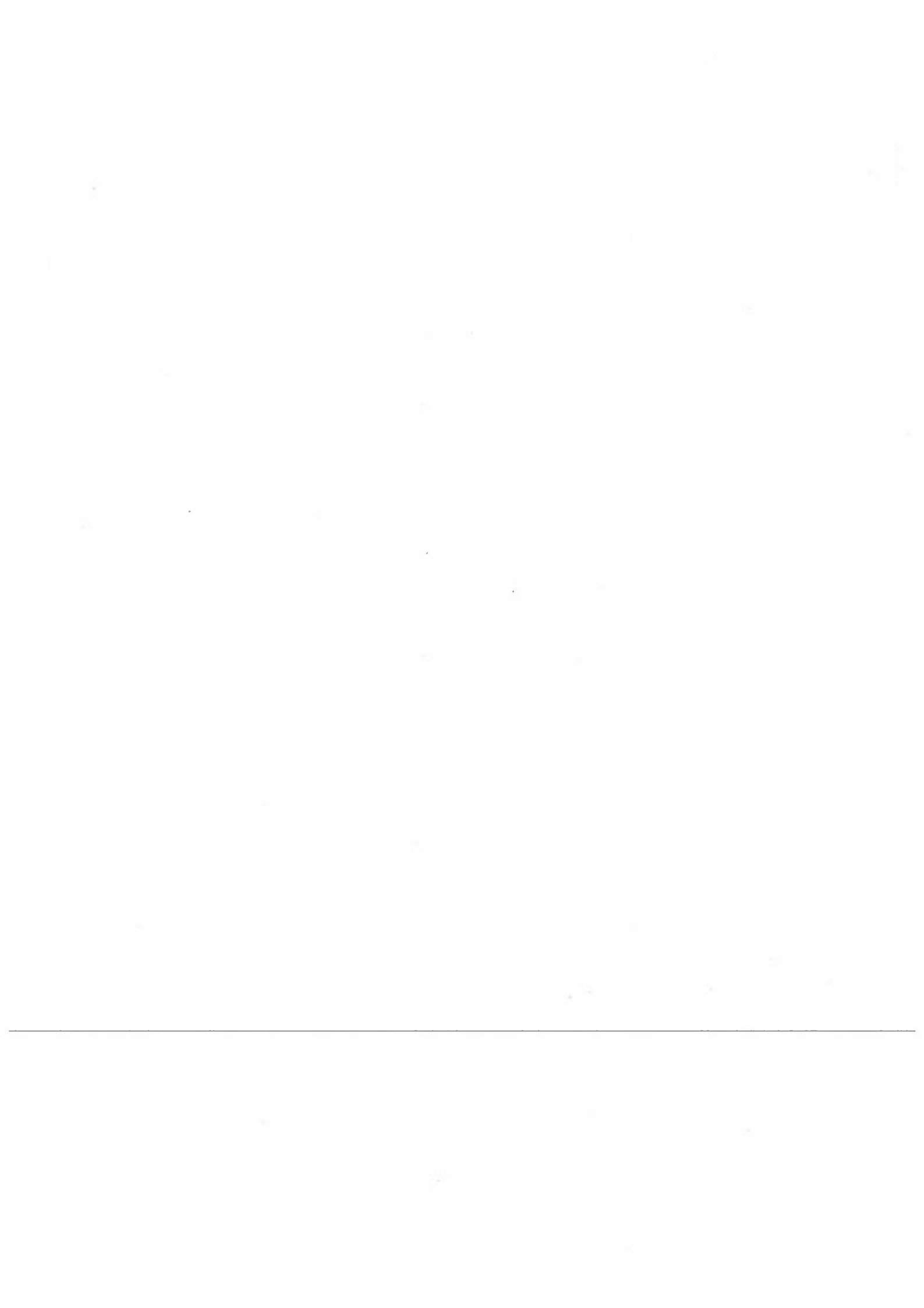
2,3                                      24,1                                      38,2                                      35,4



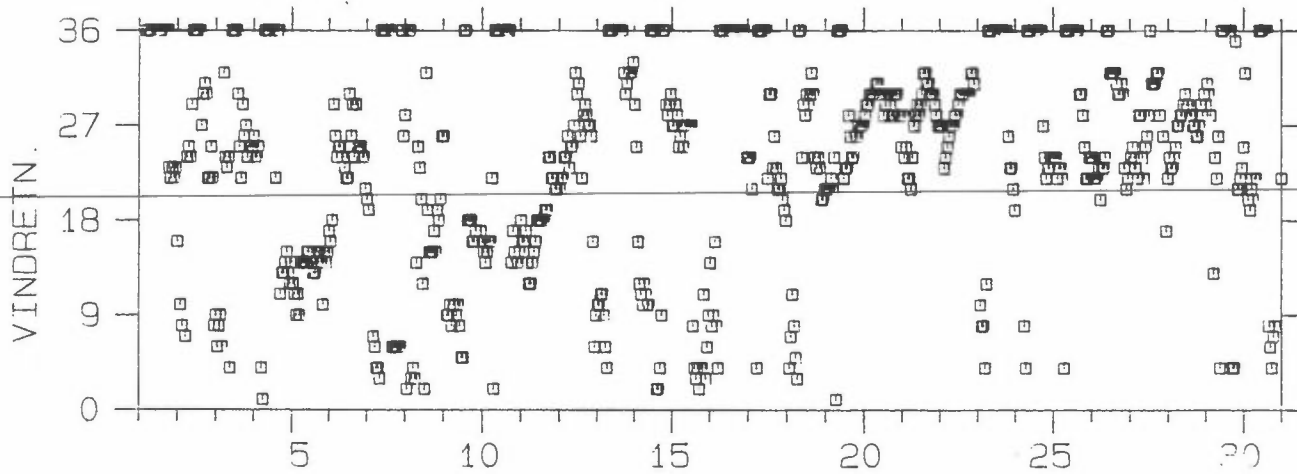
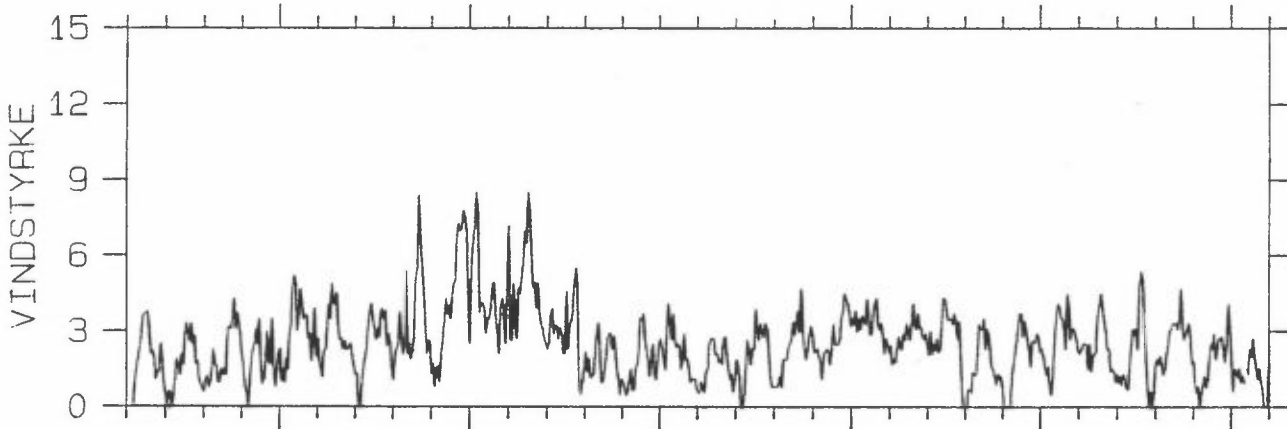
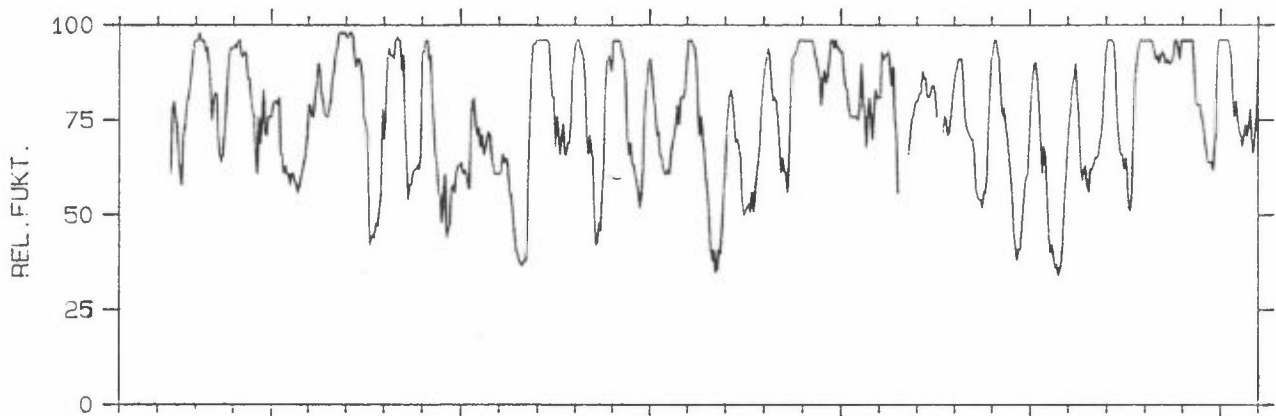
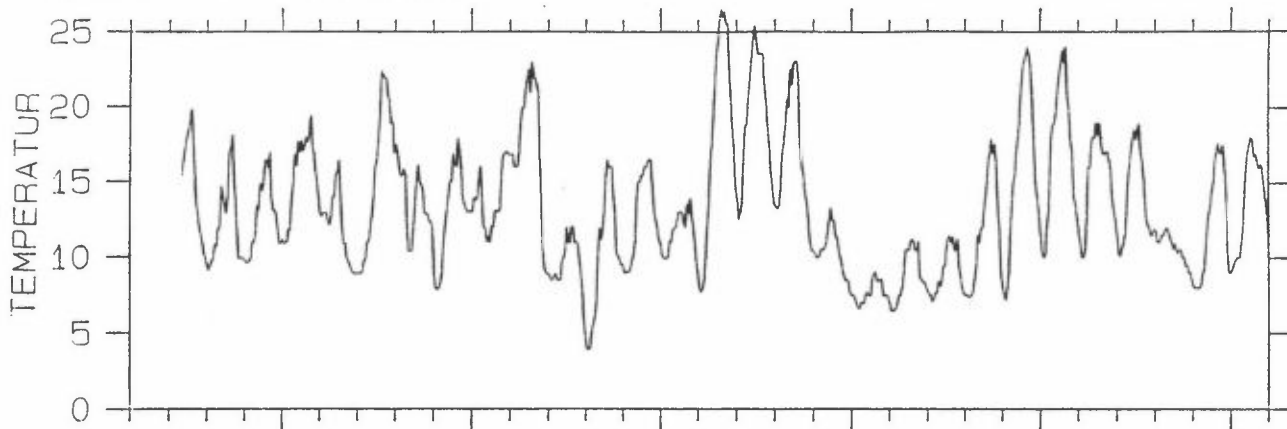
## VEDLEGG C

Grafisk presentasjon av timesverdier for meteorologiske parametre.

---

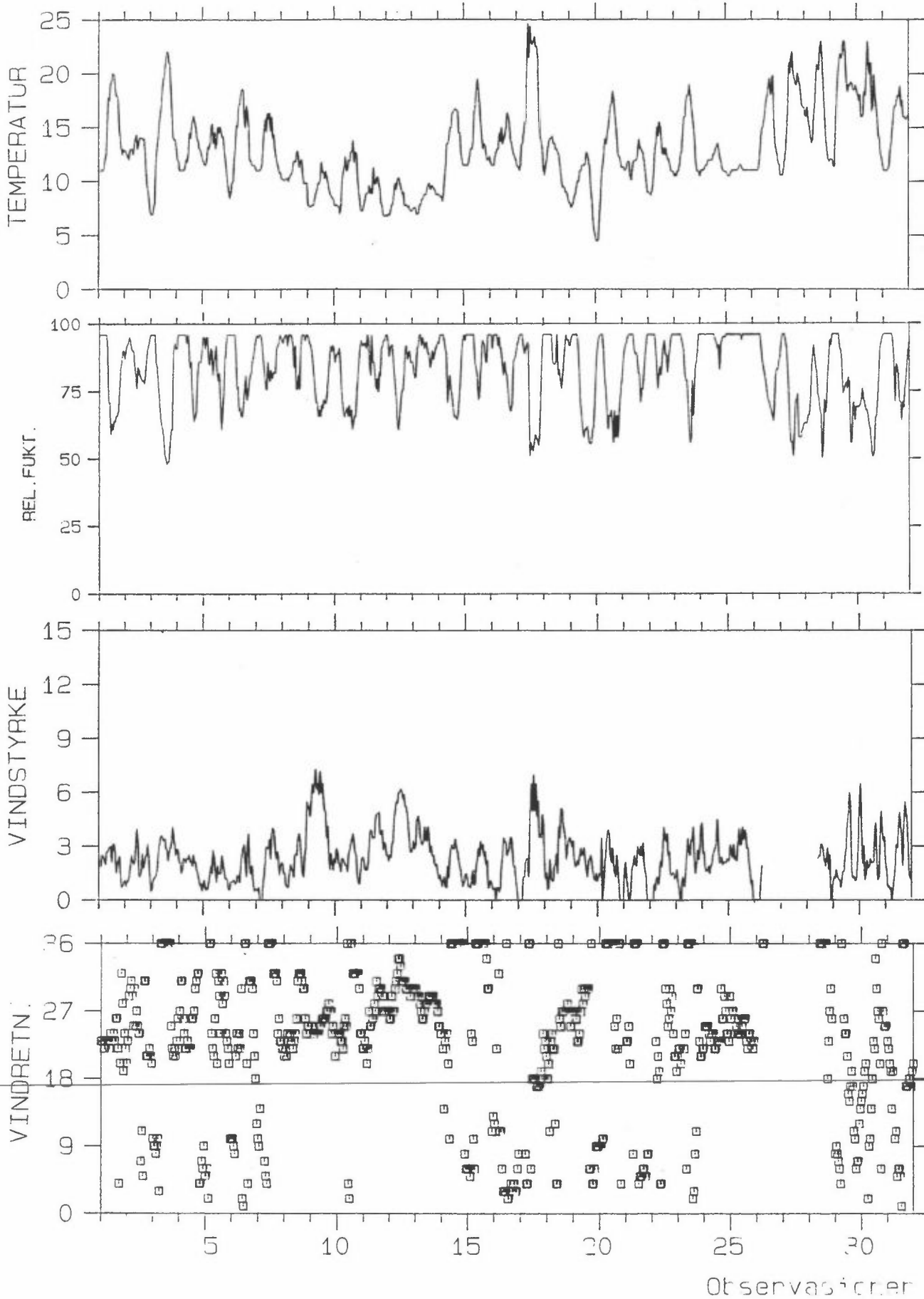


Måned : JUNI 1986

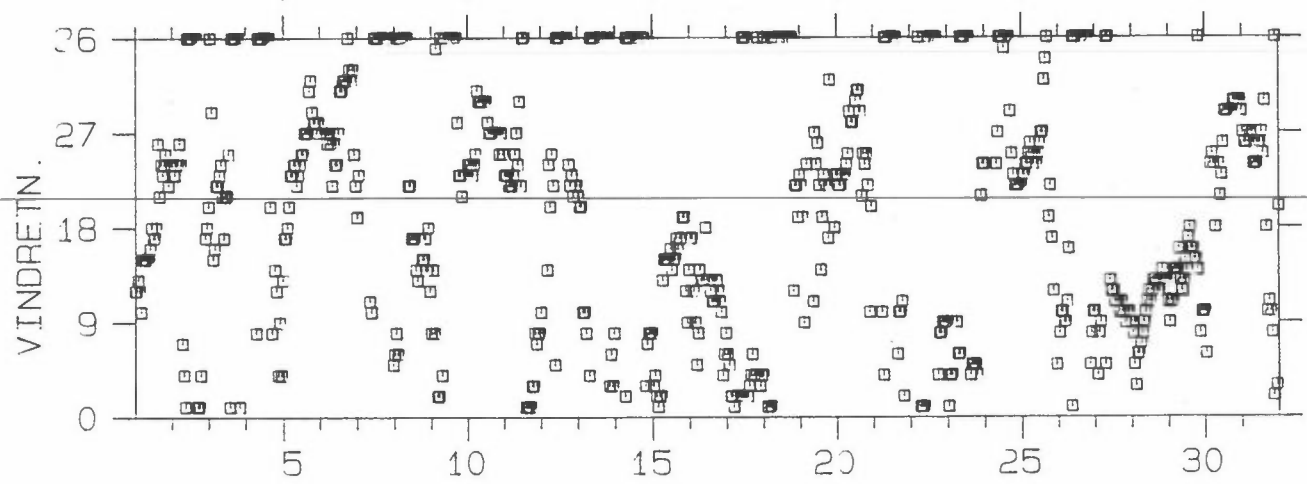
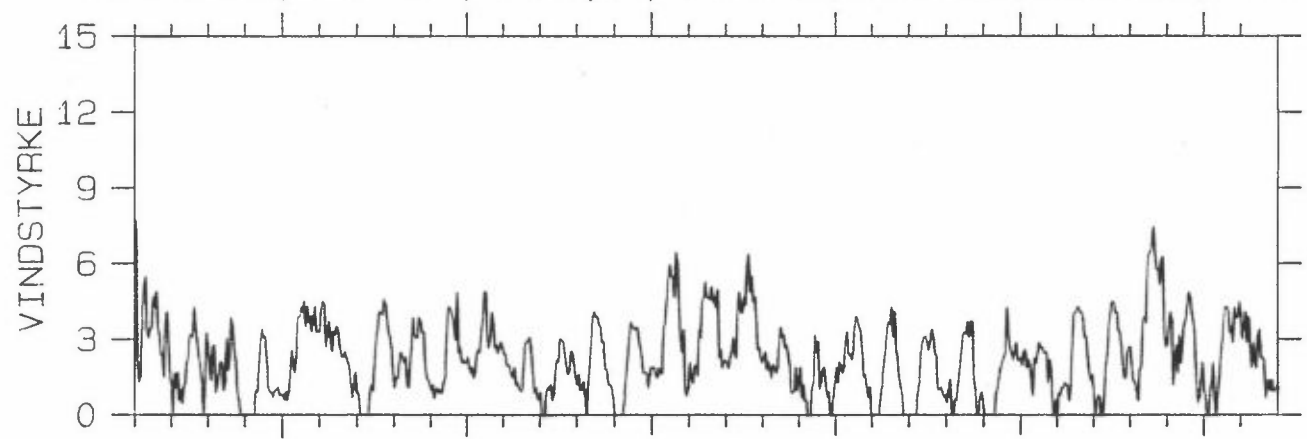
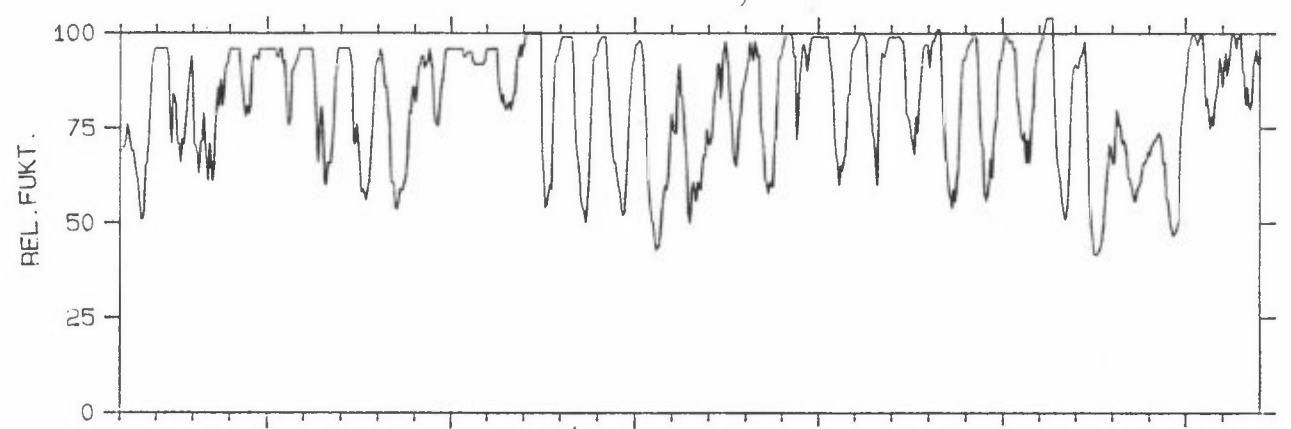
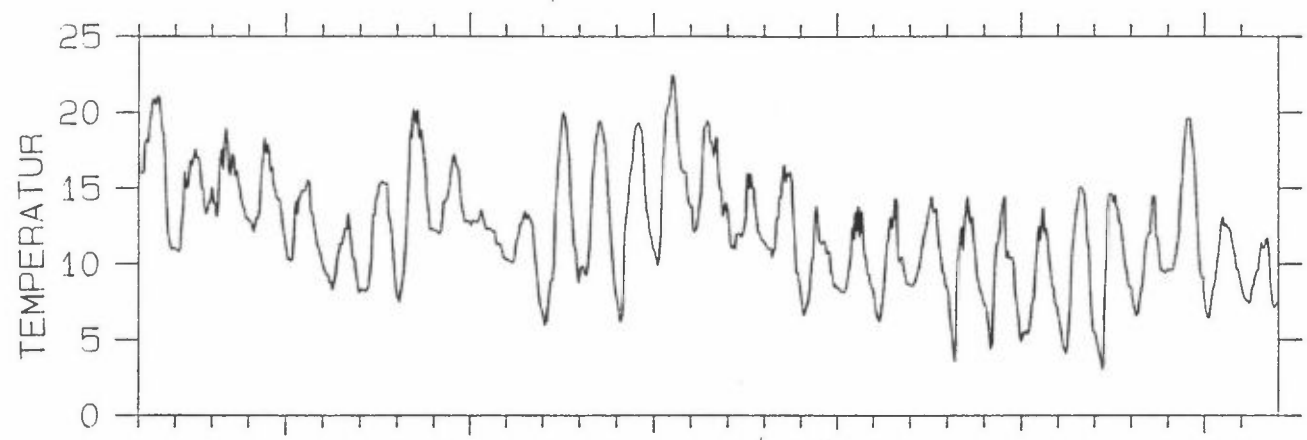


Observasjoner

Måned : JULI 1986



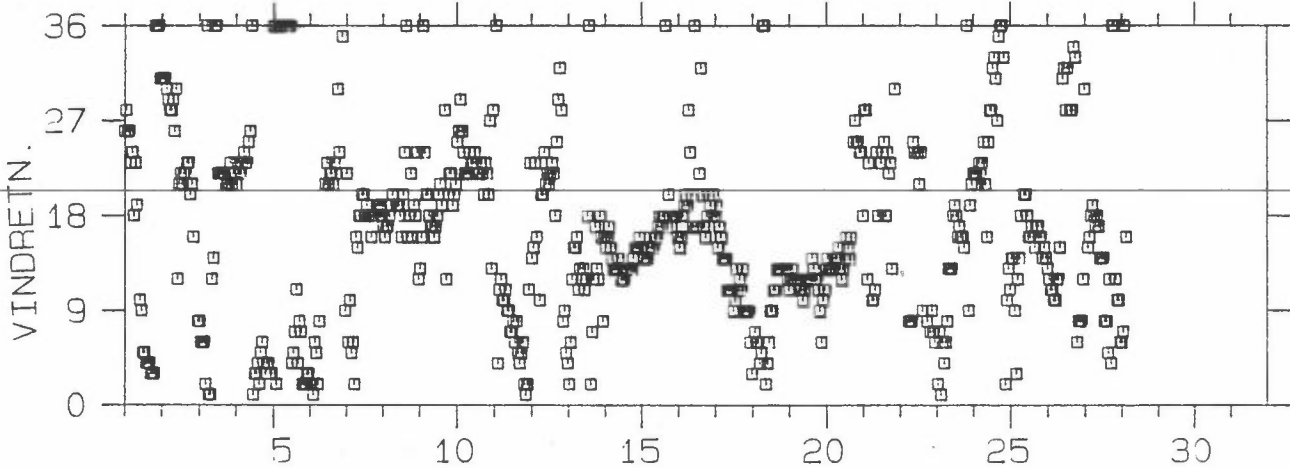
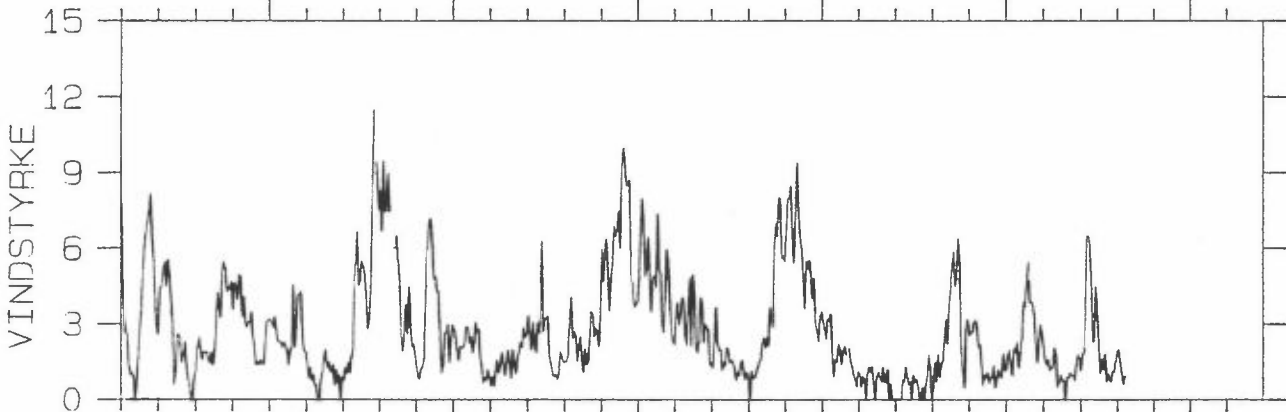
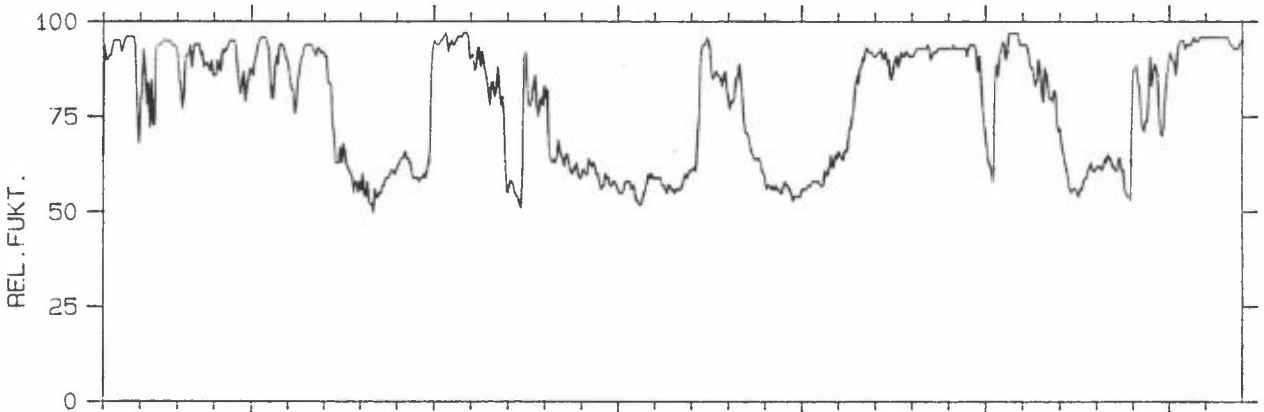
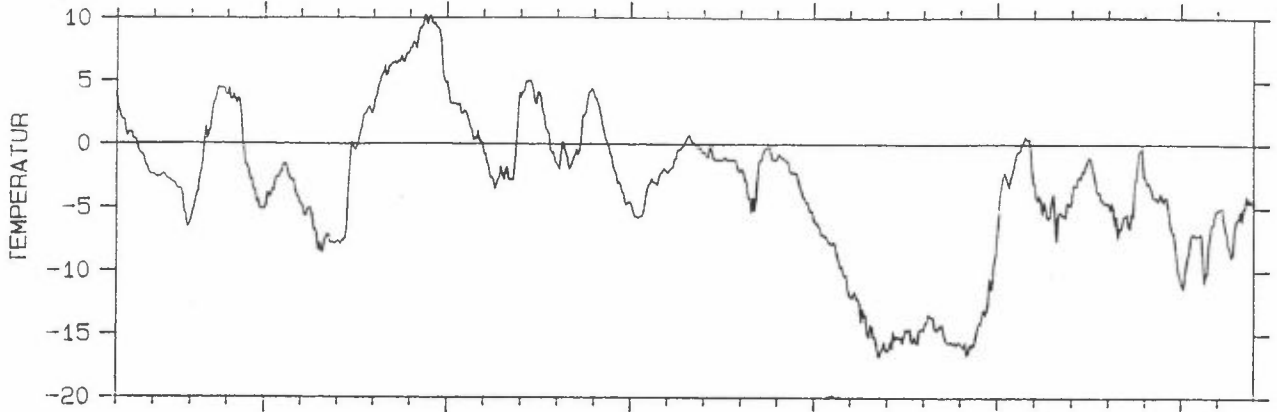
Måned : AUG 1986



Observasjoner

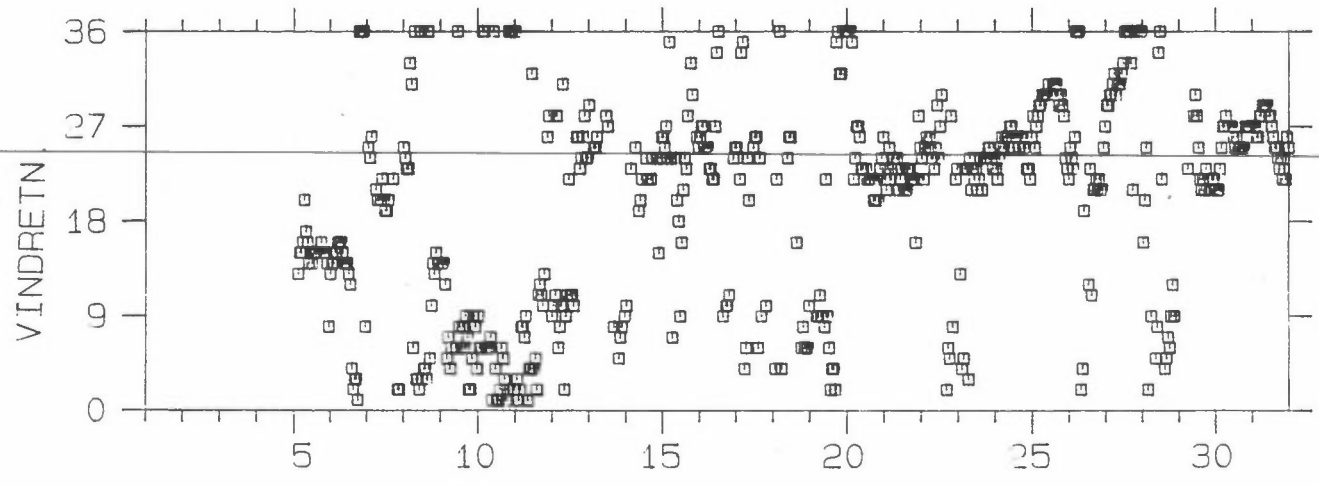
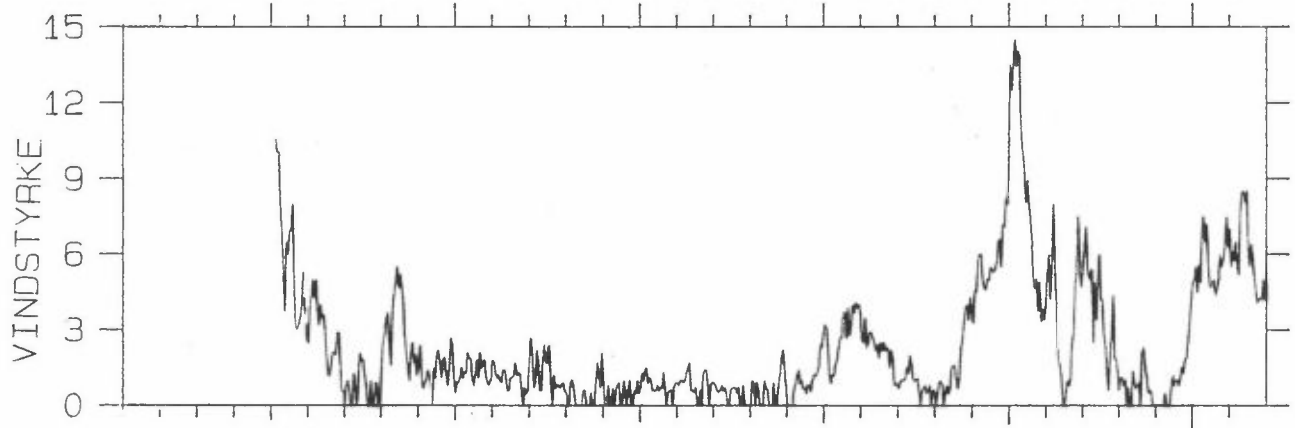
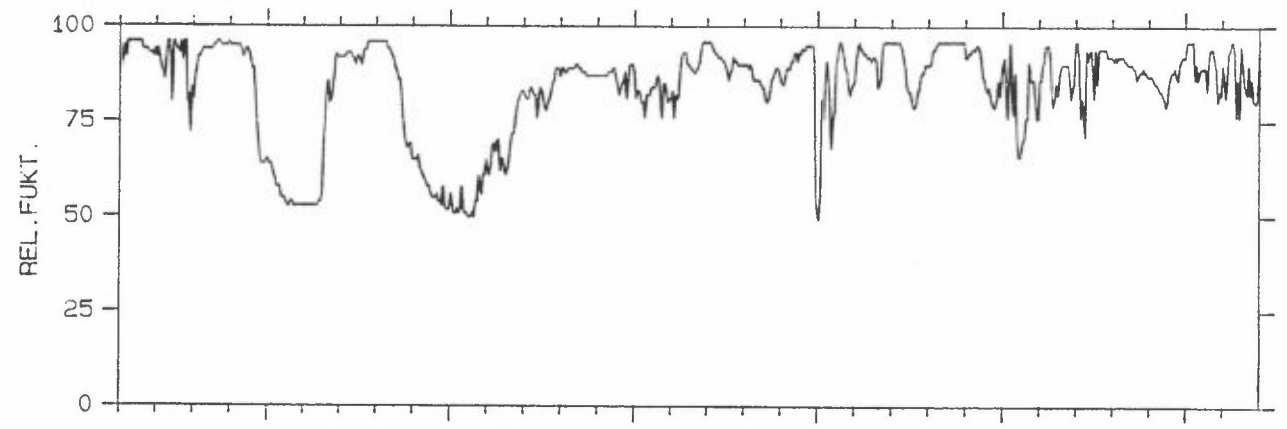
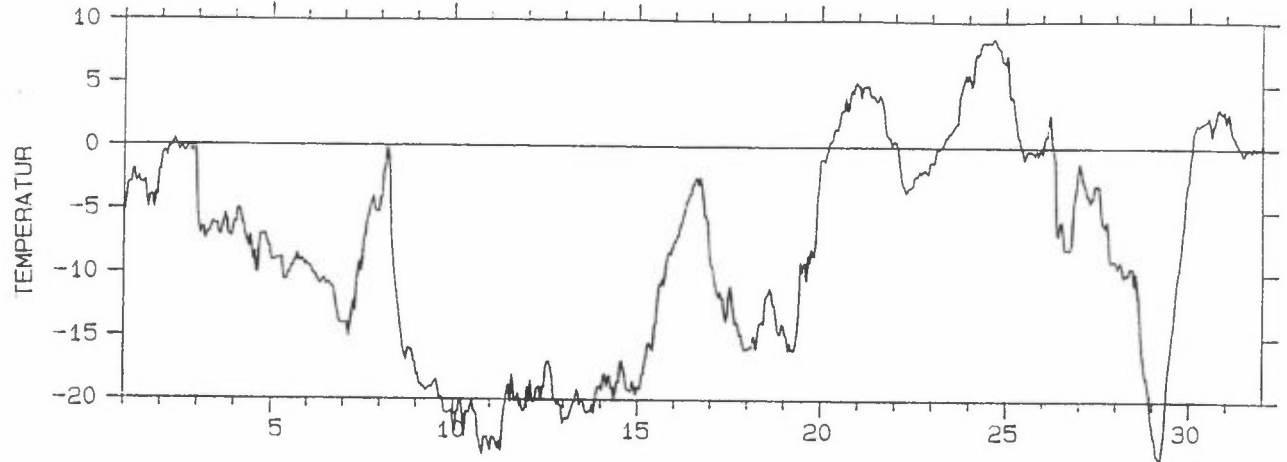


Måned : DES 1986



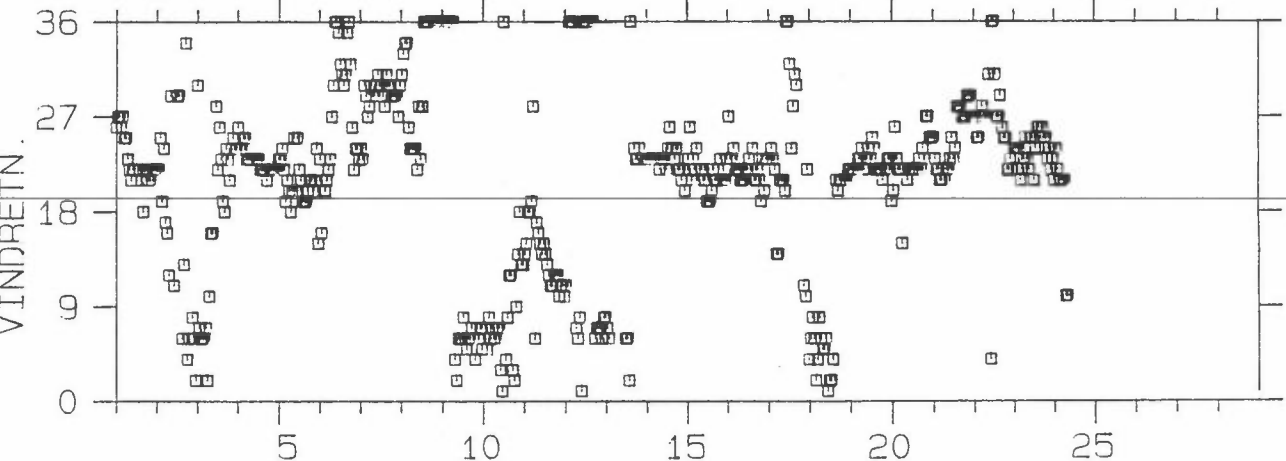
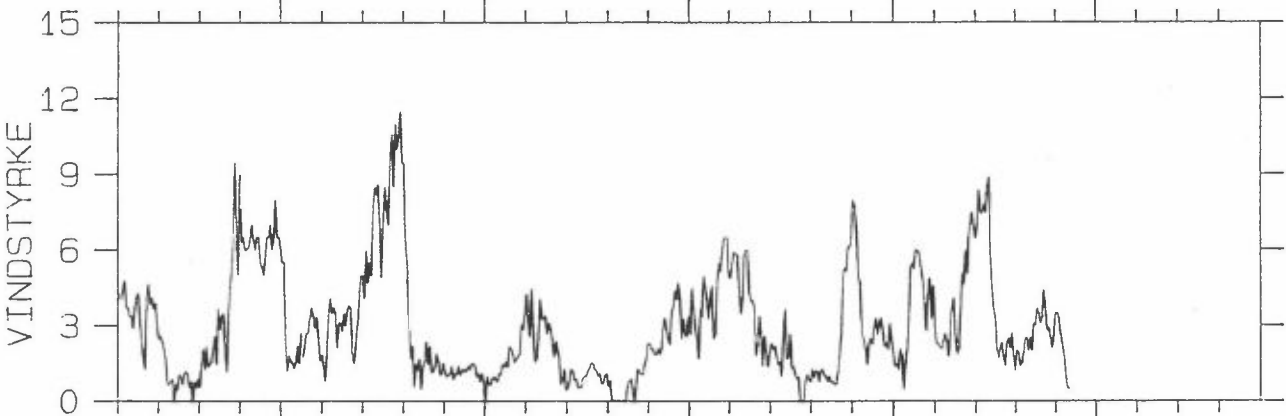
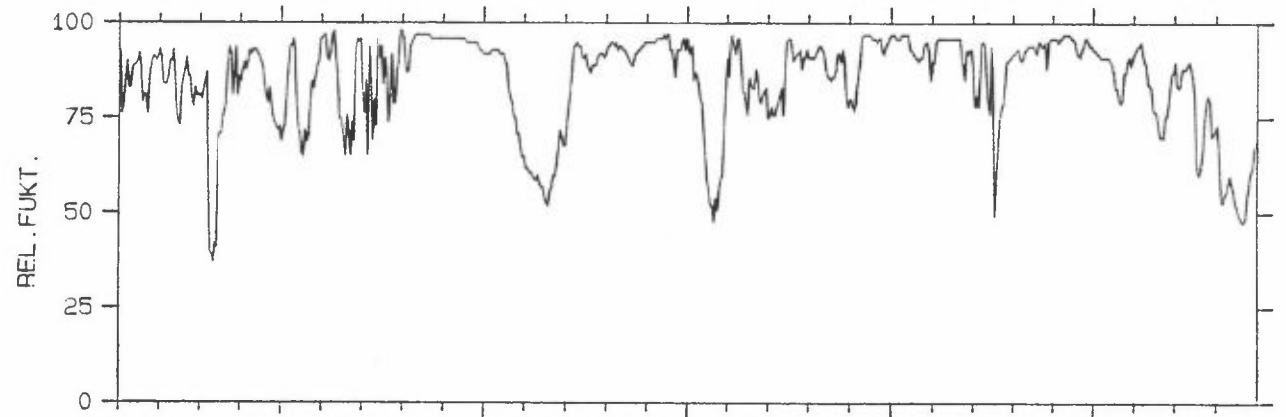
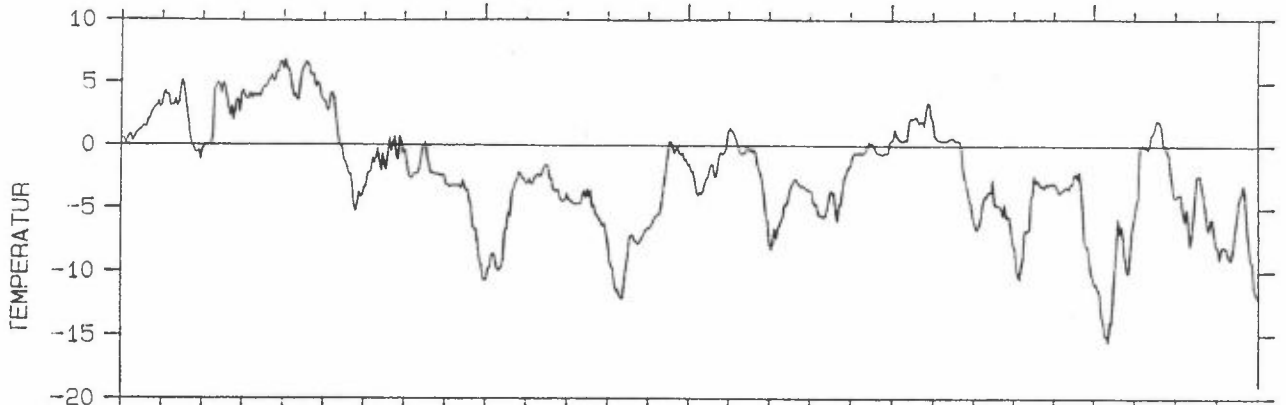
Observasjoner

Måned : JAN 1987



Observasjoner

Måned : FEB 1987

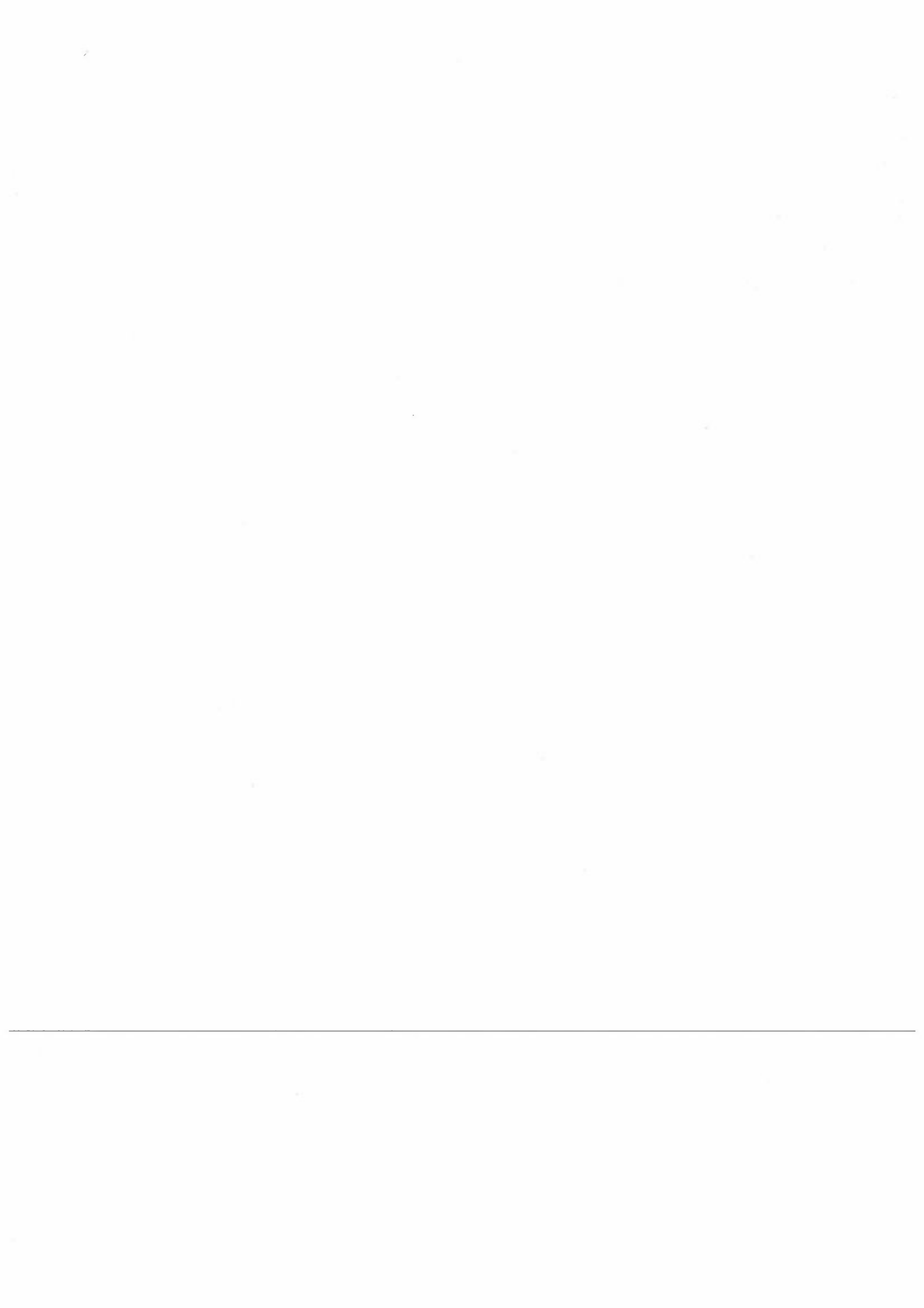


Observasjoner

## VEDLEGG D

Vindstatistikk for sommer 1986 og vinter 1986/87 for Heimdal.

---



Stasjon : HEIMDAL  
 Periode : 01.06.83 - 31.08.83

FORDELING AV VINDRETNINGER OVER DØGNET (%)

*) Vind- retning	Klokkeslett								Vind- rose
	01	04	07	10	13	16	19	22	
30	5.7	5.6	10.0	13.3	15.9	16.1	14.8	7.9	10.5
60	5.7	4.4	6.7	3.3	2.3	4.6	6.8	3.4	5.0
90	6.8	8.9	10.0	2.2	.0	.0	2.3	13.5	5.8
120	9.1	3.3	4.4	2.2	2.3	1.1	5.7	3.4	3.9
150	3.4	3.3	2.2	3.3	.0	1.1	.0	3.4	1.9
180	4.5	2.2	3.3	.0	2.3	1.1	1.1	1.1	2.0
210	20.5	13.3	12.2	10.0	4.5	1.1	3.4	10.1	9.4
240	21.6	30.0	26.7	24.4	17.0	6.9	12.5	27.0	20.5
270	10.2	11.1	8.9	15.6	15.9	21.8	12.5	13.5	14.5
300	5.7	6.7	4.4	10.0	14.8	16.1	15.9	9.0	9.3
330	1.1	1.1	6.7	3.3	4.5	14.9	13.6	2.2	5.9
360	4.5	1.1	3.3	11.1	20.5	14.9	11.4	3.4	9.2
Stille	1.1	8.9	1.1	1.1	.0	.0	.0	2.2	2.2
Ant.obs	( 88)	( 90)	( 90)	( 90)	( 88)	( 87)	( 88)	( 89)	(2136)
Midlere vind m/s	1.5	1.4	1.7	2.4	3.0	3.0	2.2	1.6	2.1

VINDSTYRKEKLASSER FORDELT PÅ VINDRETNING (%)

Klasse I: Vindstyrke .3 - 2.0 m/s  
 Klasse II: Vindstyrke 2.1 - 4.0 m/s  
 Klasse III: Vindstyrke 4.1 - 6.0 m/s  
 Klasse IV: Vindstyrke > 6.0 m/s

*) Vind- retning	Klasser				Total	Nobs	Midlere vind m/s
	I	II	III	IV			
30	6.1	4.0	.3	.0	10.5	( 224)	1.9
60	4.6	.4	.0	.0	5.0	( 107)	1.2
90	5.6	.2	.0	.0	5.8	( 123)	1.0
120	3.8	.1	.0	.0	3.9	( 83)	.8
150	1.6	.0	.1	.2	1.9	( 41)	1.7
180	1.5	.2	.2	.1	2.0	( 42)	2.1
210	6.7	2.3	.4	.0	9.4	( 201)	1.7
240	9.7	8.4	2.0	.4	20.5	( 438)	2.3
270	4.0	5.5	3.4	1.6	14.5	( 310)	3.4
300	3.8	4.6	.8	.0	9.3	( 198)	2.3
330	2.9	2.7	.2	.0	5.9	( 125)	2.1
360	3.6	5.1	.5	.0	9.2	( 196)	2.3
Stille					2.2	( 48)	
Total	53.8	33.6	8.0	2.4	100.0	(2136)	
Midlere vind m/s	1.1	2.8	4.8	7.0			2.1

\*) Dette tallet angir sentrum av vindsektor

Stasjon : HEIMDAL  
 Periode : 01.12.86 - 28.02.87

FORDELING AV VINDRETNINGER OVER DØGNET (%)

*) Vind- retning	Klokkeslett								Vind- rose
	01	04	07	10	13	16	19	22	
30	3.9	5.1	3.8	5.3	6.5	6.6	6.6	5.2	5.8
60	3.9	9.0	11.5	3.9	3.9	9.2	9.2	5.2	6.9
90	5.3	2.6	9.0	5.3	7.8	1.3	6.6	13.0	5.9
120	6.6	6.4	6.4	7.9	6.5	11.8	6.6	2.6	7.4
150	11.8	7.7	9.0	10.5	7.8	6.6	3.9	7.8	7.6
180	2.6	6.4	5.1	6.6	9.1	5.3	3.9	9.1	5.8
210	10.5	11.5	12.8	17.1	16.9	19.7	21.1	16.9	16.4
240	19.7	19.2	16.7	17.1	14.3	14.5	14.5	14.3	16.0
270	13.2	12.8	7.7	5.3	7.8	3.9	2.6	5.2	8.0
300	6.6	3.8	5.1	7.9	5.2	6.6	3.9	2.6	4.7
330	.0	2.6	.0	.0	5.2	.0	3.9	.0	1.5
360	5.3	6.4	6.4	5.3	6.5	6.6	9.2	9.1	7.2
Stille	10.5	6.4	6.4	7.9	2.6	7.9	7.9	9.1	6.8
Ant.obs	( 76)	( 78)	( 78)	( 76)	( 77)	( 76)	( 76)	( 77)	(1832)
Midlere vind m/s	2.9	2.9	2.7	2.8	2.7	2.5	2.6	2.8	2.7

VINDSTYRKEKLASSER FORDELT PÅ VINDRETNING (%)

Klasse I: Vindstyrke .3 - 2.0 m/s  
 Klasse II: Vindstyrke 2.1 - 4.0 m/s  
 Klasse III: Vindstyrke 4.1 - 6.0 m/s  
 Klasse IV: Vindstyrke > 6.0 m/s

*) Vind- retning	Klasser				Total	Nobs	Midlere vind m/s
	I	II	III	IV			
30	4.0	.9	.5	.3	5.8	( 106)	2.0
60	6.1	.8	.1	.0	6.9	( 127)	1.3
90	5.1	.8	.0	.1	5.9	( 108)	1.3
120	3.3	2.1	.8	1.1	7.4	( 135)	3.2
150	2.1	3.0	1.6	.9	7.6	( 139)	3.6
180	1.2	1.9	1.7	1.0	5.8	( 107)	4.0
210	4.6	7.2	3.4	1.1	16.4	( 300)	3.1
240	6.4	5.6	3.0	1.0	16.0	( 293)	2.9
270	3.1	.9	2.3	1.7	8.0	( 147)	3.9
300	1.1	.7	1.0	2.0	4.7	( 86)	5.4
330	1.1	.2	.2	.1	1.5	( 28)	2.0
360	4.6	2.2	.3	.1	7.2	( 132)	2.0
Stille					6.8	( 124)	
Total	42.7	26.3	15.0	9.3	100.0	(1832)	
Midlere vind m/s	1.2	2.9	5.0	7.9			2.7

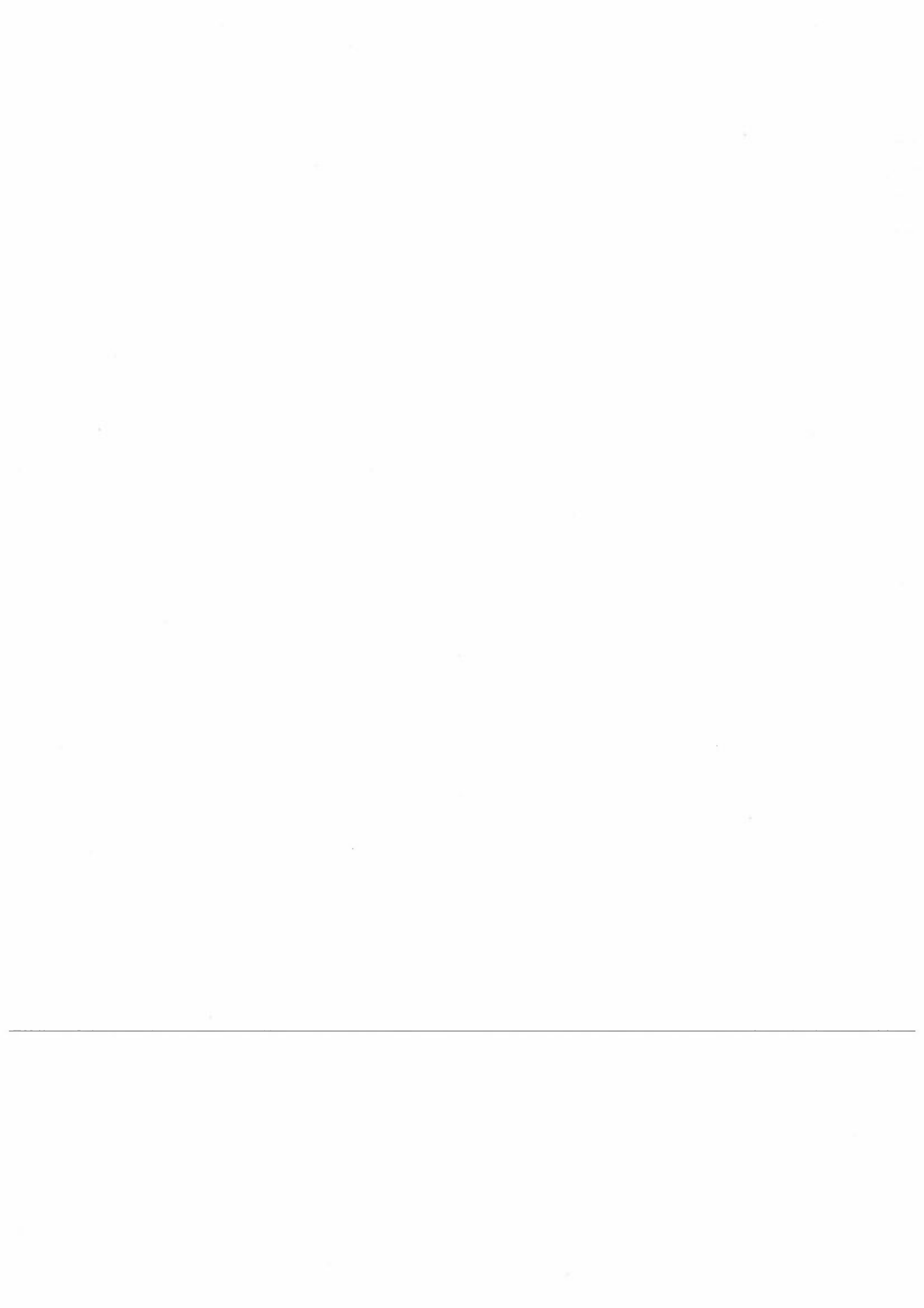
\*) Dette tallet angir sentrum av vindsektor

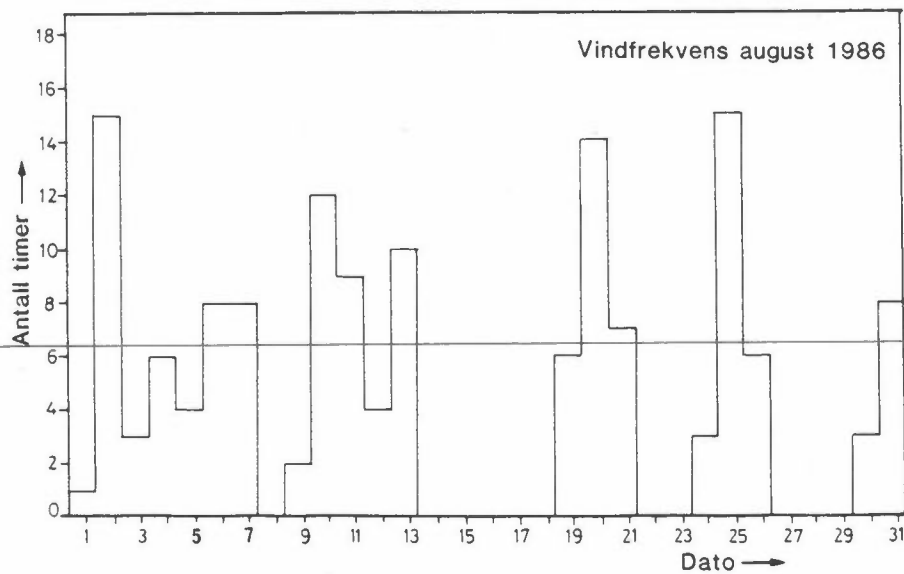
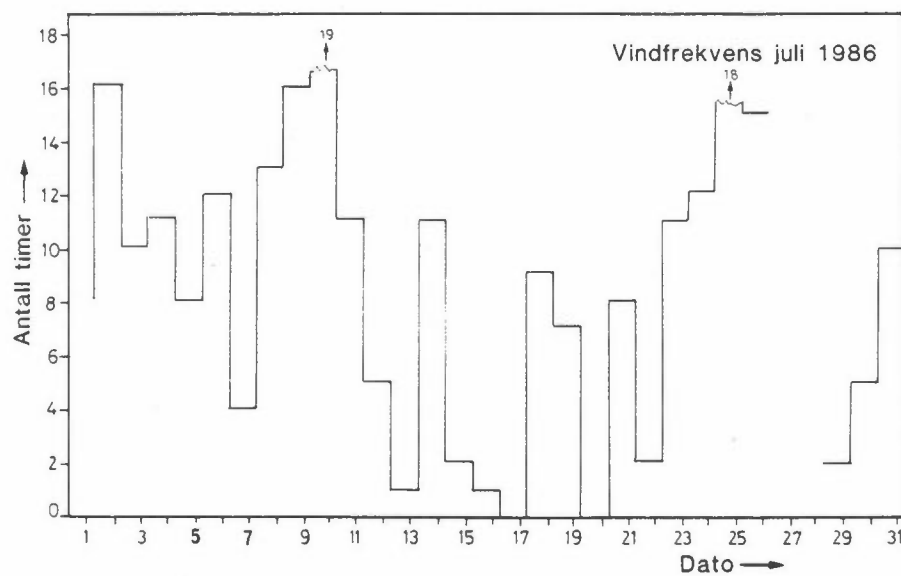
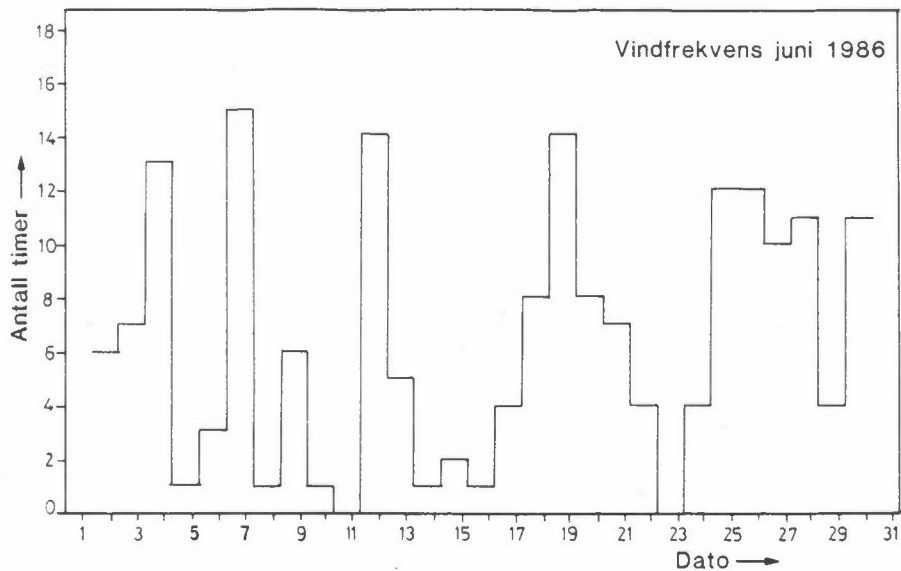
## VEDLEGG E

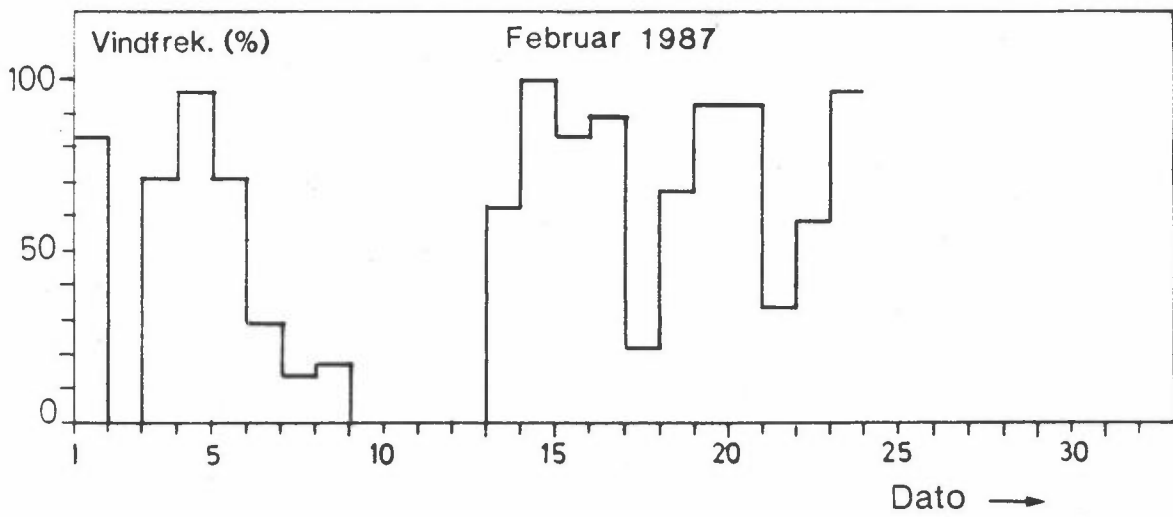
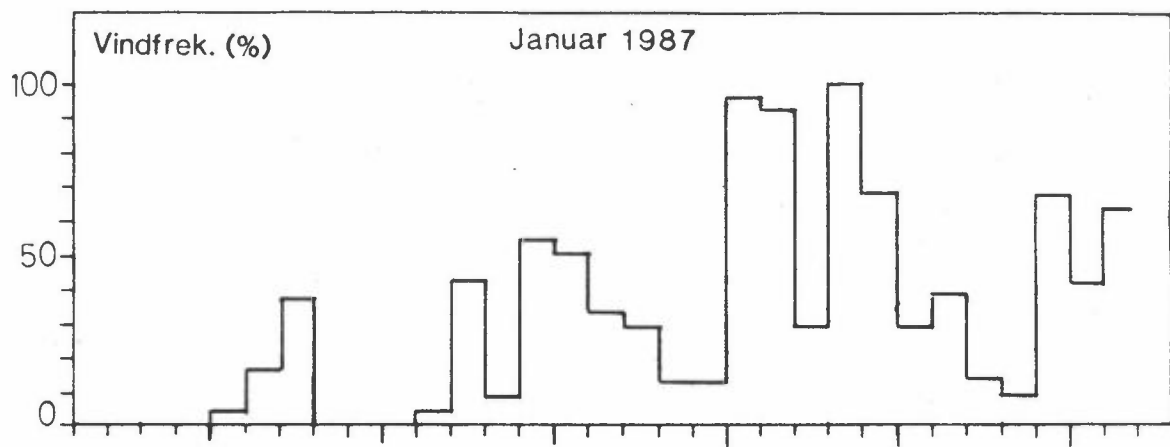
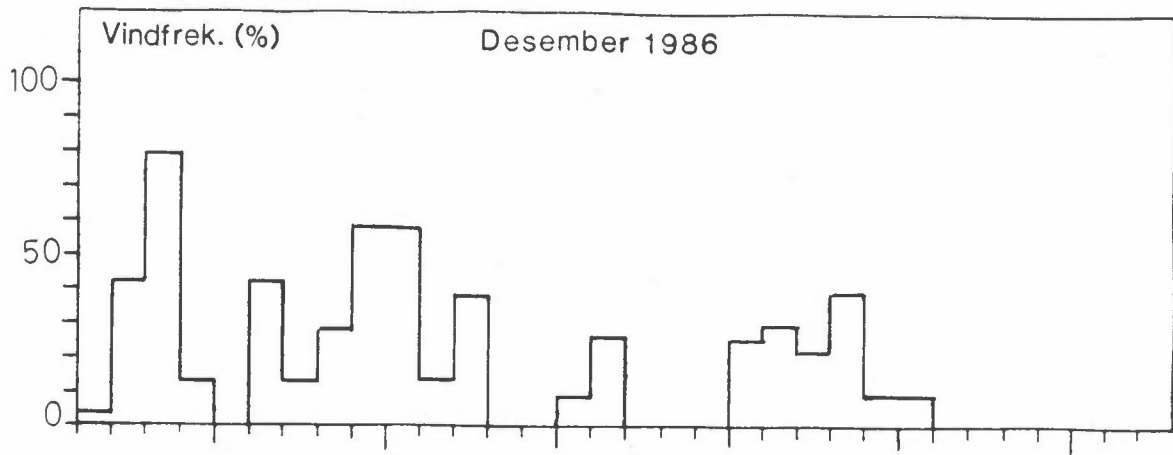
Forekomst av vind fra varmesentralen mot målestedet.

---





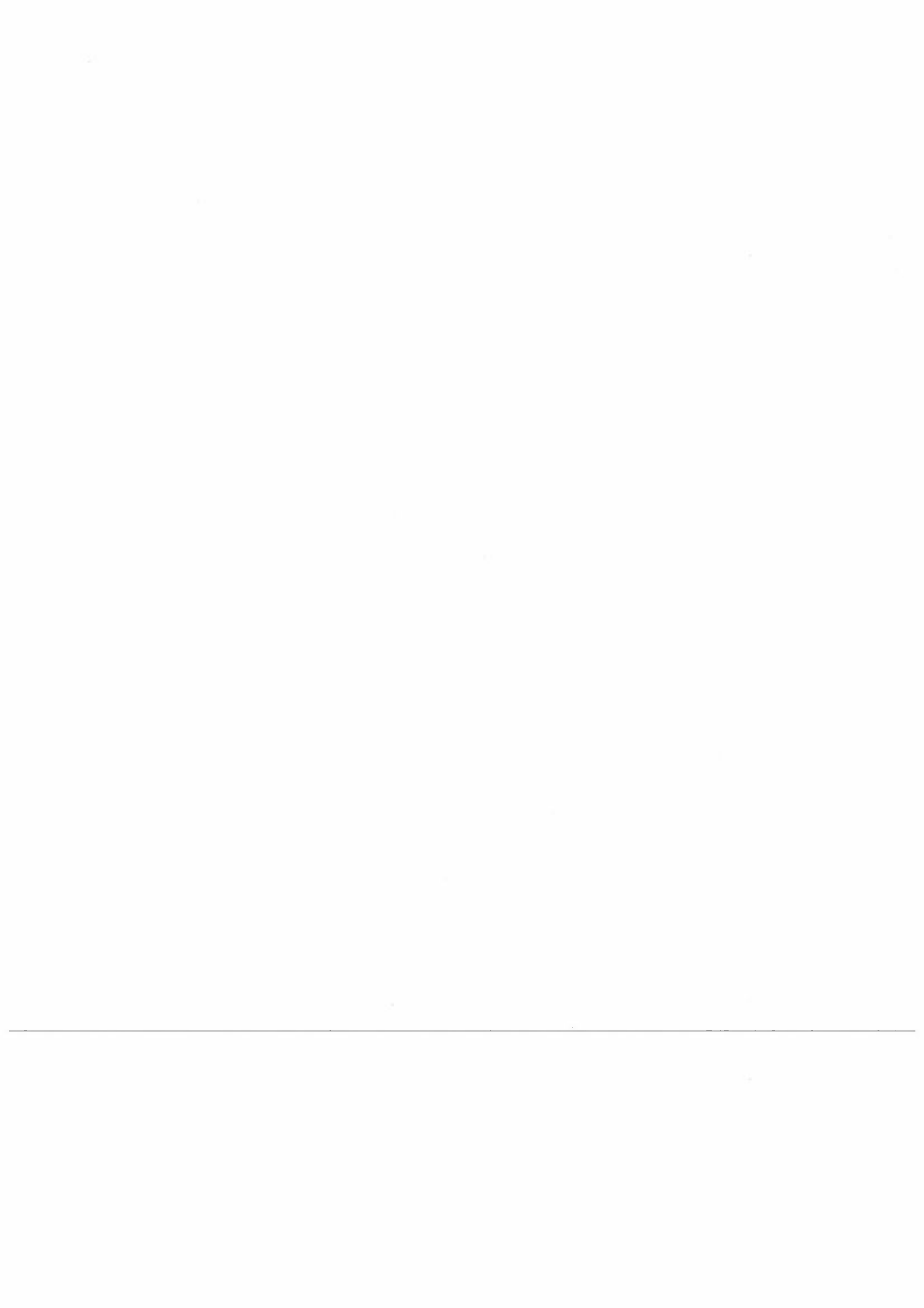


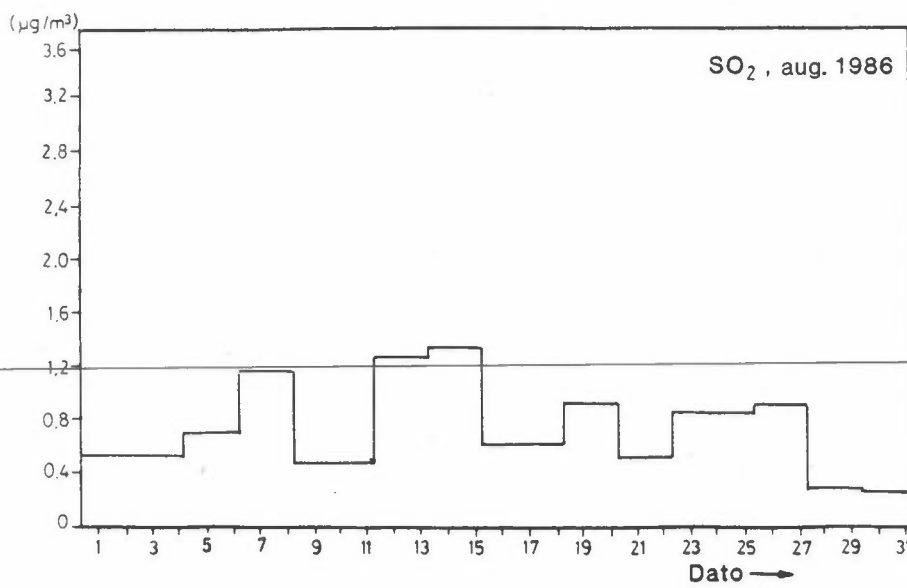
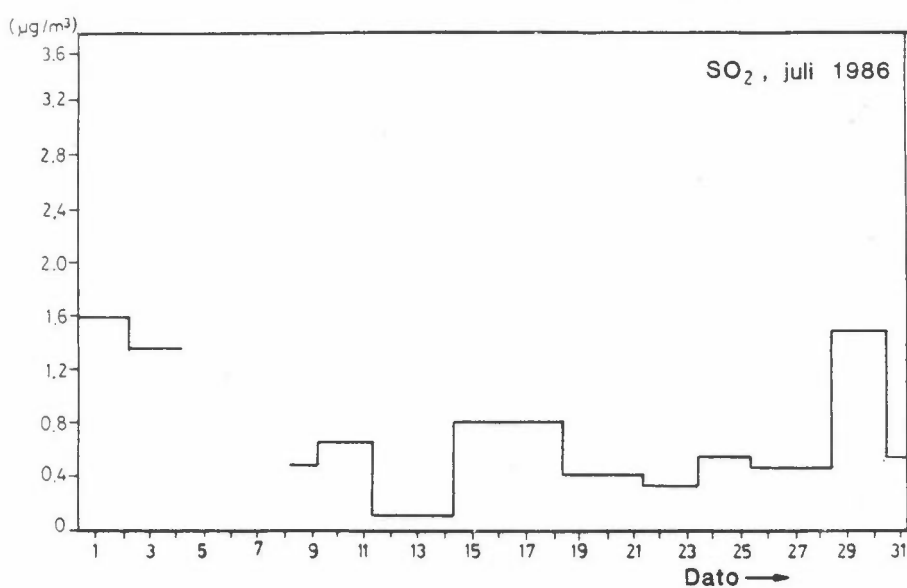
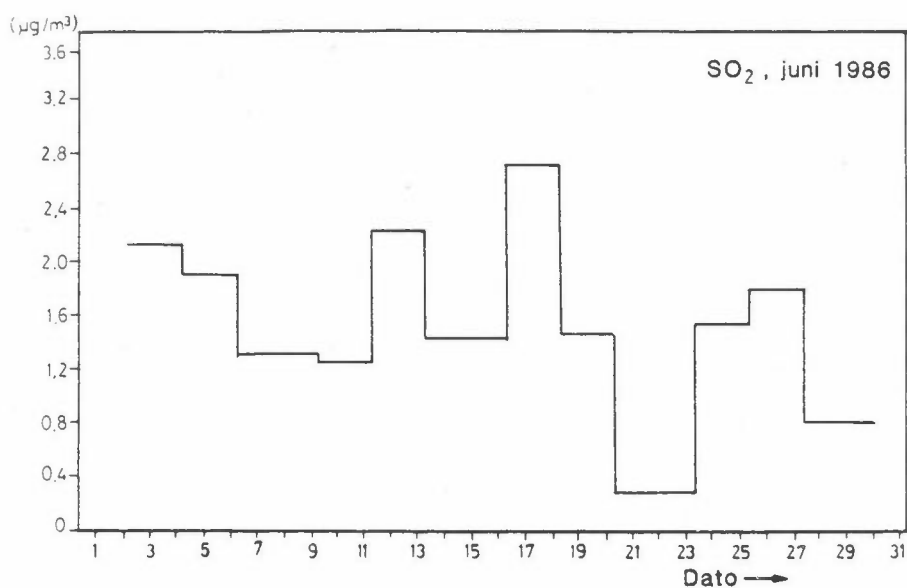


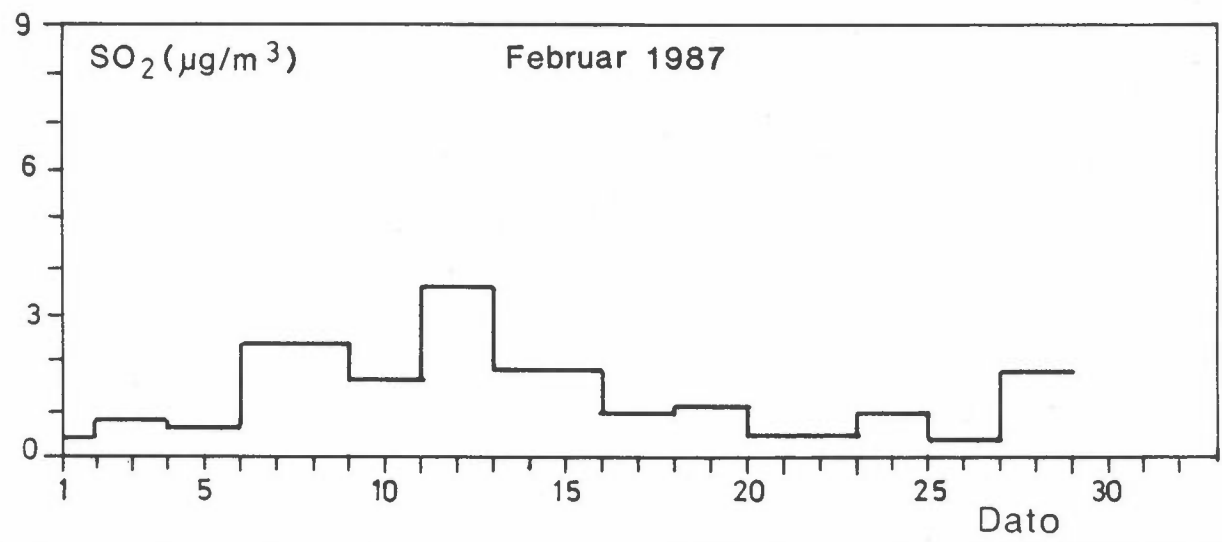
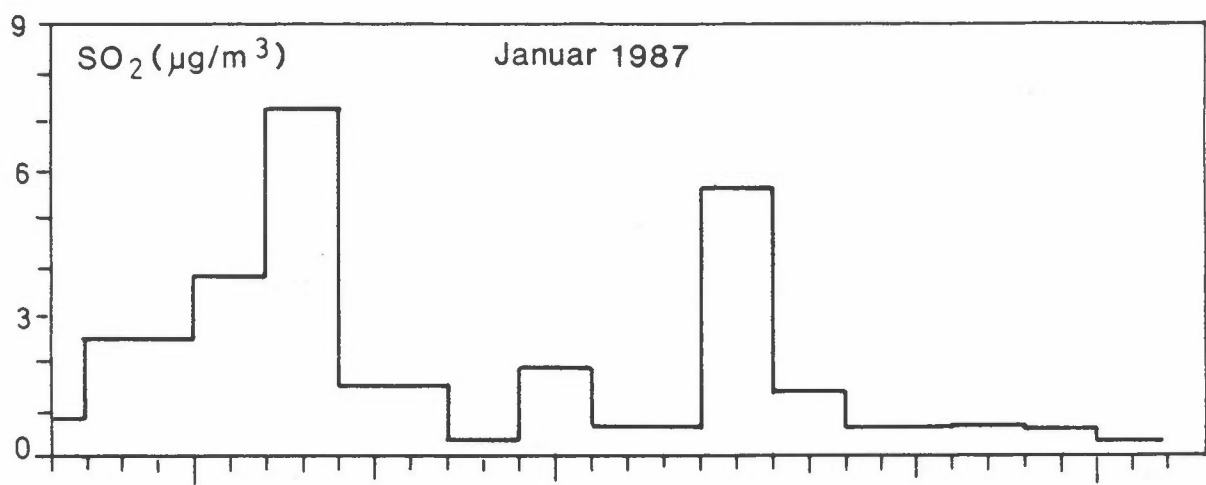
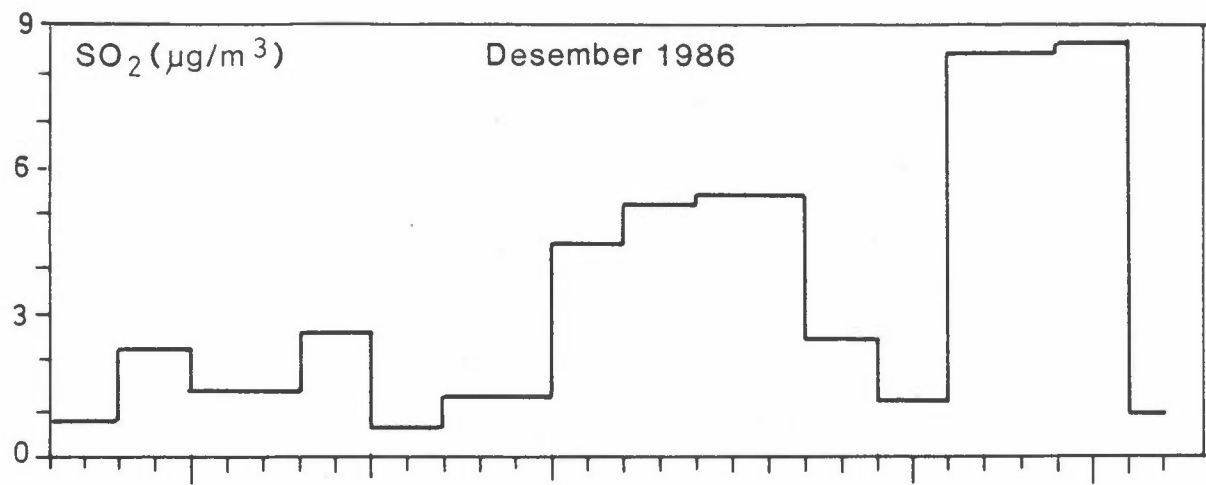
## VEDLEGG F

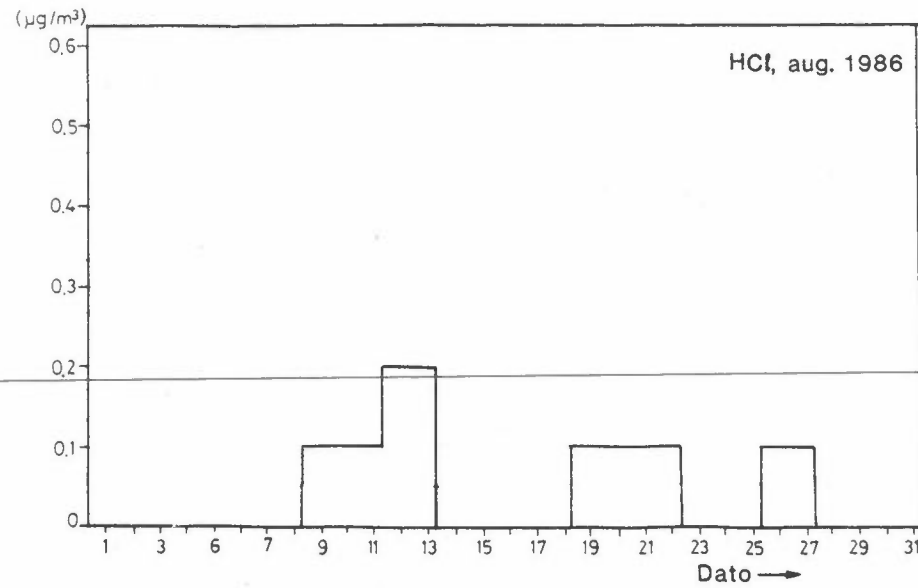
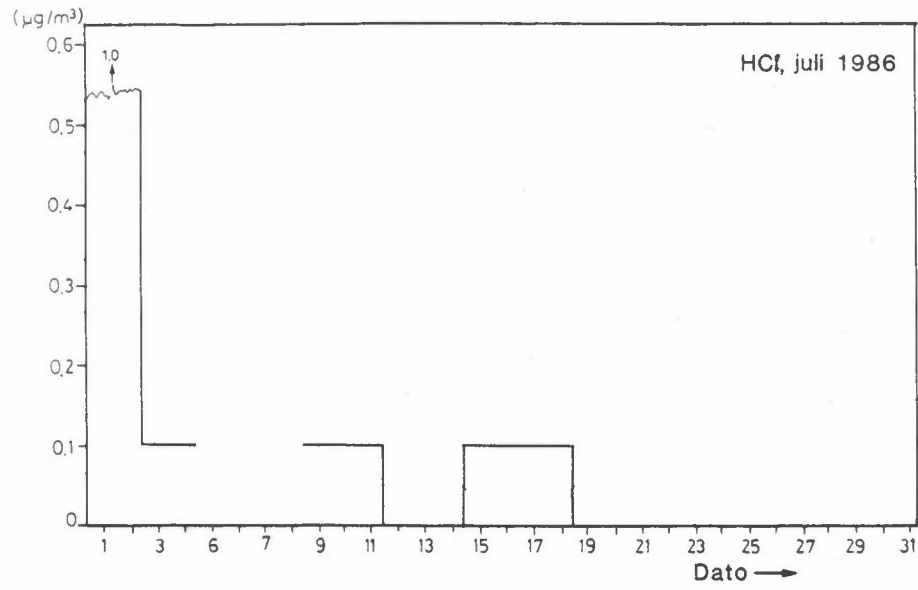
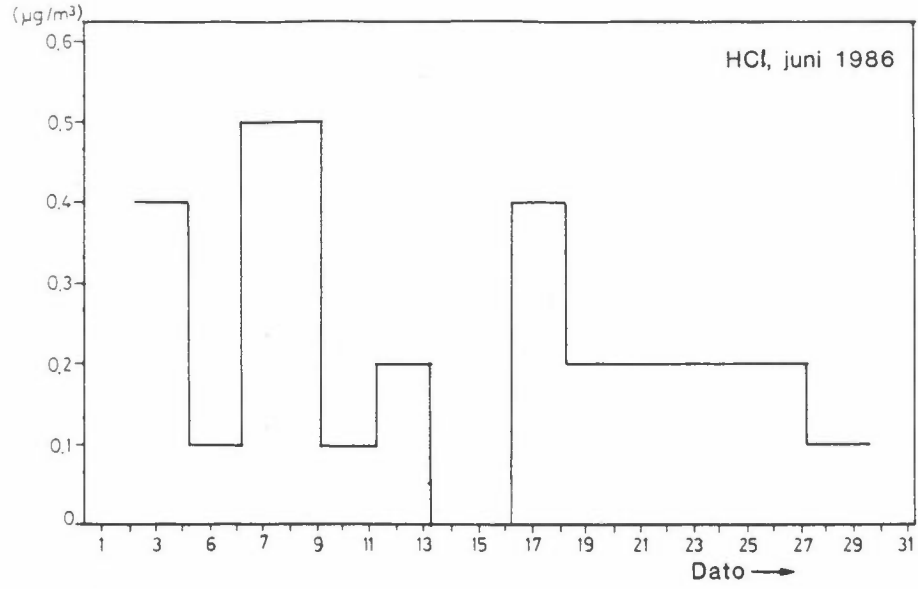
Grafisk presentasjon av luftkvalitetsdata.

---



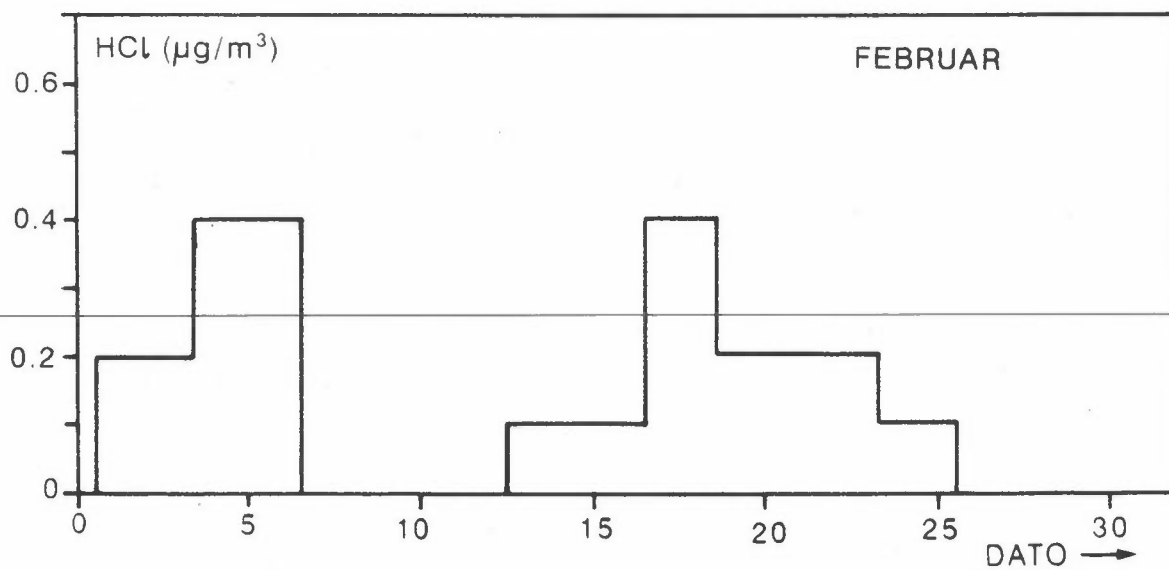
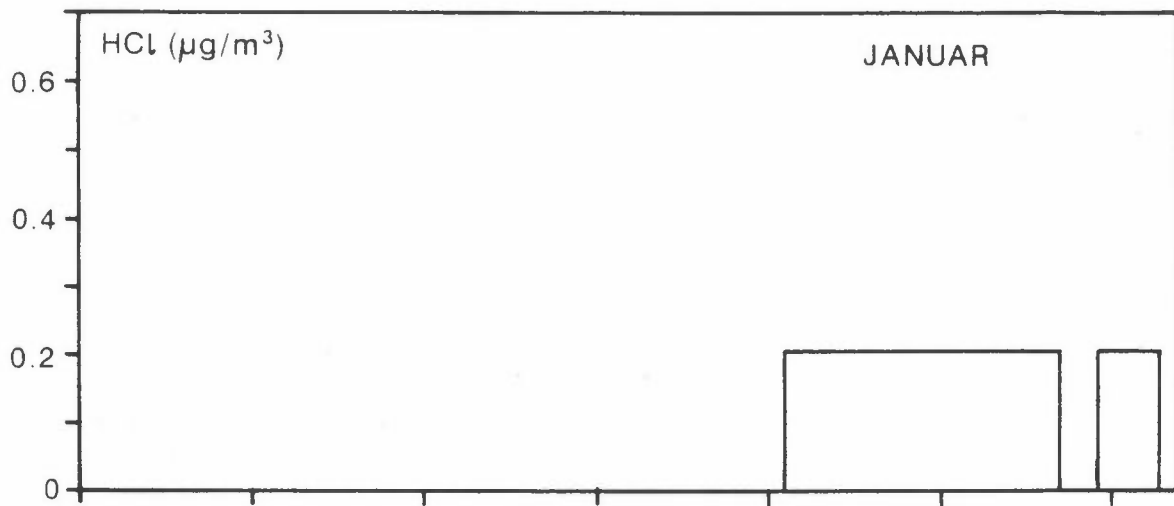
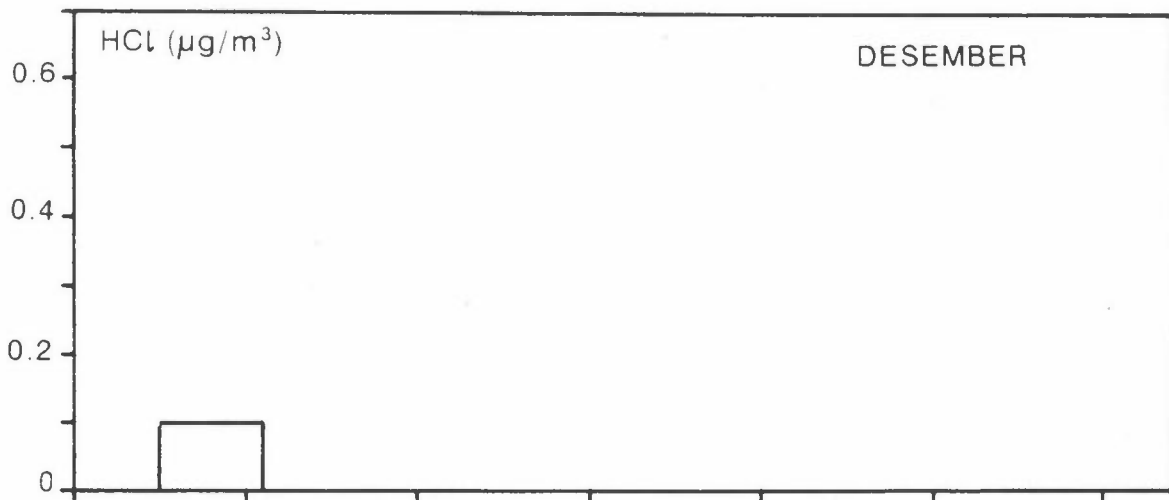


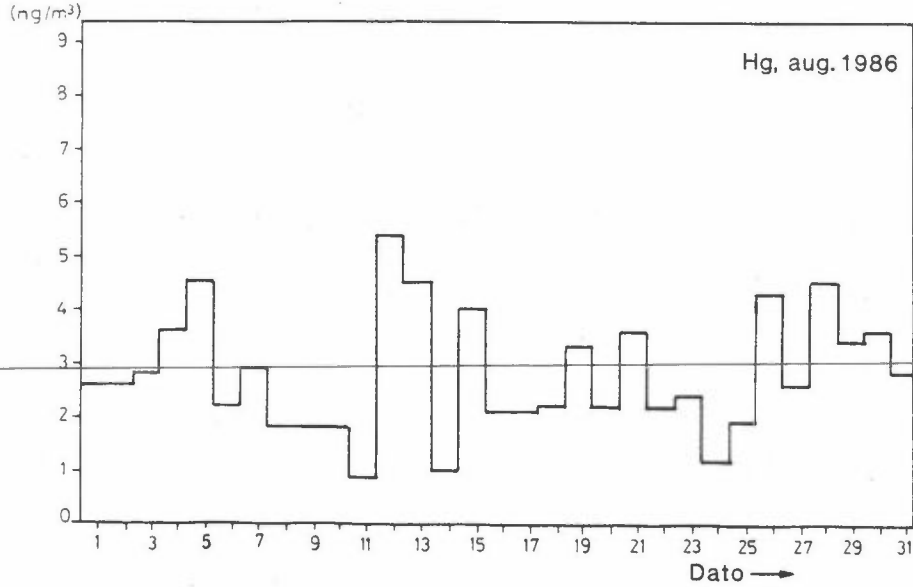
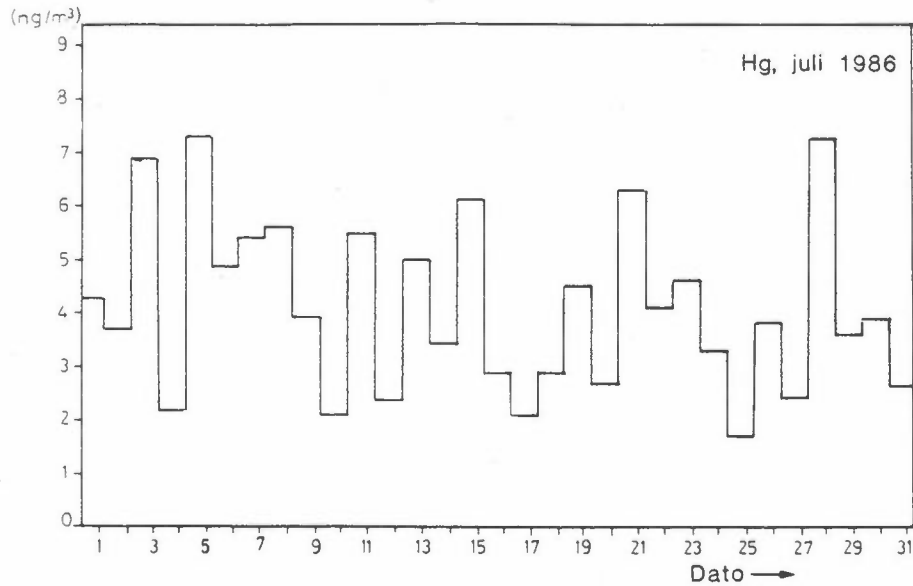
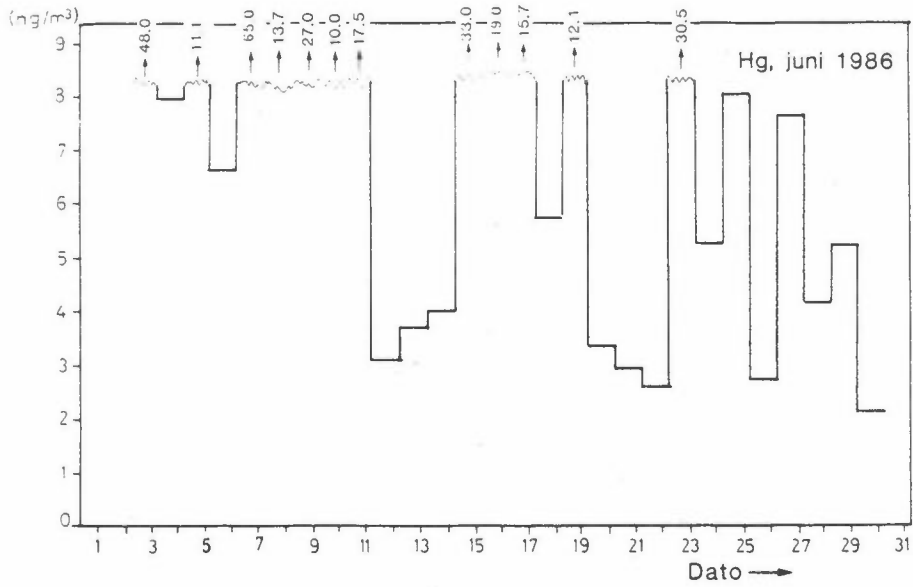




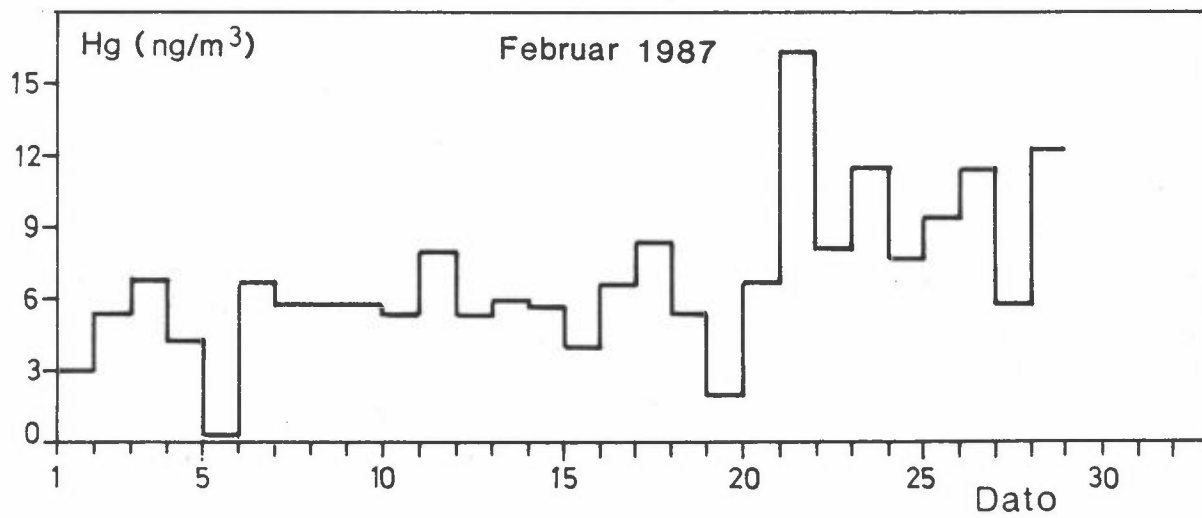
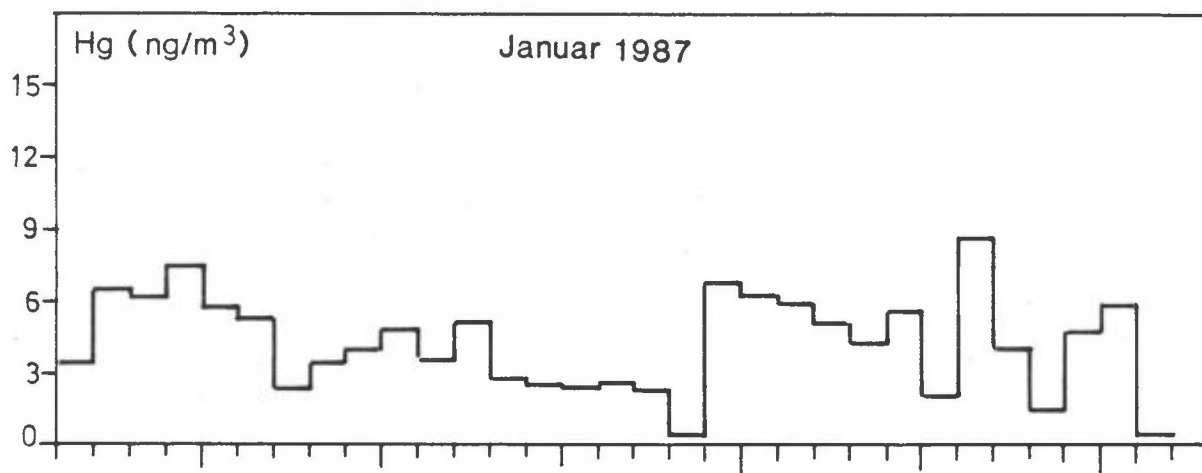
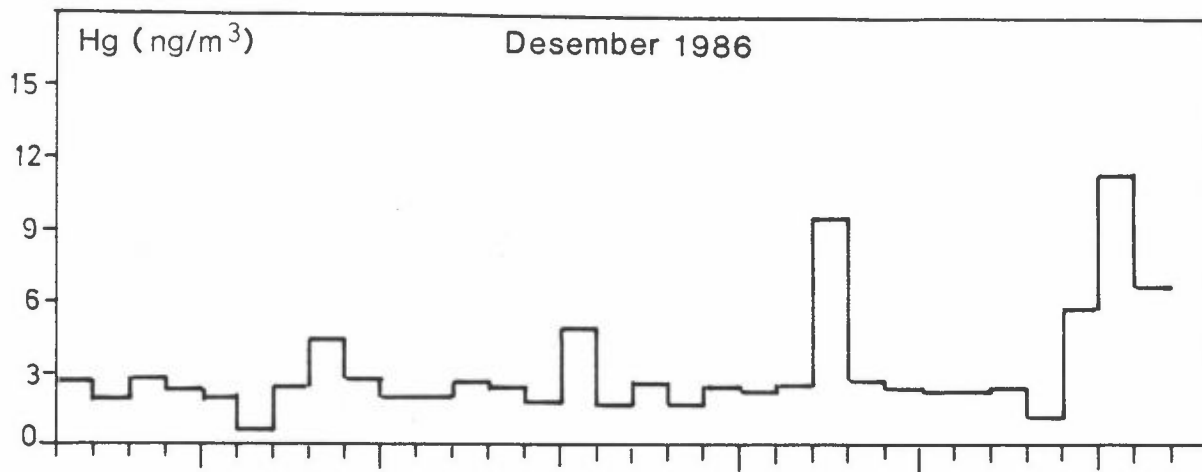


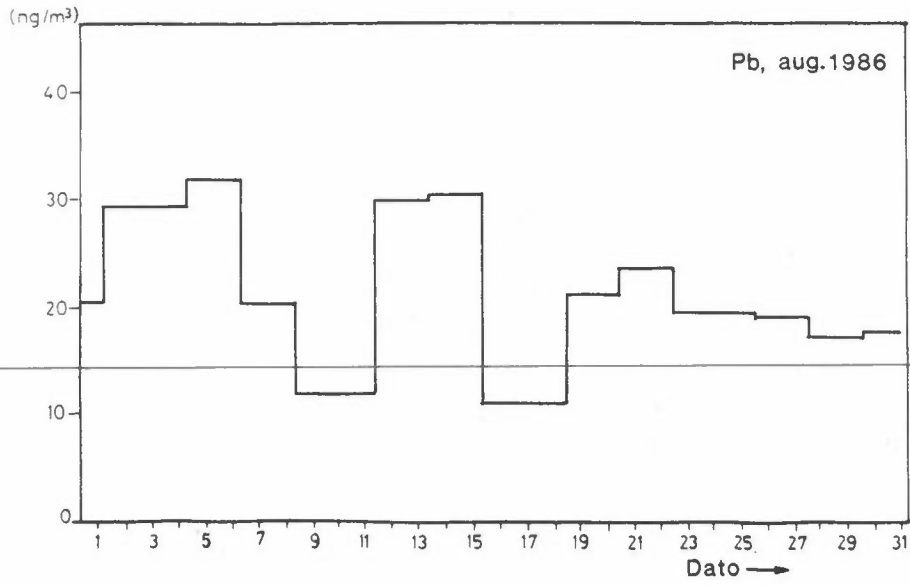
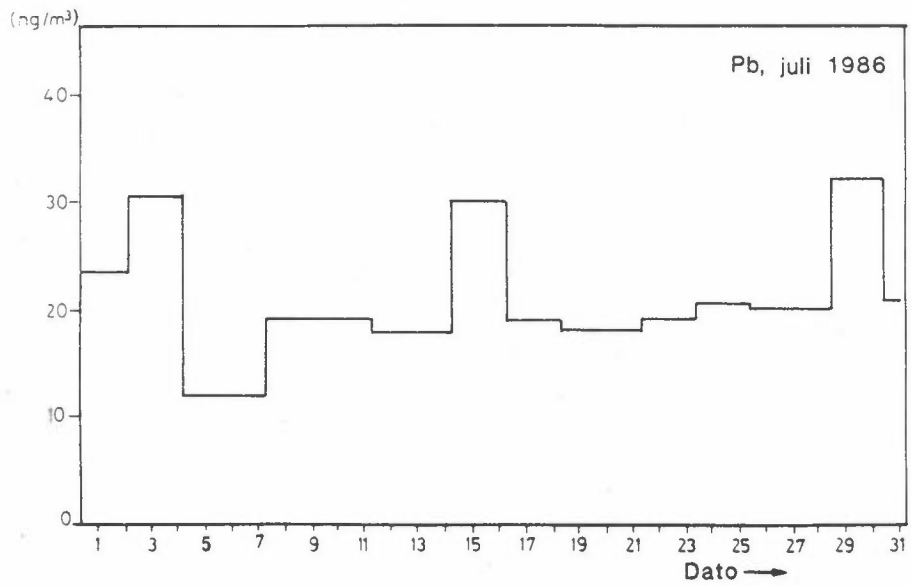
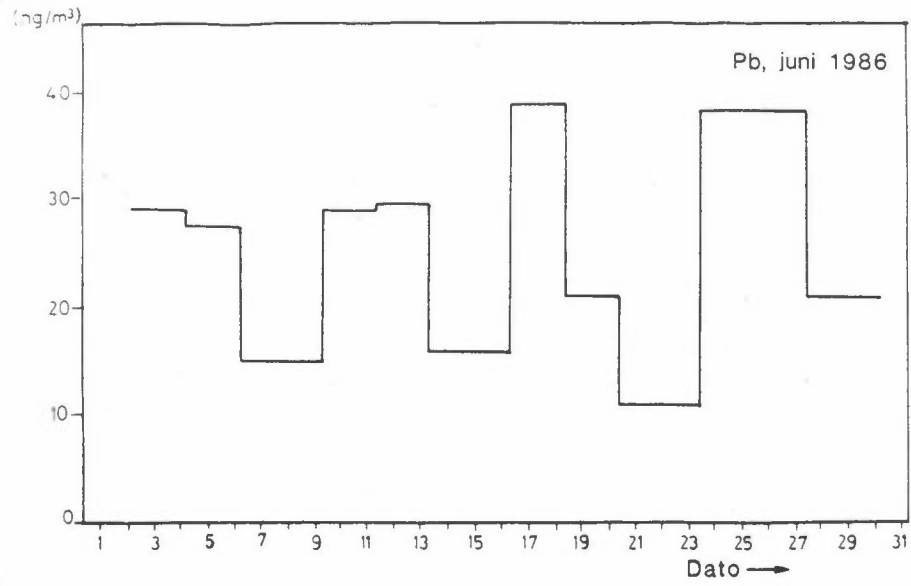
64

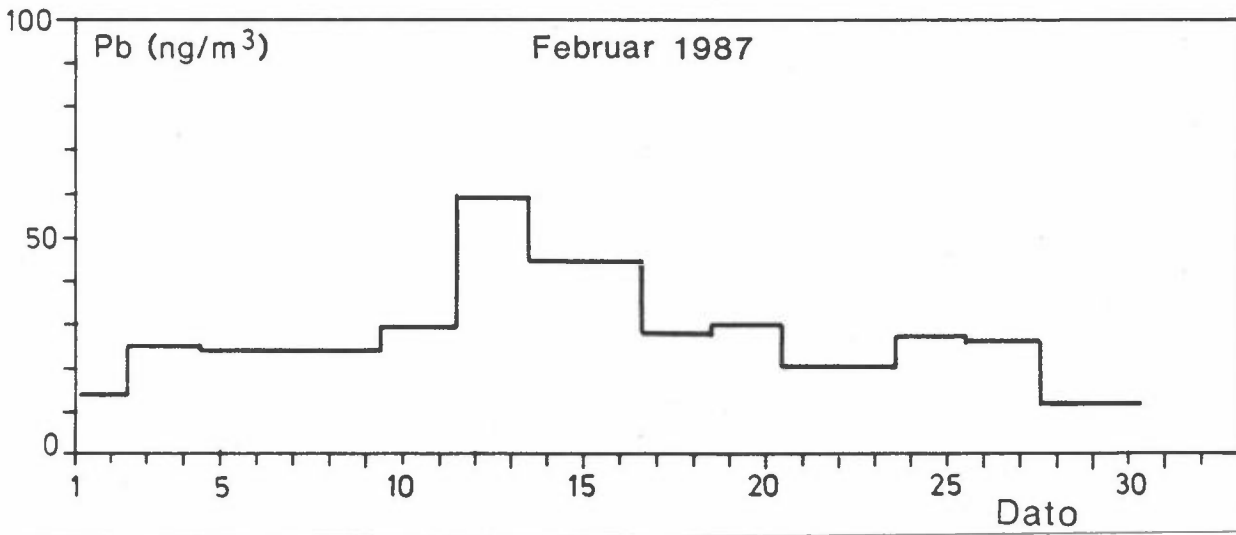
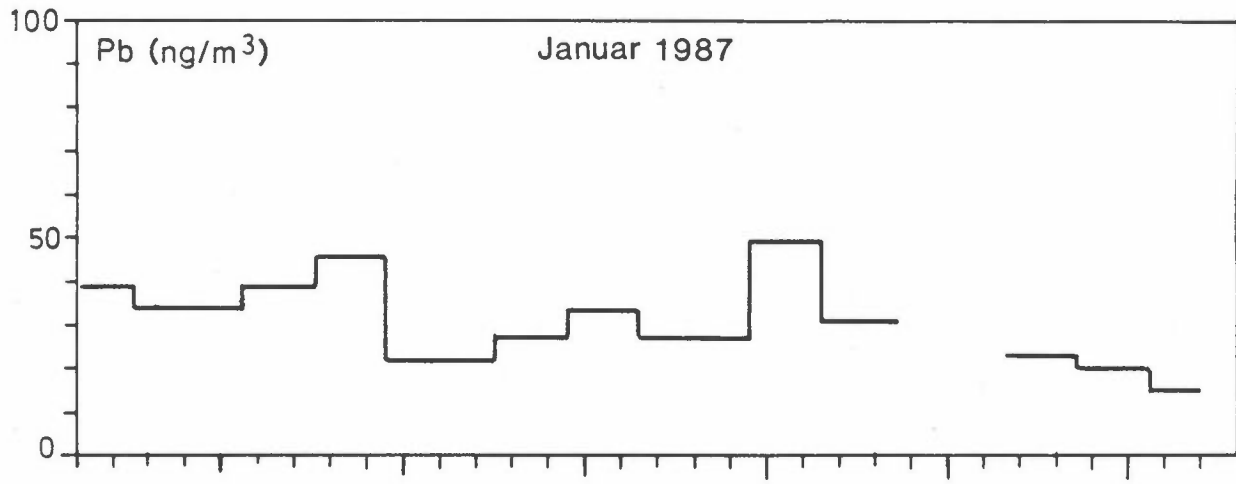
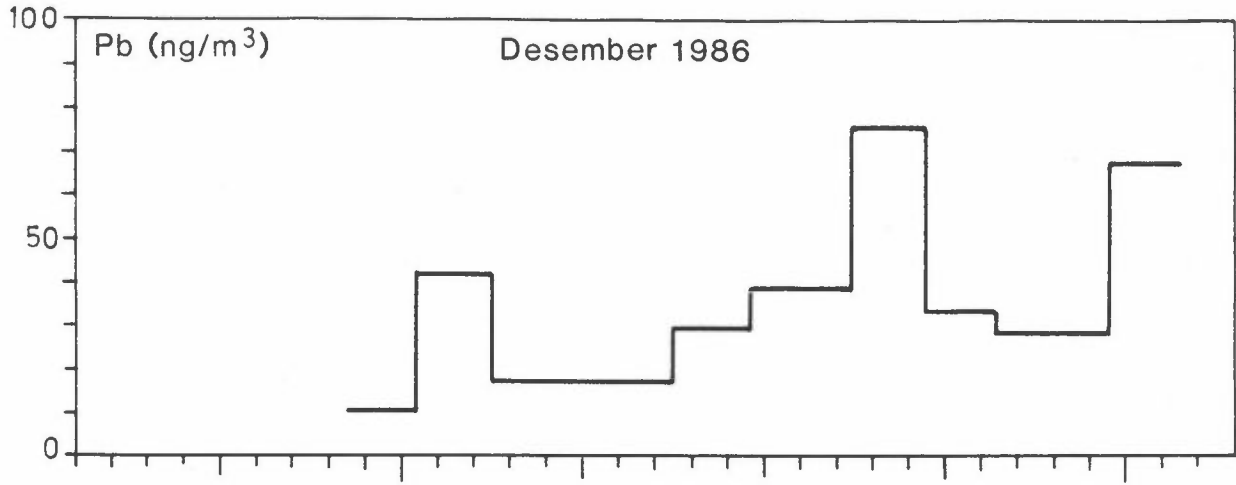


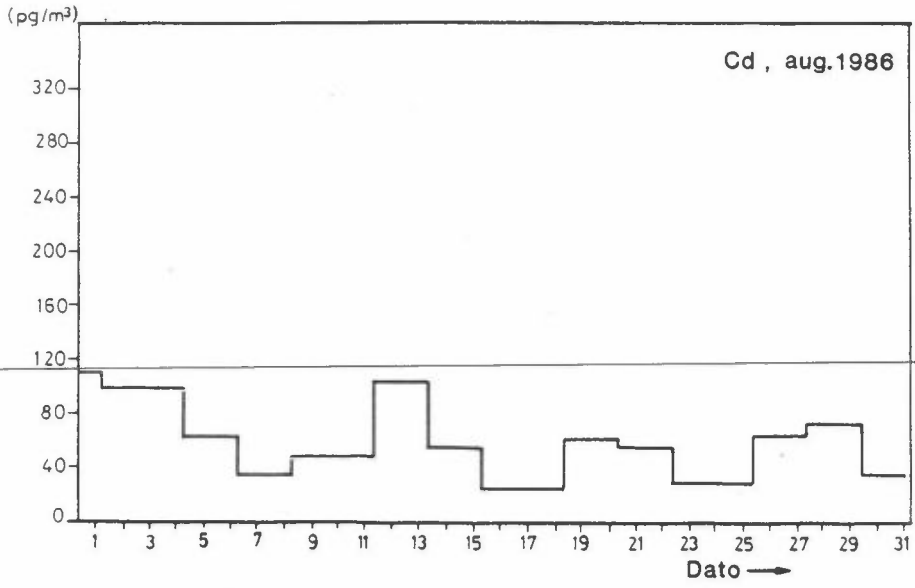
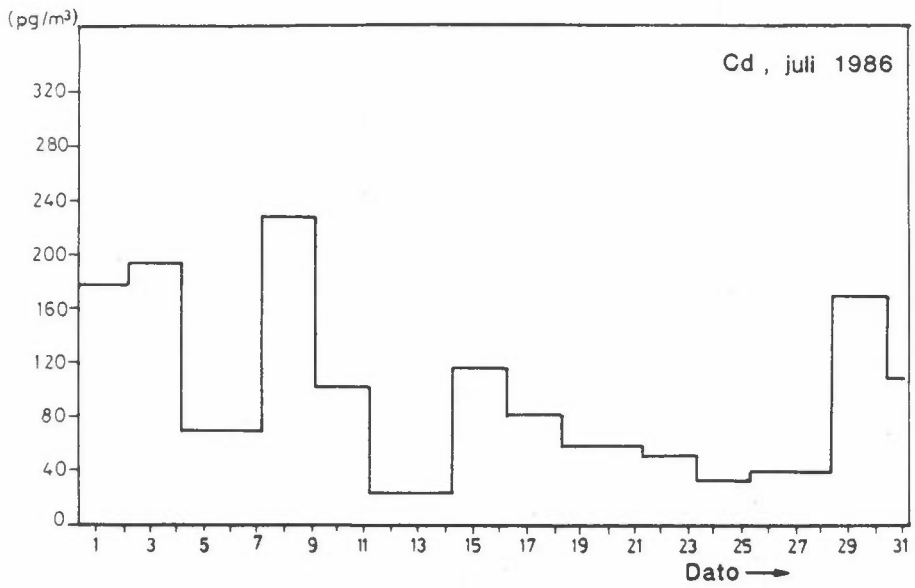
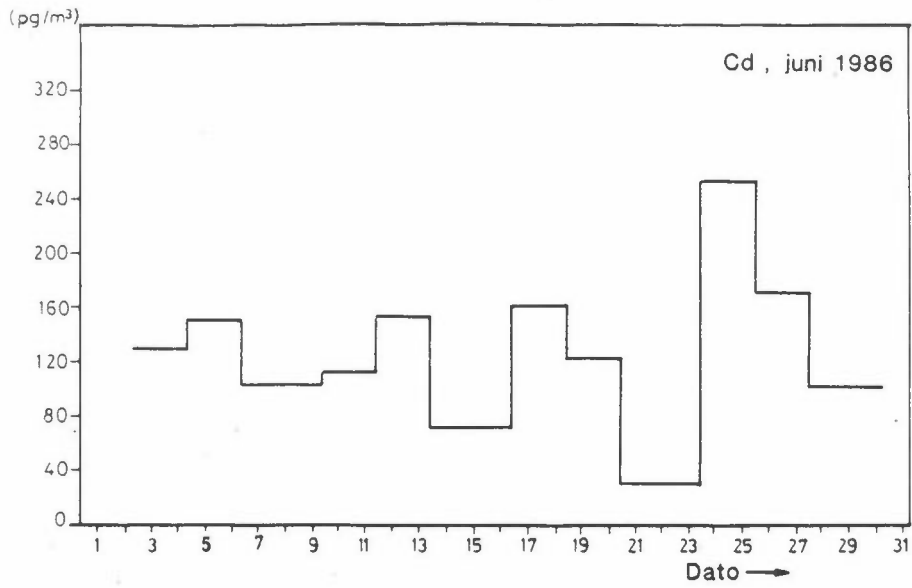


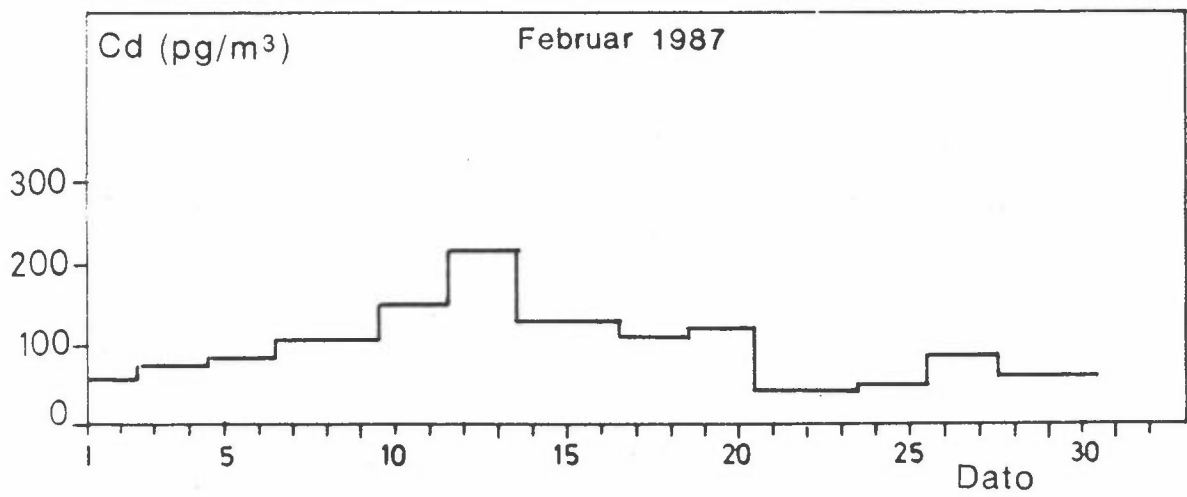
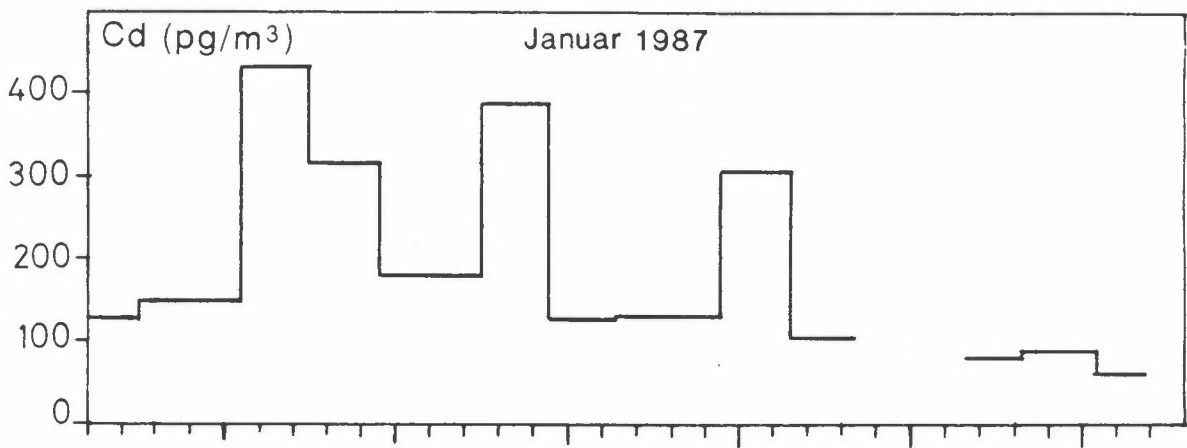
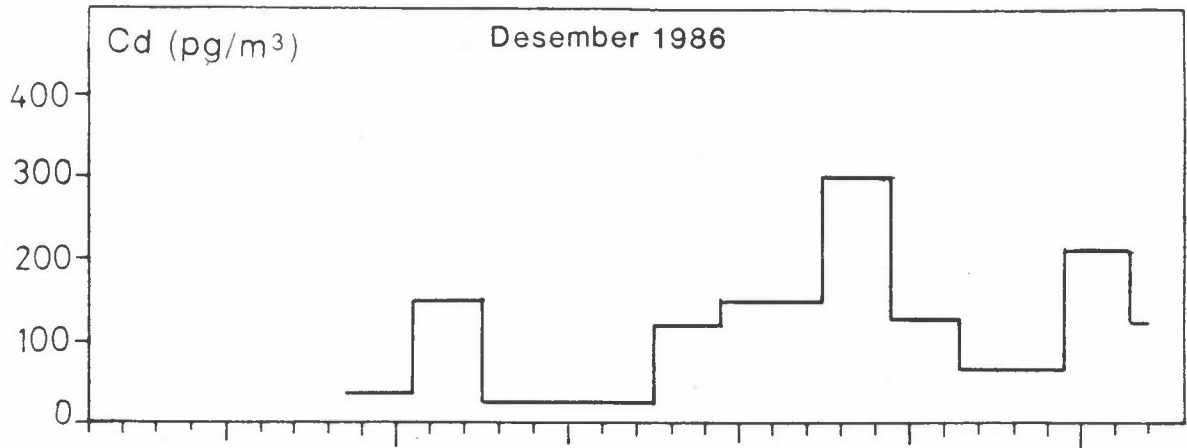
66

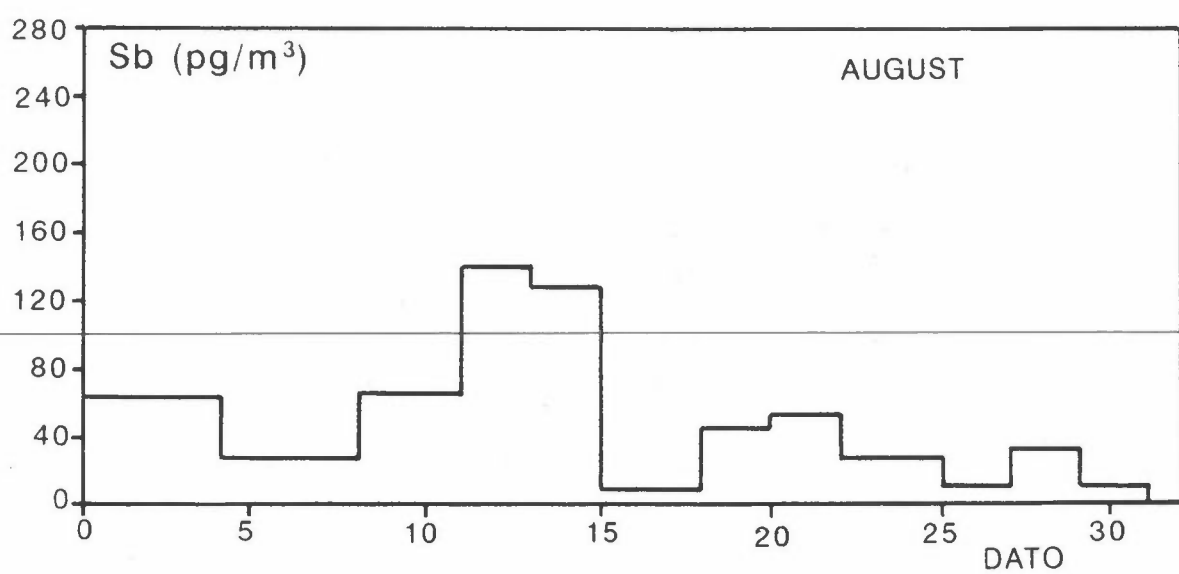
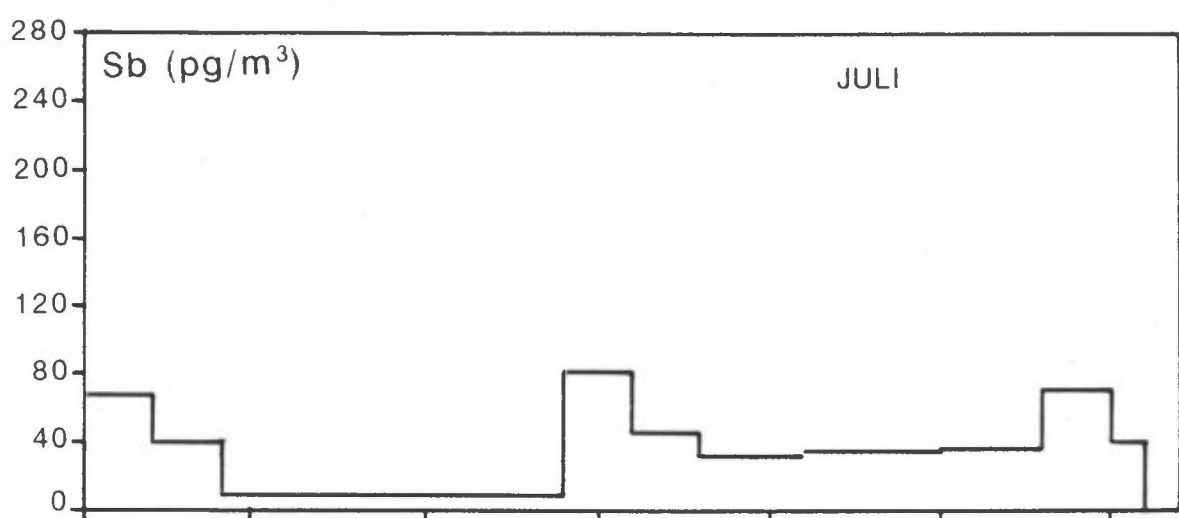
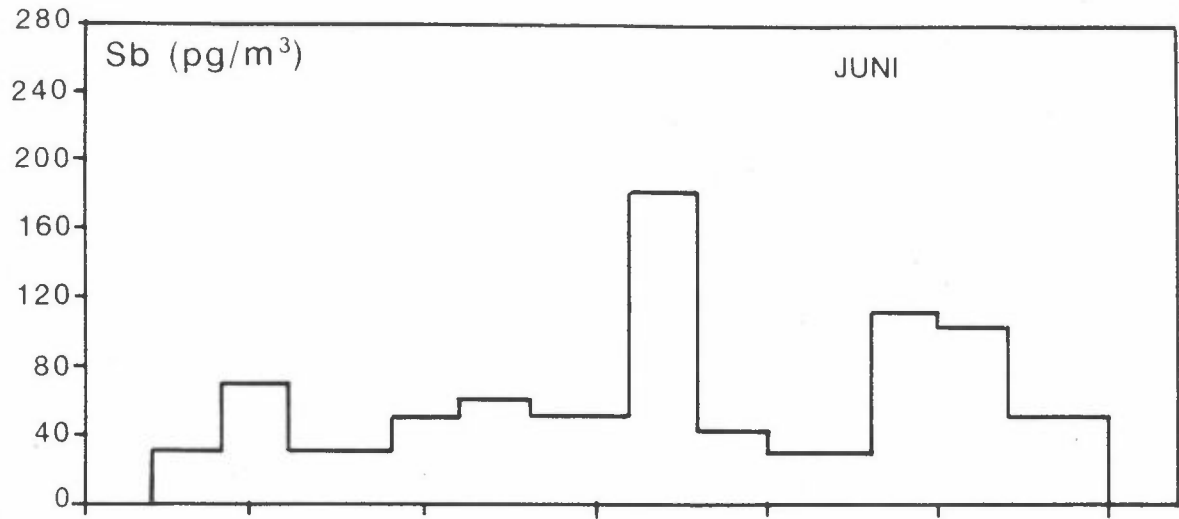




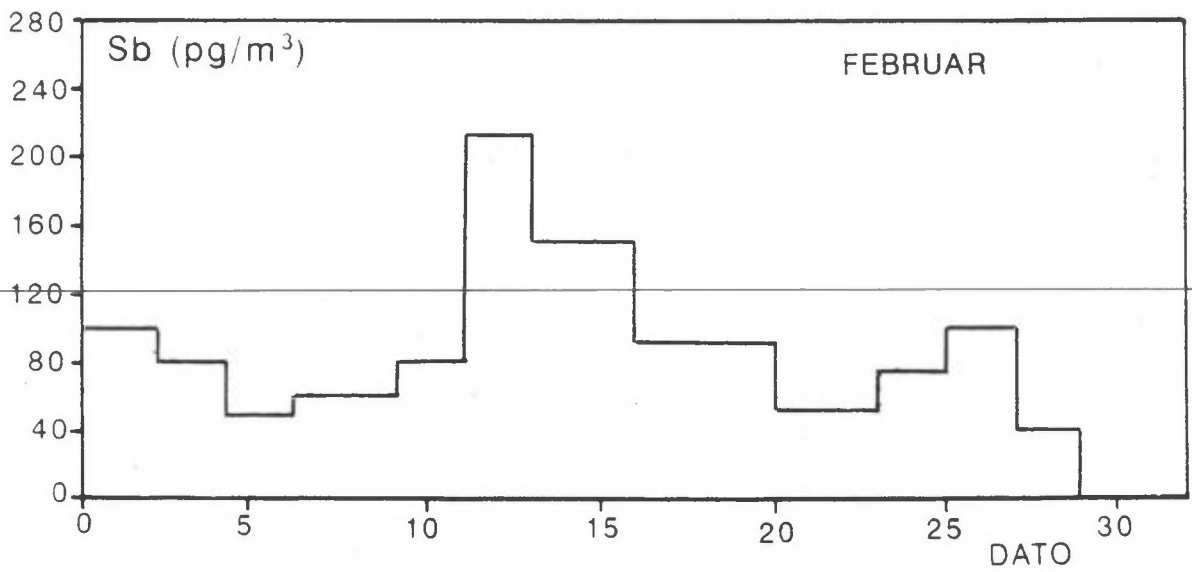
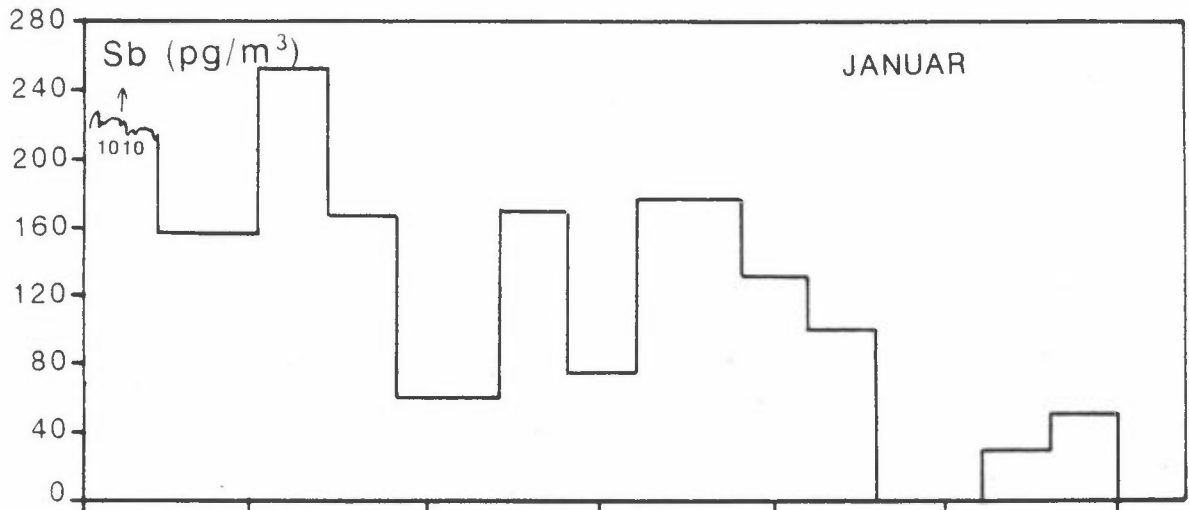
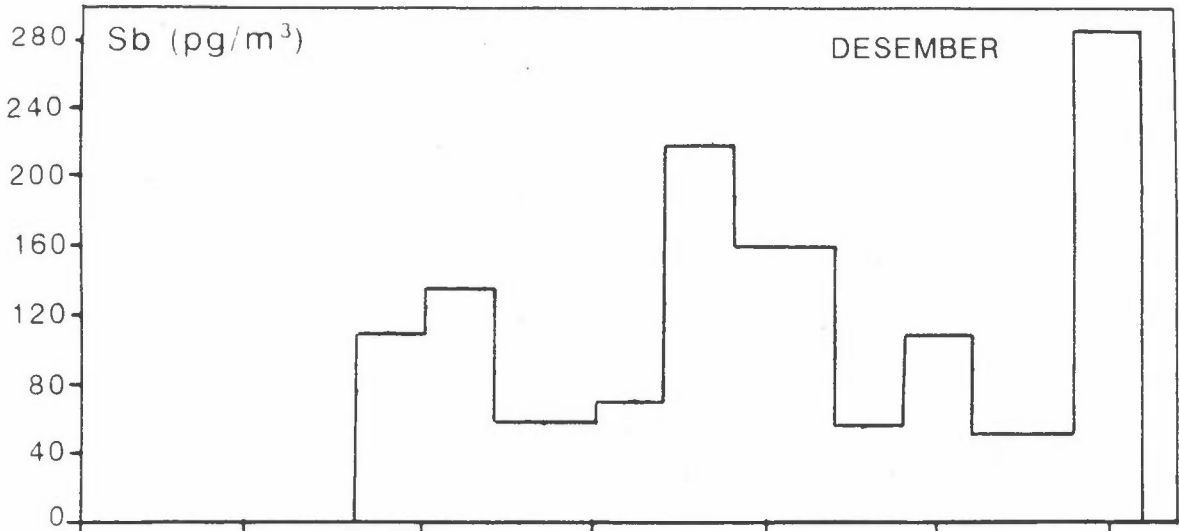








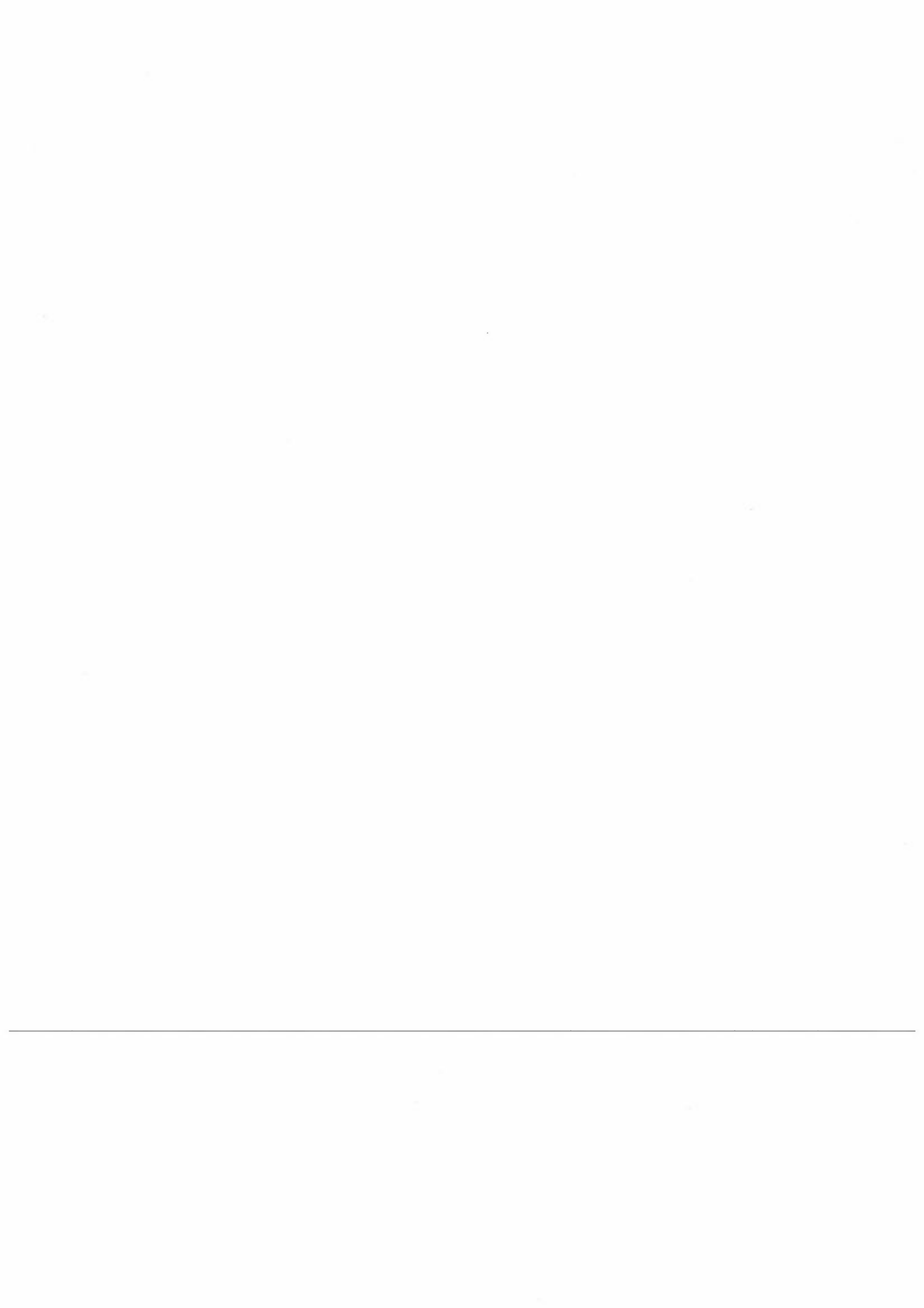




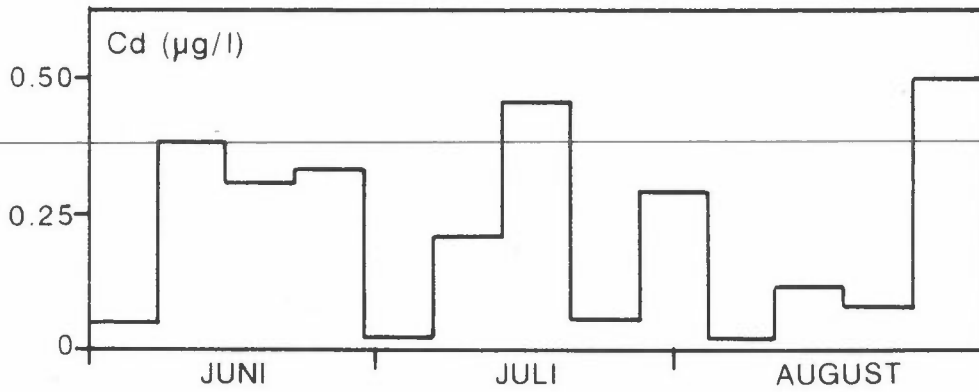
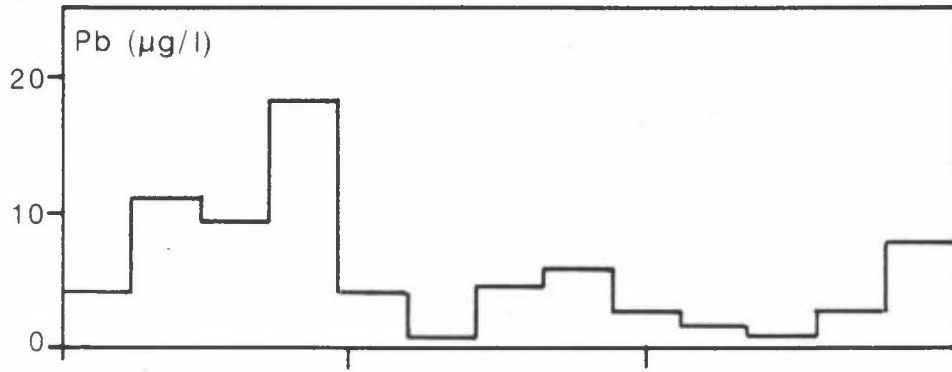
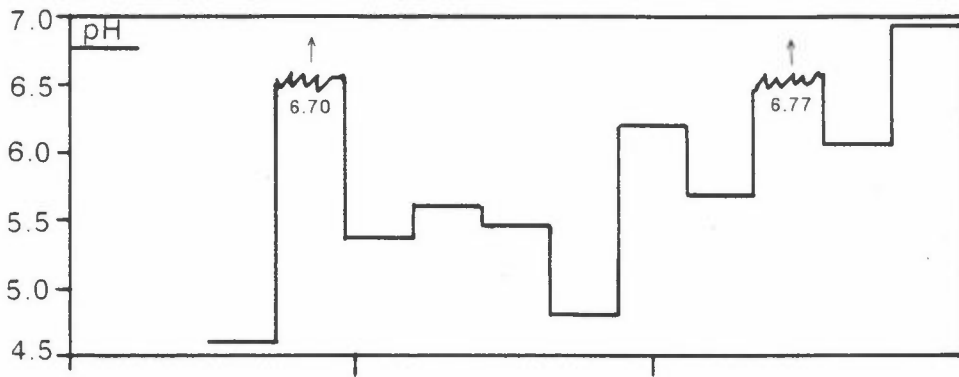
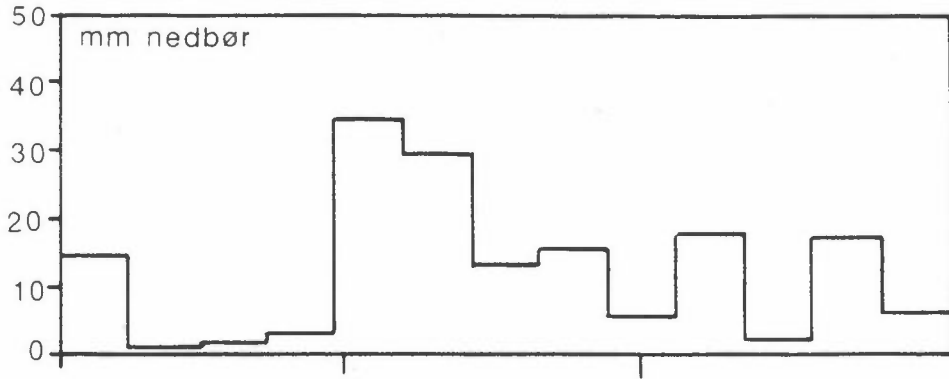
## VEDLEGG G

Grafisk presentasjon av nedbørdata.

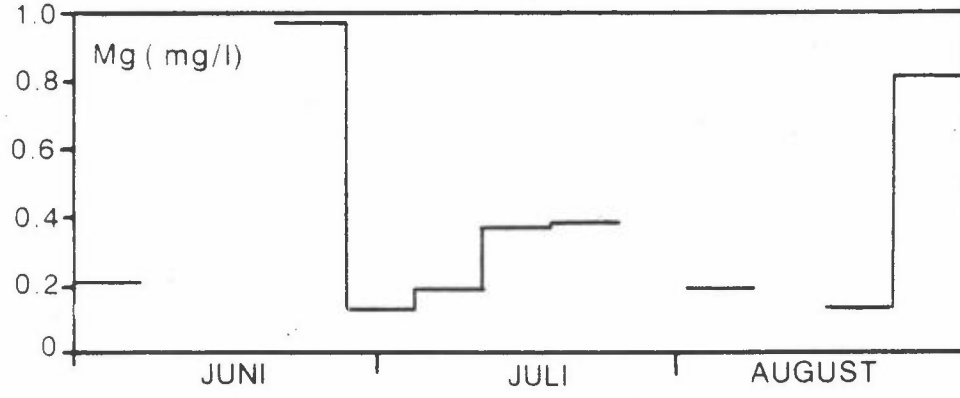
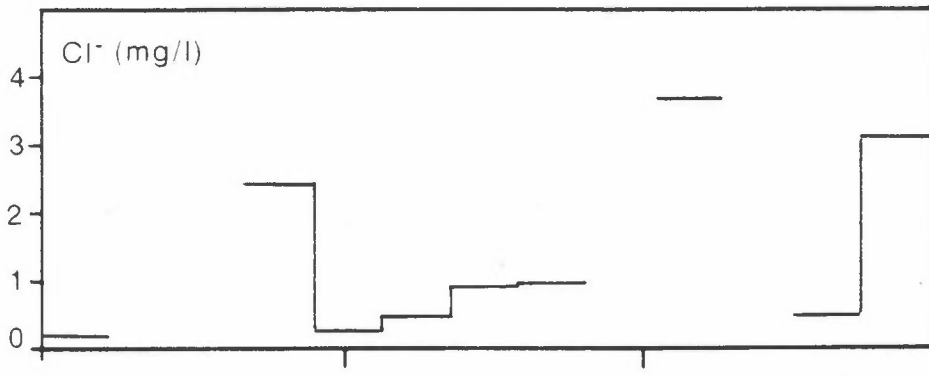
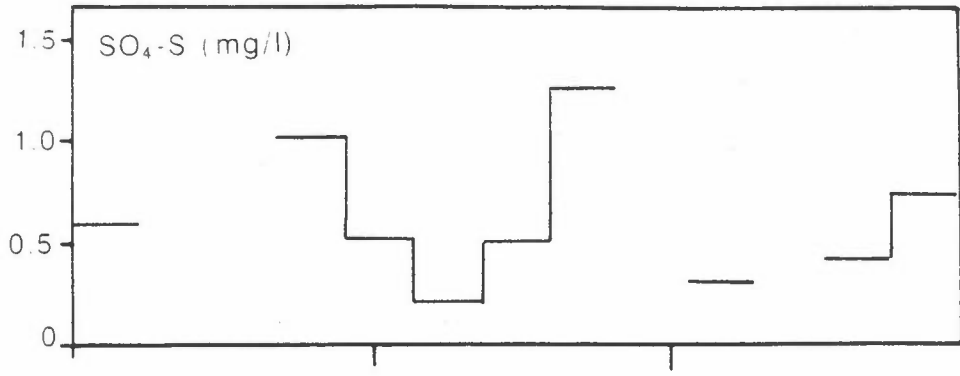
---



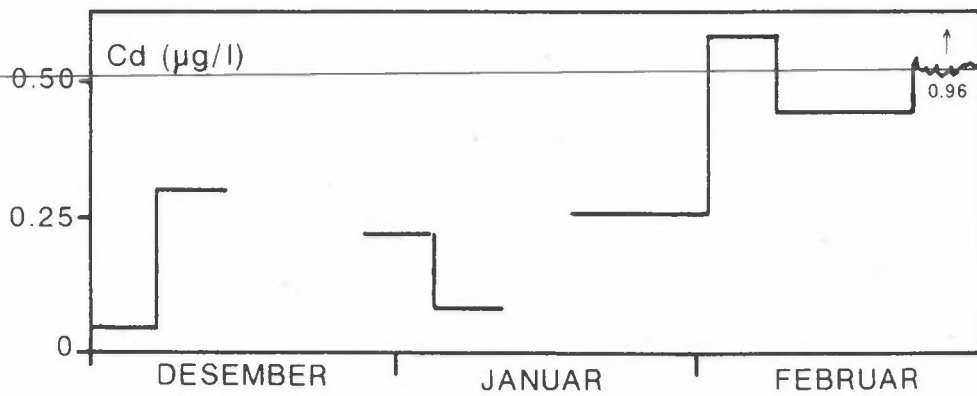
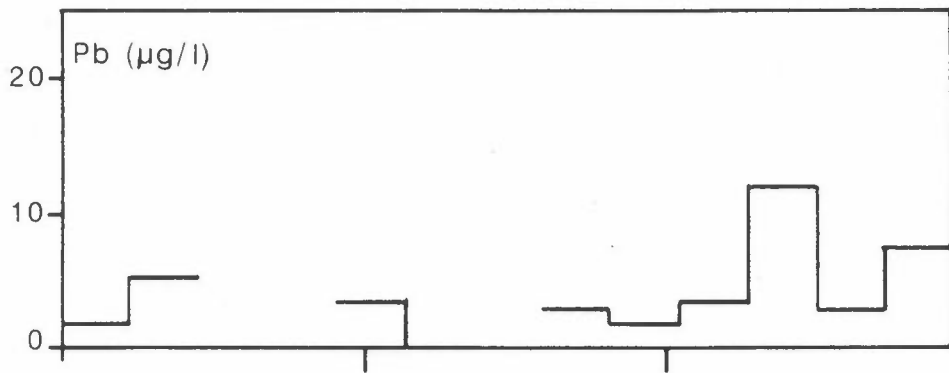
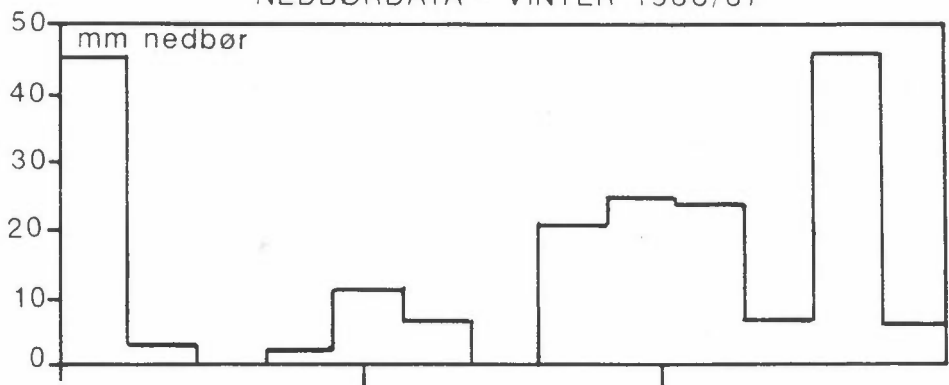
### NEDBØRSDATA - SOMMER 1986



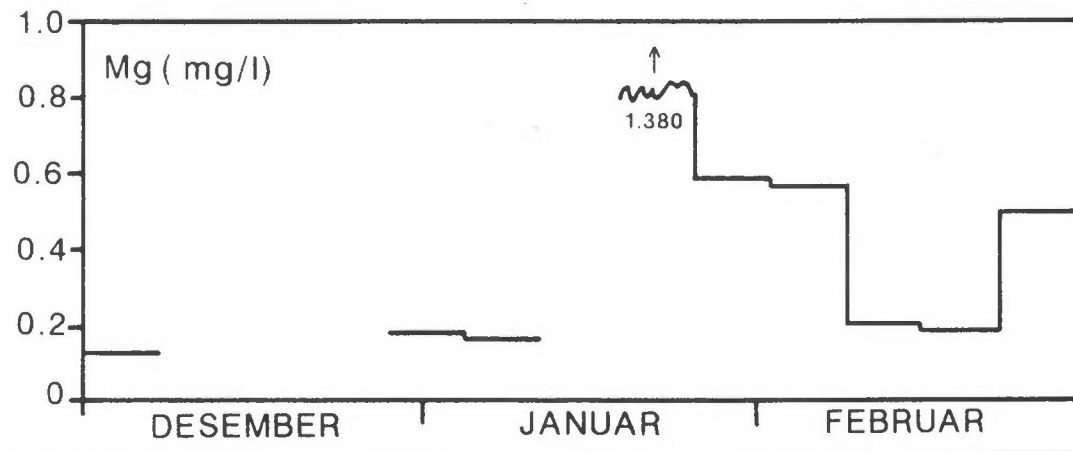
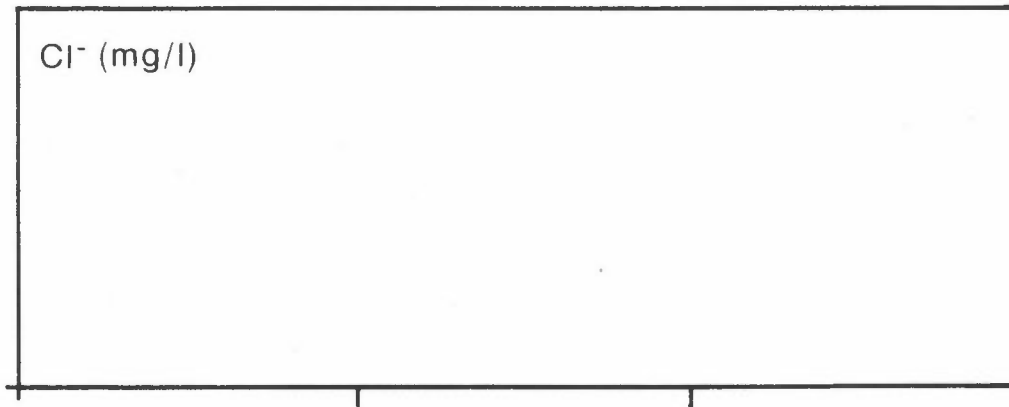
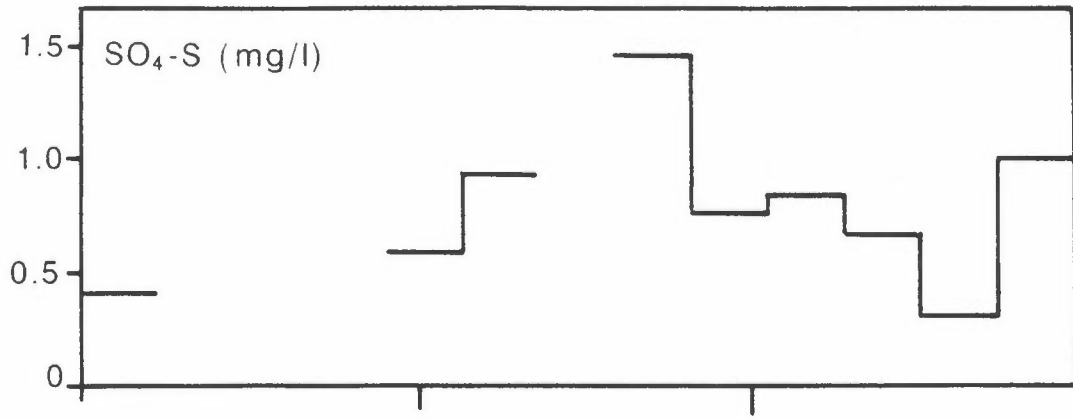
NEDBØRSDATA - SOMMER 1986



NEDBØRDATA - VINTER 1986/87



NEDBØRDATA - VINTER 1986/87

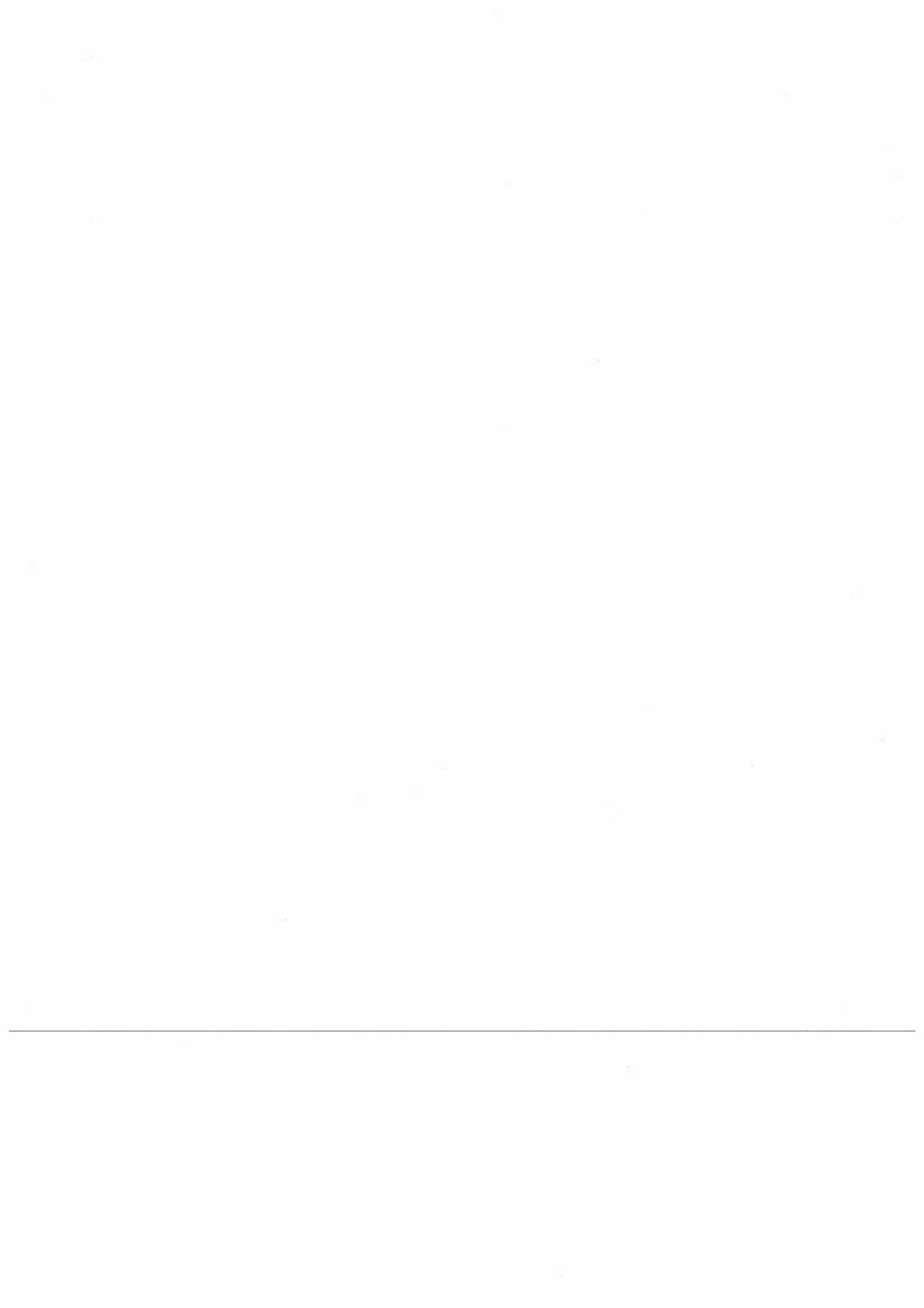


## VEDLEGG H

Statistisk bearbeidelse av måldata.

---





## H-1 HYPOTESETESTING AV MIDDELKONSENTRASJONER

Det ble utført en hypotesetest for å bestemme om forandringer i middelkonsentrasjoner mellom før- og etterundersøkelsen skyldes tilfeldige variasjoner eller en systematisk forandring.

Følgende hypotese ble testet:

$H_0: \mu_e = \mu_f$ , dvs. tilfeldig forskjell i middelkonsentrasjonene.

$H_1: \mu_e \neq \mu_f$ , dvs. systematisk forskjell i middelkonsentrasjonene.

Ved bruk av testoperatoren Z gitt i kapittel 5, brukes følgende testverdier:

5% signifikansnivå:  $H_0$  forkastes dersom  $|Z| > 1,96$

1% signifikansnivå:  $H_0$  forkastes dersom  $|Z| > 2,58$

Tabell H-1: Resultater av hypotesetesten beskrevet i avsnitt 5.1.

SOMMER 1986							
Stoff	$\bar{C}_{83/84}$	$\bar{C}_{86}$	St.avvik 83/84	St.avvik 86	Antall obs. 83/84	Antall obs. 86	Z
SO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0,64	1,04	0,448	0,634	13	37	-2,45
Hg ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	9,7	8,5	4,99	22,1	8	91	0,41
Pb ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	39,2	23	20,2	8,2	13	38	2,81
Cd ( $\text{pg}/\text{m}^3$ )	125,8	99	167,6	59,2	13	38	0,565
VINTER 1986/87							
Stoff	$\bar{C}_{83/84}$	$\bar{C}_{86}$	St.avvik 83/84	St.avvik 86	Antall obs. 83/84	Antall obs. 86	Z
SO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0,95	2,38	0,755	2,15	4	39	-2,80
Hg ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	8,4	5,59	2,13	2,64	16	90	6,34
Pb ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	22	31,5	12,6	14,4	5	35	-1,55
Cd ( $\text{pg}/\text{m}^3$ )	130	141	173	98	5	35	-0,139

## KONKLUSJON

Ut fra Z-verdiene ovenfor er det en signifikant økning nær 1%-nivå for middelerverdier av svoveldioksid i begge perioder i etterundersøkelsen.

For kvikksølv er det en nedgang i middelerverdi i begge perioder, men nedgangen er kun signifikant i vinterperioden.

For bly har konsentrasjonen gått ned om sommeren og opp om vinteren, men det er bare nedgangen om sommeren som er signifikant.

## H-2 FOREKOMST AV VIND FRA AVFALLSANLEGGET OG KONSENTRASJONER

Det er utført regresjonsanalyse av forekomst av vind fra anlegget og konsentrasjoner for de forskjellige stoffene. Resultatene av en 1. ordens tilpasning er gitt i tabell H-2 og figur av forekomst og konsentrasjoner er presentert i vedlegg G.

Tabell H-2: Regresjonsanalyse mellom forekomst av vind fra avfallsanlegget og konsentrasjoner.  
Kons. = a · forekomst + b, r = korrelasjonskoeffisient.

Stoff	SOMMER				VINTER			
	a	b	r	N	a	b	r	N
SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	0,006	0,908	0,134	36	-0,033	3,36	-0,407	29
Cd (pg/m <sup>3</sup> )	1,27	64,3	0,375	38	-0,97	179,0	-0,24	29
Pb <sub>1</sub> (ng/m <sup>3</sup> )	0,038	22,0	0,080	38	-0,013	31,4	-0,024	29
Hg <sub>2</sub> "	-0,397	11,3	-0,095	91	0,015	3,63	0,184	77
Hg <sub>3</sub> "	0,013	3,72	0,037	78	-	-	-	-
HCl (µg/m <sup>3</sup> )	0,008	0,051	0,51	13	0,0014	0,13	0,26	12
Sb (pg/m <sup>3</sup> )	-0,018	56,6	-0,08	38	0,64	148,0	0,161	29

1) Alle Hg-målinger inkludert.

2) Kun Hg-målinger mindre enn 10 ng/m<sup>3</sup> inkludert.

3) HCl-målinger for perioden 2/6-2/7-86.

### H-3 HYPOTESETESTING AV KORRELASJONSKOEFFISIENT $r$ FOR FOREKOMST AV VIND FRA ANLEGGET OG KONSENTRASJONER

Tilsvarende hypotesetest som beskrevet i avsnitt 5 ble brukt for å teste om korrelasjonen mellom forekomst av vind fra avfallsanlegget og konsentrasjoner var signifikant.

Hypotesetest:

$H_0$ :  $r = 0$ , ingen korrelasjon.

$H_1$ :  $r \neq 0$ , signifikant korrelasjon på 5%-nivå.

Testoperatoren:

$$t = r(N-2)^{1/2} / (1-r^2)^{1/2}$$

er studert med  $N-2$  frihetsgrader, hvor  $t$  beregnes ut fra verdiene av  $r$  og  $N$  gitt i tabell F-2.

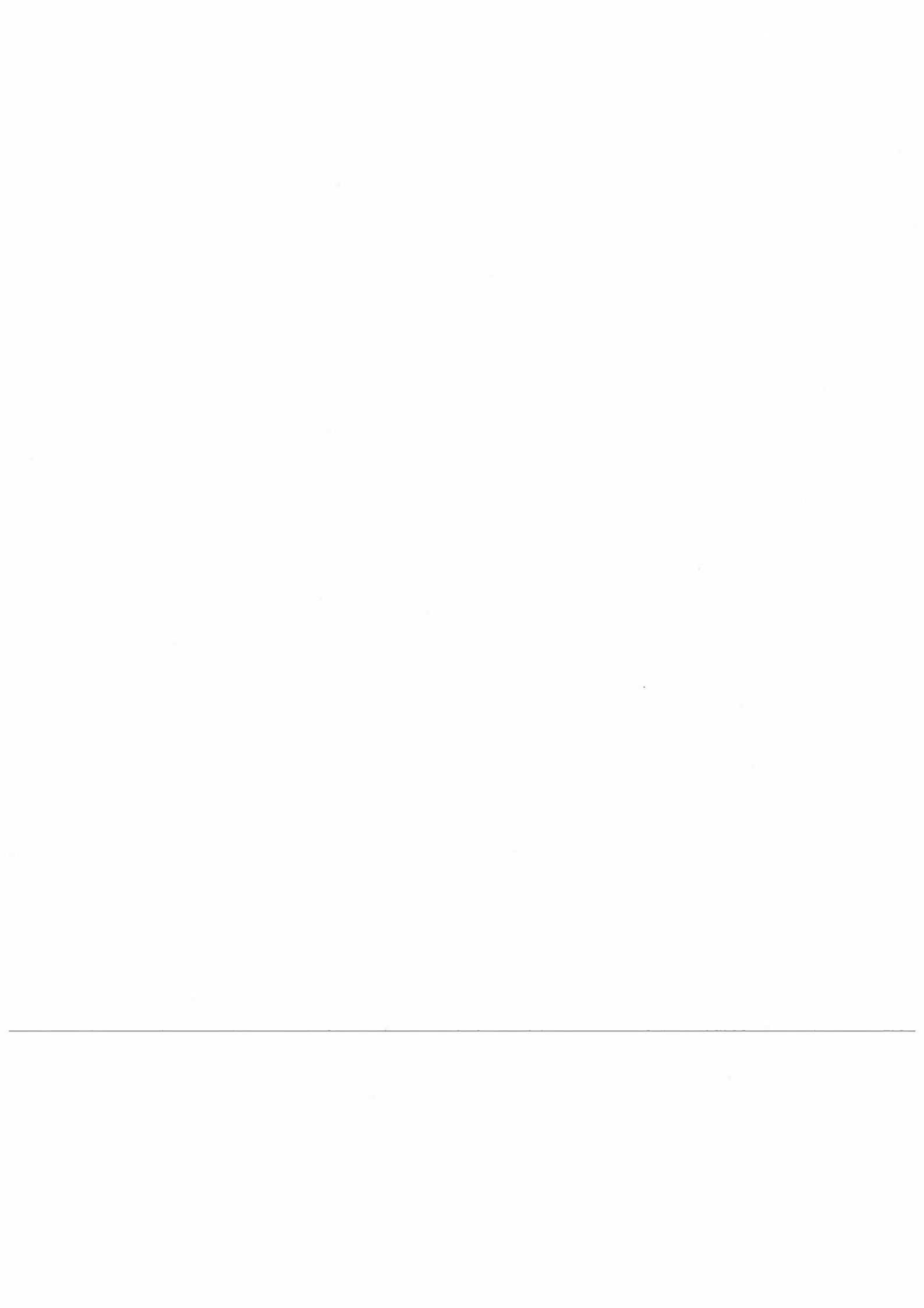
Tabell H-3: Verdier av testoperatoren  $t$  for korrelasjon mellom forekomst av vind fra anlegget og konsentrasjoner.

Stoff	SOMMER				VINTER			
	$r$	$N$	$t$	$t$ (5%)	$r$	$N$	$t$	$t$ (5%)
$SO_2$ -S ( $\mu g/m^3$ )	0,134	36	0,788	2,03	-0,407	29	2,21	2,05
Cd ( $pg/m^3$ )	0,375	38	2,43	2,03	-0,24	29	1,28	2,05
Pb ( $ng/m^3$ )	0,080	38	0,482	2,03	-0,024	29	-0,122	2,05
Hg <sub>1</sub>	"	91	-0,90	1,99	0,184	77	1,62	1,97
Hg <sub>2</sub>	"	75	0,325	1,99	-	-	-	-

1) Alle Hg-målinger inkludert.

2) Kun Hg-målinger mindre enn 10  $ng/m^3$  inkludert.

$H_0$  forkastes dersom  $|t| > t$  (2,5%), dvs. at svoveldioksid har en signifikant korrelasjon av vinteren som er negativ, dvs. konsentrasjonen avtar med økt forekomst av vind fra anlegget. Dessuten har kadmium en signifikant positiv korrelasjon med økt forekomst av vind om sommeren.



## VEDLEGG I

Grafisk presentasjon av regresjonsanalysen  
mellom vind og konsentrasjoner.

---

