

NILU
OPPDRAGSRAPPORT NR 15/79
REFERANSE: 26078
DATO: JUNI 1980

MÅLING AV FORURENSNINGSDIS PÅ ÅS
I GRENLAND, VINTEREN 1978/79
AV
STEINAR LARSEN

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM
NORGE

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
SAMMENDRAG OG KONKLUSJON	5
1 INNLEDNING.....	9
2 SIKTREDUKSJON PÅ GRUNN AV DIS - OBSERVASJON OG MÅLING AV SYNSVIDDE	10
2.1 Kort om partiklers spredning av lys	10
2.2 Observasjon og måling av synsvidde	11
2.3 Sammenheng lysspredning - partikkelvekt og sammensetning	14
2.4 Luftfuktighetens innflytelse på synsvidden	15
3 DISMÅLINGER PÅ ÅS, NOVEMBER 1978 - JANUAR 1979	17
3.1 Målemetodikk for b_{sp}	18
3.2 Resultater	19
3.3 Lysspredning og relativ fuktighet	23
3.4 Observasjoner av synsvidde sammenlignet med b_{sp} - målinger	27
4 DISPARTIKLENE KJEMISKE SAMMENSETNING OG RELASJON TIL b_{sp}	28
4.1 Prøvetaking og analyse av partikler	30
4.2 Resultater	31
4.3 Ionebalanse	34
4.4 Sammenhengen mellom lysspredningen og partikkel- forurensningen	37
4.5 Totalanalyse av partikkelmassen	43
4.6 Disepisoder den 18. desember 1978	45
5 BETYDNINGEN AV FORURENSNINGER TRANSPORTERT INN I GREN- LANDSOMRÅDET	47
6 FORSLAG TIL VIDERE UNDERSØKELSER	51
7 REFERANSER	55
VEDLEGG: Datatabeller	57

SAMMENDRAG OG KONKLUSJON

På oppdrag fra Statens forurensningstilsyn er det gjennomført et forprosjekt for å klarlegge omfang av og årsaker til dannelsen av dis i Grenland. Forprosjektet omfatter en vurdering av disdannelsen på Ås i Grenland basert på samtidige målinger av synsvidden og dispartiklenes kjemiske sammensetning. Målingene ble utført på Ås, Heistad i perioden 23. november 1978 - 5. januar 1979.

Under denne perioden skjedde dannelsen av dis på Ås, registrert med siktmåler (nefelometer), alltid ved vind i retning fra Herøya-Porsgrunn mot Ås, bortsett fra et tilfelle den 18. desember, kl 15-17, da vindretningen var vestlig. Mye tyder på at det da var industridis fra Herøya som kom tilbake til Ås fra vest etter en runde i området lenger sør. Utslipp fra kilder sør for Ås kan også ha gitt et visst tilskudd til disen i dette tilfellet.

Synsvidden på Ås varierte fra mange titalls kilometer når det ikke var dis i området, ned til ca 300 meter under de tetteste disperioder. Unntatt er tåkesituasjoner da den observerte synsvidden kunne gå ned mot ca 100 meter.

Siktmåleren målte synsvidden (egentlig partiklenes spredningskoeffisient, b_{sp}) ved en relativ fuktighet lavere enn ca 70%. Dette skjedde ved at måleluften fikk en oppvarming på vei utenfra og inn til det optiske kammeret i instrumentet. Derved mistet hygroskopiske partikler mye av sitt vanninnhold på vei utenfra og inn til instrumentet. Den spredningskoeffisient som instrumentet målte tilsvarende derfor en synsvidde som er lengre enn den som observeres utendørs, når relativ fuktighet ute er høyere enn ca 70%. Det er en teoretisk sammenheng mellom synsvidde og partiklenes spredningskoeffisient, b_{sp} . Når relativ fuktighet ute gikk ned mot 70%, var samtidige observasjoner av synsvidde og målinger av b_{sp} i god overensstemmelse med den teoretiske sammenheng. Ved høyere relativ fuktighet var observert synsvidde

alltid lavere enn den b_{sp} -målingen tilsvarte. Forskjellen økte ved økende relativ fuktighet, fordi hygroskopiske partikler opp- tar vesentlige vannmengder når relativ fuktighet blir større enn ca 70%.

De følgende tre avsnitt gjelder disforholdene på Ås under vinter- forhold:

Dispartiklene ble analysert på de vannløselige ioner sulfat, ammonium, klorid, nitrat, kalsium, magnesium og natrium. I disen var sulfat hovedkomponenten vektmessig, med i middel ca 25% av vekten av små og store partikler. Ammonium og klorid utgjorde hver i underkant av 10% av vekten av små partikler. De øvrige vannløselige ioner ga bare små tilskudd til samlet partikkelvekt. Organiske komponenter ble analysert på to prøver, og utgjorde i disse ca 20% av samlet vekt av små partikler. Analysene av vannløselige og organiske komponenter gjorde rede for i middel ca 70% av samlet partikkelvekt. Samlet partikkelvekt ble funnet ved veiing etter kondisjonering av filtrene i ca 45% relativ fuktighet. Vanninnholdet i partiklene, slik de eksisterer i luften, blir ikke bestemt ved denne metoden.

I vannuttrekket fra partikkelprøvene var det et underskudd på positive ioner på i middel ca 50% av mengden positive ioner funnet. Det er trolig at denne ubalanse skyldes at klorid, natrium og pH ble analysert fra andre filterprøver enn de øvrige komponentene.

En beregning av bidraget til siktnedsettelsen fra ioner av sulfat, klorid og nitrat, når de er regnet som ammoniumsalter, viste at sulfationer i middel ga det største bidraget, ca 30% større enn kloridbidraget. Bidraget fra nitrat var lite. Ammoniumsalter av sulfat, klorid og nitrat bidro under disperioder trolig med minst 70-80% av siktnedsettelsen, slik den observeres ute, når relativ fuktighet var større enn ca 70%.

Luftens relative fuktighet påvirker disdannelsen ved at partiklenes vanninnhold øker med økende relativ fuktighet, og ved at hastigheten på gass-partikkelfase-reaksjonen i røykfanen øker med økende relativ fuktighet. Vannopptaket vil være sterkt avhengig av partiklenes hygroskopiske egenskaper, og derved av hvilke stoffer partiklene består av.

Målingene under dette forprosjektet har vist at klorid om vinteren er en nær like viktig disfaktor i Grenland som sulfat. Utslippene av klor, svoveldioksyd og ammoniakk har endret seg en del i forhold til hverandre fra 1972 til 1978. For å vurdere disutviklingen over tid må en se på samtidige målinger av sulfat, klorid og ammonium. Kloridmålinger foreligger i liten grad. Ammoniummålinger foreligger på Ås for noen år. En nærmere analyse av dette materialet i sammenheng med utslipps-tallene er nødvendig for å anslå hvilke utslippskomponenter som eventuelt er begrensende. Detaljerte målinger i disepisoder om sommeren er av betydning for denne vurderingen.

Betydningen av langtransporterte forurensninger for disdannelsen i Grenland er vurdert på basis av sulfatmålinger ved bakgrunnsstasjoner i Sør-Norge. Det er et betydelig antall døgn hvert år med forhøyd sulfat-nivå på Ås som hovedsakelig skyldes langtransporterte forurensninger. I middel for perioden 1973-78 var det ca 20 slike døgn i vinterhalvåret og ca 15 døgn i sommerhalvåret. Slike episoder varer ofte det meste av døgnet, og gir oftest en siktnedsettelse som er relativt ubetydelig i forhold til typiske lokale disepisoder. Langtransportert dis kan i ekstreme tilfeller ha et sulfatinnhold større enn $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. I fuktig luft (>80%) kan dette gi en synsvidde ned mot 6-8 km.

Metodedelen av forprosjektet ga følgende erfaringer:

- Sikt-måleinstrumentet (integrerende nefelometer) fungerte tilfredsstillende og ga rimelige verdier for lysspredningen målt ved <70% relativ fuktighet. Det ville vært en fordel om instrumentet også kunne ha registrert lysspredningen ved den

aktuelle fuktighet ute. En var imidlertid tilbakeholden overfor å montere instrumentet utendørs under vinterforhold. Under sommerforhold er det mulig og ønskelig å gjøre dette.

- Det var ugunstig at ikke alle ioner, samt pH, kunne bestemmes fra filtre tatt med samme type prøvetaker. I dette prosjektet ble klorid, Na og pH bestemt i vannuttrekket fra teflonfiltre fra EK-prøvetaker, mens de øvrige ble bestemt på glassfiberfiltre fra Sierra-prøvetaker. Dette må man ta spesielt hensyn til i planleggingen av videre undersøkelser.
- Filtrene for veiing må kondisjoneres i tørr luft, for å ha kontroll med fuktighetsinnholdet i partikkelprøven.
- Ikke-balanse i ionesummen, når ulike ioner ble analysert i prøver fra to ulike prøvetakere, gjør det nødvendig å vurdere i hvilken grad det kan skje gass-partikkel-fase-reaksjoner på filtrene fra de to prøvetakerne under prøvetaking og lagring.

Det foreslås å utføre tilsvarende målinger av disen i Grenland under sommerforhold, fortrinnsvis ved et målested nord for Herøya. Målingene utføres på en måte som tar hensyn til erfaringene fra måleprogrammet beskrevet i denne rapporten.

MÅLING AV FORURENSNINGSDIS PÅ ÅS I GRENLAND
VINTEREN 1978/79

1 INNLEDNING

På oppdrag fra Statens forurensningstilsyn, Kontrollseksjonen for industriforurensninger i nedre Telemark (KS) har Norsk institutt for luftforskning (NILU) gjennomført et forprosjekt vedrørende dannelsen av forurensningsdis i Grenland-området i nedre Telemark.

Hensikten med forprosjektet var å vurdere disdannelsen på bakgrunn av de målinger av konsentrasjonen av kjemiske komponenter på partikler som foreligger fra området. Forprosjektet omfatter også en måleserie av en disparameter (lys- spredningskoeffisient) og partiklenes kjemiske sammensetning ved stasjonen Ås i november-desember 1978. Hensikten med måleserien var:

1. utprøving av instrument (integrerende nefelometer) for direkte måling av dis i Grenland
2. å foreta en så fullstendig analyse som mulig av partiklenes kjemiske sammensetning, for å gjøre rede for en så stor del som mulig av partikkelmassen.

Forprosjektet skulle munne ut i et forslag til videre undersøkelser med sikte på å knytte sammenhengen mellom utslipp i området og disdannelsen.

2 SIKTREDUKSJON PÅ GRUNN AV DIS - OBSERVASJON OG MÅLING AV SYNSVIDDE

2.1 Kort om partiklers spredning av lys

Siktreduksjon i atmosfæren skyldes at lys absorberes og spres av stoffer i atmosfæren. I ren, tørr luft vil synsvidden horisontalt være begrenset av lysspredningen av luftas gassmolekyler, til ca 350 km i dagslys i luft med normalt ozoninnhold.

Luftas innhold av andre stoffer, spesielt vanndamp og partikler reduserer ofte siktbarheten betydelig i forhold til ren, tørr luft.

Spredning og absorpsjon av lys gir sammen et tap (ekstinksjon) av lys i retningen langs lysbanen. Lysgjennomgangen gjennom atmosfæren er gitt ved Bouguer's lov (også kalt Beer-Lambert's lov):

$$I/I_0 = e^{-b_{\text{ext}} \cdot x} \quad (1)$$

hvor I og I_0 er lysintensitetene i en avstand x fra hverandre langs lysbanen. b_{ext} kalles ekstinksjonskoeffisienten.

I en forurenset atmosfære vil partiklene spre det lyset som treffer dem. Lysspredningen er en funksjon av:

- partiklenes diameter
- partiklenes refraksjonsindex
- partiklenes form

Partiklene vil også absorbere noe lys. Absorpsjonen er i regelen av vesentlig mindre betydning enn spredningen, med mindre en snakker om sorte partikler (f.eks. kullpartikler) av størrelser mindre enn 0.5-1 μm .

Ved hjelp av elektromagnetisk teori kan lys-spredningen fra en sfærisk partikkel med kjent størrelse og refraksjonsindex beregnes. Denne lys-spredningen varierer med vinkelen mellom lysbanen og siktbanen.

I en forurenset atmosfære vil partiklenes diametre være fordelt over et stort spekter, fra noen hundredels μm til flere ti-talls μm . Den samlede lys-spredning som en kjent partikkelpopulasjon i atmosfæren (aerosol) vil gi, kan beregnes ved å addere den spredning som hver partikkel gir. Sekundærspredningen (lys som spres mer enn én gang) er oftest ubetydelig, unntatt i tilfeller med ekstremt stor partikkelforurensning.

Det er partikler med diameter nær lysets midlere bølgelengde, ca $0.5 \mu\text{m}$, som er de mest effektive lysspredere. Slik størrelsesfordelingen av partikler ofte er i en forurenset atmosfære, med en topp i volumfordelingen av partikler, for partikler med diameter innen området $0.1-1 \mu\text{m}$, vil i praksis partiklene i dette området forårsake den overveiende del av lys-spredningen.

2.2 Observasjon og måling av synsvidde

Begrepene sikt, siktbarhet (visibilitet) og synsvidde er synonyme begreper som alle refererer seg til observasjoner av lysgjennomgangen i atmosfæren. Mere spesifikt gjelder de avstanden fra et observasjonspunkt til det objekt som såvidt kan skimtes mot den bakgrunn en ser objektet mot.

I denne rapporten vil begrepet synsvidde, V_1 , bli benyttet, definert som ovenfor.

Synsvidden vil variere med sammensetningen av den lufta en ser gjennom, i første rekke dens innhold av vanndamp, vann-dråper og forurensninger i gass og partikkelform. Den vil også variere med siktbanens retning i forhold til horisontalplanet og solas stilling i forhold til siktbanen. Den vil også variere med det observerte objektets og bakgrunnens størrelse, farge og lysintensitet.

Meteorologisk synsvidde, V_2 , er definert ved hjelp av grensekontrasten av et sort objekt mot horisonten. Kontrasten, C , som et objekt med lystetthet B oppviser mot en bakgrunn med lystetthet B' er definert slik:

$$C = \frac{B-B'}{B'} \quad (2)$$

For et sort objekt er $B = 0$,): $C_s = -1$.

Ifølge Koschmieders teori, vil kontrasten av et objekt mot en bakgrunn avta eksponentielt med avstanden til objektet:

$$C_R = C_O e^{-b_{\text{ext}} \cdot R} \quad (3)$$

hvor C_O og C_R er kontrasten ved avstand O og R , og b_{ext} er ekstinksjonskoeffisienten langs siktbanen.

Teorien forutsetter at siktbanen er horisontal, at lyset er nær monokromatisk, og at b_{ext} er konstant langs hele siktbanen. Ligning 3 er derfor godt anvendbar til horisontale siktobservasjoner i dagslys i en uniform atmosfære langs siktbanen.

Definisjonen på meteorologisk sikt benytter seg av begrepet grensekontrast, C_m , som er den minste kontrast øyet kan oppfatte. Grensekontrasten ligger i området 0.02-0.05 i dagslys for et objekt av rimelig størrelse (minst 1° vinkeldekning). Følgende relasjon gjelder da mellom V_2 , C_m og b_{ext} for et sort objekt sett mot horisonten:

$$V_2 = -\frac{\ln C_m}{b_{\text{ext}}} \quad (4)$$

Meteorologisk synsvidde kan altså observeres visuelt ved å betrakte et sort objekt mot horisonten.

Meteorologisk synsvidde kan også beregnes, ifølge ligning 4, basert på måling av b_{ext} .

Ekstinksjonskoeffisienten, b_{ext} , skyldes spredning og absorpsjon av lys på grunn av gasser og partikler i atmosfæren. I en partikkelforurenset atmosfære, f.eks. i byatmosfære eller industri-dis, eller i tåkedis, vil den delen av b_{ext} som skyldes spredning av partikler, b_{sp} , være vesentlig større enn de andre leddene.

b_{ext} og b_{sp} kan måles på ulike måter. b_{ext} kan måles direkte ved å måle lysgjennomgangen langs siktbanen ved hjelp av et fotometer. b_{ext} framkommer ved å se forholdet mellom lysintensiteten utsendt og intensiteten mottatt, når en kjenner avstanden mellom punktene (ligning 1). En vil da få midlere b_{ext} langs siktbanen, og denne vil inngå direkte i ligning 4 for å finne synsvidden.

b_{sp} kan måles ved hjelp av et integrerende nefelometer. Dette er et optisk instrument som måler lys spredt i alle retninger (integrert over alle retninger) fra den luft/partikkel-blanding som befinner seg i dets optiske kammer. Kammerets og lyskildens geometri er slik at signalet instrumentet gir er proporsjonal med b_{sp} , når partikkelspredningen er den dominerende, slik som i forurensningsdis i Grenland. Dersom b_{sp} er vesentlig større enn lys absorbert av partikler og gasser, noe som oftest er tilfelle, kan b_{sp} -målinger benyttes til å estimere meteorologisk synsvidde ut fra ligning 4 ved at b_{sp} erstatter b_{ext} .

Nefelometret måler b_{sp} i praksis i et punkt. Hvis disen er begrenset i omfang i forhold til synsvidden vil derfor relasjonen i ligning 4 ikke nødvendigvis gjelde, når b_{sp} ($\approx b_{ext}$) er målt i et punkt. Måling av b_{sp} med nefelometer vil derfor ikke alltid gi et godt mål for synsvidden.

Nefelometret kan påvise partikler i svært små mengder. Brukt som et kontinuerlig registrerende instrument er det godt egnet til å karakterisere den dis som varierende partikkelkonsentrasjoner gir, dersom forurensningen har en viss utstrekning rundt målepunktet.

2.3 Sammenheng lysspredning - partikkelvekt og sammensetning

Når partiklenes fysiske parametre (størrelsesfordeling, form, refraksjonsindex) er kjent og konstant uavhengig av vektkonsentrasjonen, eksisterer det en teoretisk sammenheng mellom lysspredningen, b_{sp} , og partiklenes vektkonsentrasjonen, W . Målinger av b_{sp} og W i en skorstein eller røykfane fra et industriaregg vil ofte gi en relativt god sammenheng mellom disse. Dersom det skjer kjemiske reaksjoner i røykfanen som gjør at partiklenes sammensetning og størrelsesfordeling endres med tida, vil sammenhengen bli mindre god.

Ved målinger av b_{sp} og W på et sted som påvirkes av ulike kilder (byområde, industriområde) vil en ofte ikke kunne finne en entydig sammenheng.

Samtidige målinger av b_{sp} og W i flere byer i USA har gitt følgende tall for forholdet mellom disse (1):

$$\overline{W/b_{sp}} = 300 \left[\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3/\text{km}^{-1}} \right] \quad (5)$$
$$175 < W/b_{sp} < 650 \quad (10 \text{ og } 90 \text{ prosentiler})$$

($\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3/\text{km}^{-1}} = 10^3 \cdot \text{g}/\text{m}^2$, en benevning som også benyttes for forholdet W/b_{sp}).

Tilsvarende samtidige målinger av b_{sp} og sulfatkonsentrasjon er gjort i forbindelse med flyprøvetaking av langtransporterte forurensninger over Skandinavia (2). En fikk her følgende resultat:

$$\overline{\text{SO}_4/b_{sp}} = 200 \left[\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3/\text{km}^{-1}} \right] \quad (6)$$
$$60 < \text{SO}_4/b_{sp} < 490 \quad (0 \text{ og } 100 \text{ prosentiler})$$

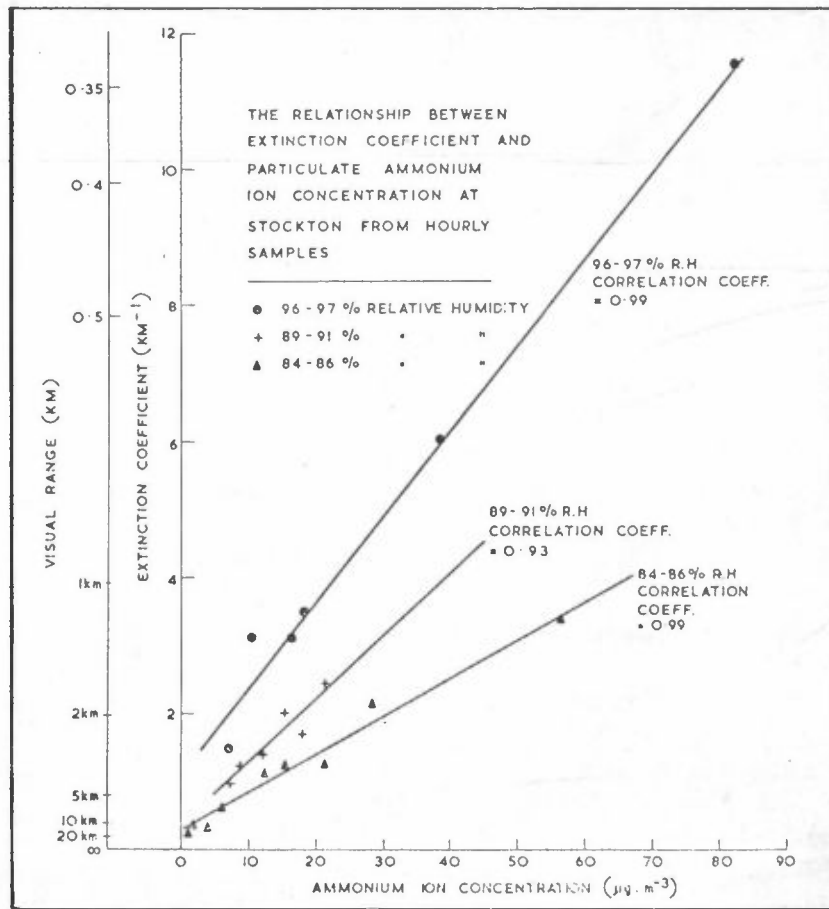
En ser at både W/b_{sp} og SO_4/b_{sp} varierer mellom vide grenser. Muligheten til å måle W og SO_4 indirekte ved å måle b_{sp} er derfor begrenset til områder hvor partiklenes fysiske parametre ikke varierer for mye med tida.

2.4 Luftfuktighetens innflytelse på synsvidden

Vanninnholdet i atmosfæren i damp- eller vann-fase reduserer synsvidden betraktelig i forhold til tørr luft. Vanndamp har absorpsjonslinjer i den synlige del av strålingen, og kan også kondensere på kondensasjonskjerner, om den relative fuktigheten (RH) er tilstrekkelig høy. Kjernene vil da vokse, og gi endret lysspredning. I luft som er overmettet med vanndamp vil kjernene vokse sterkt, og kan gi ekstremt stor siktreduksjon, tåke.

I forurensede atmosfærer vil en del av partiklene ofte være hygroskopiske. Ved en viss relativ fuktighet ("deliquescence point"), som for ammoniumsulfat er ca 72%, vokser partikler av slike stoffer raskt til en vesentlig større likevektstørrelse, som er avhengig av fuktigheten. Forøvrig kan en i typiske aerosoler observere et opptak av vann på partikler som øker jevnt med fuktigheten, helt fra 30-40% RH.

Figur 2.1 viser sammenhengen mellom ekstinksjons-koéffisienten og ammonium-ion-konsentrasjonen som funksjon av relativ fuktighet. Figuren er hentet fra en undersøkelse foretatt i Tees-side på Englands nordøst-kyst i 1967-70 (3). En ser at ekstinksjonen øker med en faktor på ca 2.0, når relativ fuktighet øker fra 84-86% til 96-97%.



Figur 2.1: Sammenheng mellom ammonium-ion-konsentrasjonen og ekstinksjons-koeffisienten, som funksjon av relativ fuktighet, målt i Tees-side-området i Nordøst-England (3).

3 DISMÅLINGER PÅ ÅS, NOVEMBER 1978 - JANUAR 1979

Spredningskoeffisienten for partikler, b_{sp} , ble målt på Kontrollseksjonens målestasjon på Ås i tida 23. november 1978 - 8. januar 1979.

I forbindelse med dismålingene ble følgende målinger utført av KS og NILU:

<u>Gasser</u>	<u>Metode</u>
SO ₂	Impregnert filter (1 N KOH), EK, 13 l/min
HNO ₃	Impregnert filter, EK, 13 l/min

Partikler

Partikler totalt, Sierra impaktor, 1.9 m³/min
2 størrelsesklasser
($\geq 1.3 \mu\text{m}$)

For analyse av Na, Cl Teflon filter, EK, 13 l/min

Kontroll-seksjonens rutinemålinger på Ås pågikk også i måleperioden. De dekker følgende parametre:

Gasser: Kontinuerlig registrering av SO₂, NO, NO₂, O₃
Døgnmiddelmålinger av SO₂ og NH₃ (KK)

Partikler: Døgnmiddelmålinger av SO₄ og NH₄ (KK)

Meteorologi: Øyeblikksverdier hvert 5.min av vindstyrke, vindretning og temperatur i 25 meters høyde, temperatur og relativ fuktighet i 3 meters høyde, samt temperaturdifferens 25-10 m.)

(EK: NILU luftprøvetaker, type EK)

(KK: NILU luftprøvetaker, type KK).

3.1 Målemetodikk for b_{sp}

b_{sp} ble målt med et integrerende nefelometer. Instrumentet er bygget ved luftforurensningslaboratoriet ved University of Washington i Seattle. Lysdeteksjonen skjer ved foton-telling, og følsomheten er nede i området 10^{-6} m^{-1} . Lyskilden er en 150 W halogenlampe.

Instrumentet gir et kontinuerlig signal som registreres på en skriver. Kalibrering på to punkter skjer ved å fylle det optiske kammeret med gassen Freon 12, som har en spredningskoeffisient på $2.2 \cdot 10^{-4}$, og med ren luft med spredningskoeffisient $1.53 \cdot 10^{-5}$ (Rayleigh-spredning, tørr luft). Instrumentets kalibrering og eventuell drift sjekkes regelmessig ved automatisk å sette en kjent lysspreder inn i lysbanen mellom det optiske kammer og fotodetektoren.

Luftinntaket var plassert i ventilasjonsrøret på taket av målestasjonen. Luften ble ført til instrumentet gjennom en ca 4 cm i.d. fleksibel slange som var ca. 1.5 meter lang. Temperaturen inne i stasjonen var 20-25°C. Intet ble gjort for å styre temperaturen i måleluften til instrumentet.

Lys-spredningens kritiske avhengighet av luftas relative fuktighet gjør at luftinntakets utforming avgjør hvilken bruk en kan gjøre av b_{sp} -dataene.

Det benyttede nefelometeret er ikke konstruert for plassering utendørs om vinteren. Det var derved uråd å unngå en oppvarming av målelufta på vei inn til det optiske kammeret. Den relative fuktigheten der var derved lavere enn ute. En regnet med at dette ville føre til at fuktigheten i kammeret alltid var lavere enn ca 70%. Derved ble det antatt at b_{sp} -målingene ville gi et mål på partiklenes lys-spredning alene, uten det tillegg i siktreduksjonen som skyldes luftfuktigheten. Det framgår av resultatene, som diskutert i seksjonene 3.3, 3.5 og 4.4 at denne antakelsen synes å være i overensstemmelse med de virkelige forhold.

3.2 Resultater

Figur 3.1 viser forløpet av timesmidlete observasjoner i måleperioden. En ser at uten forurensningspåvirkning varierer b_{sp} innen området 0.05-0.2 km^{-1} .

Under forurensningspåvirkning går b_{sp} i kortvarige topper opp til 2.7, men varierer ellers stort sett innen området 0.5-1.5 km^{-1} .

Tabell 3.1 viser tilnærmet den meteorologiske synsvidde disse observasjoner ville tilsvare i luft med $\text{RH} < 70\%$, dersom disen har en utbredelse som er minst lik synsvidden. Synsvidden, V_2 , er beregnet etter:

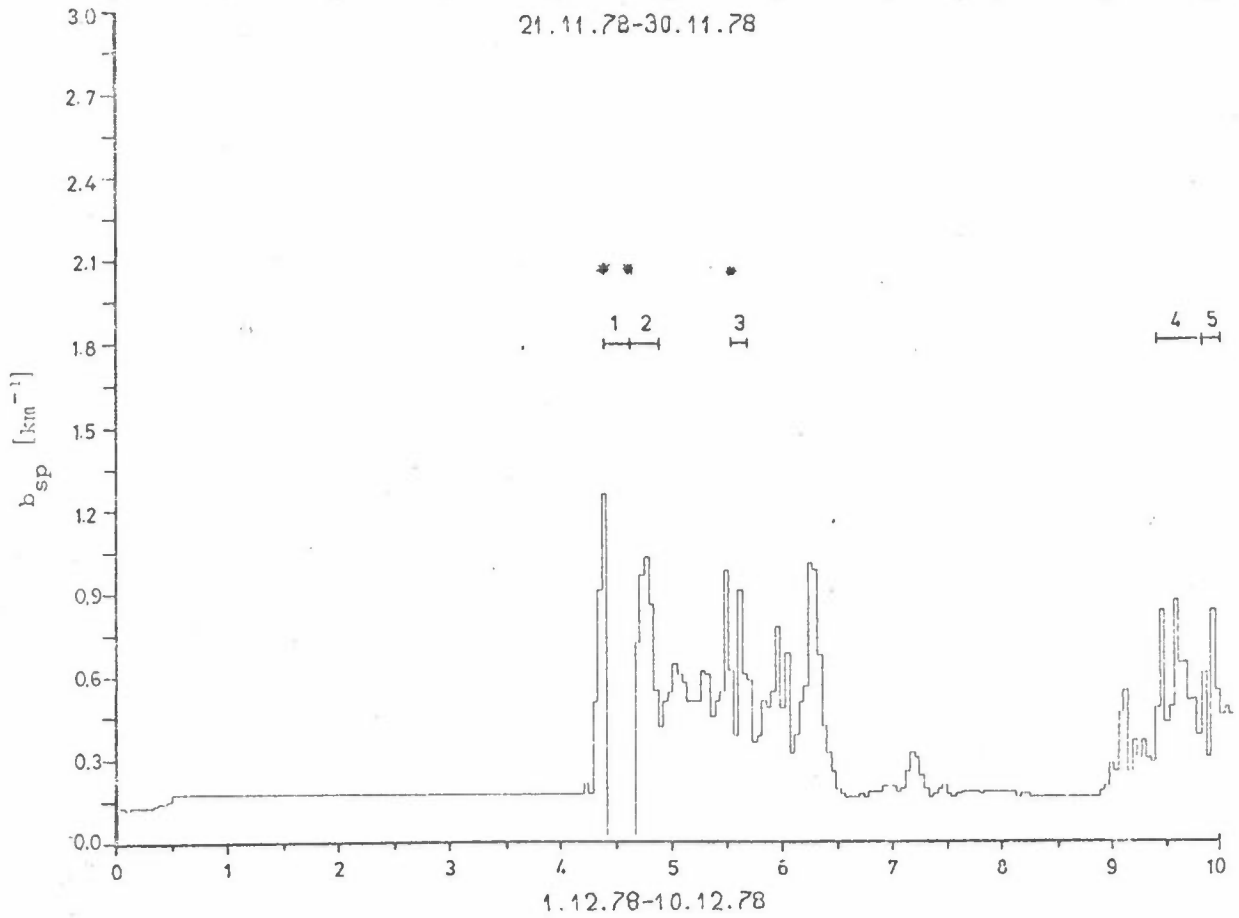
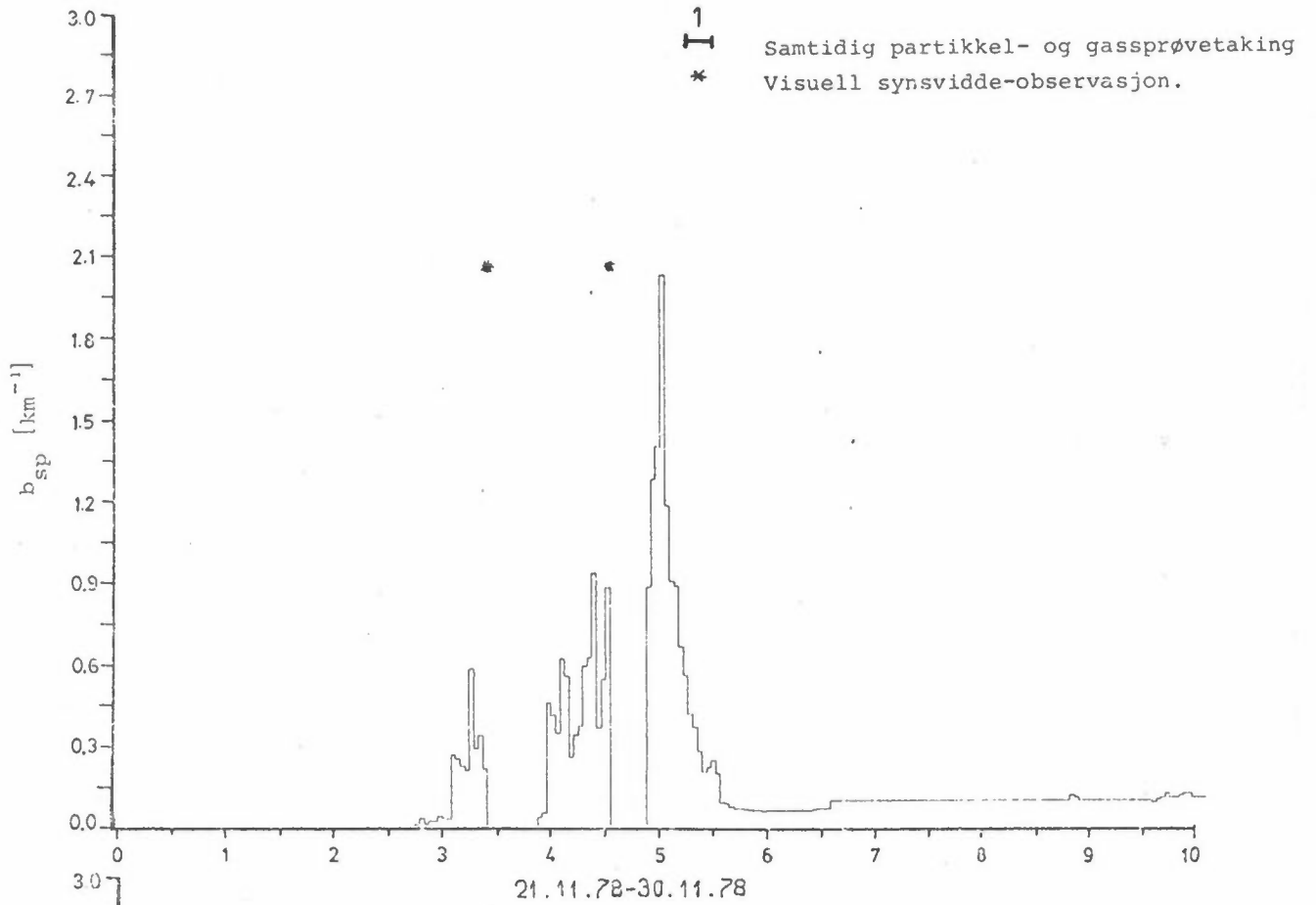
$$V_2 = \frac{3.9}{b_{sp}} \quad (7)$$

I denne formelen er det forutsatt at b_{sp} utgjør den største del av b_{ext} , slik at $b_{ext} \approx b_{sp}$, og en grensekontrast $C_m = 0.02$. En har også antatt at nefelometerets spektralrespons er lik øyets, noe som bare er tilnærmet riktig. Tabellen gir likevel en idé om hvilken sikt b_{sp} -verdiene svarer til.

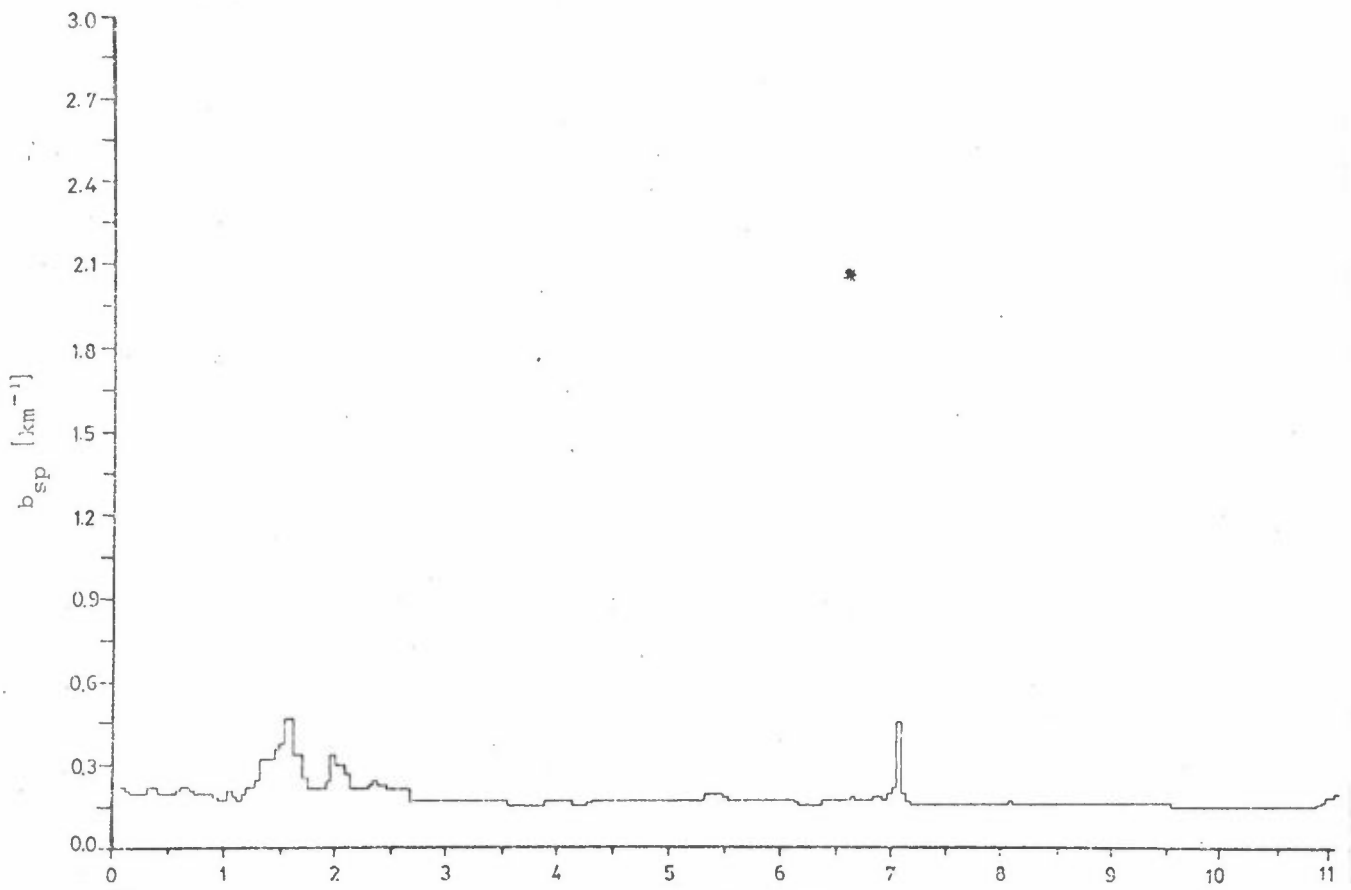
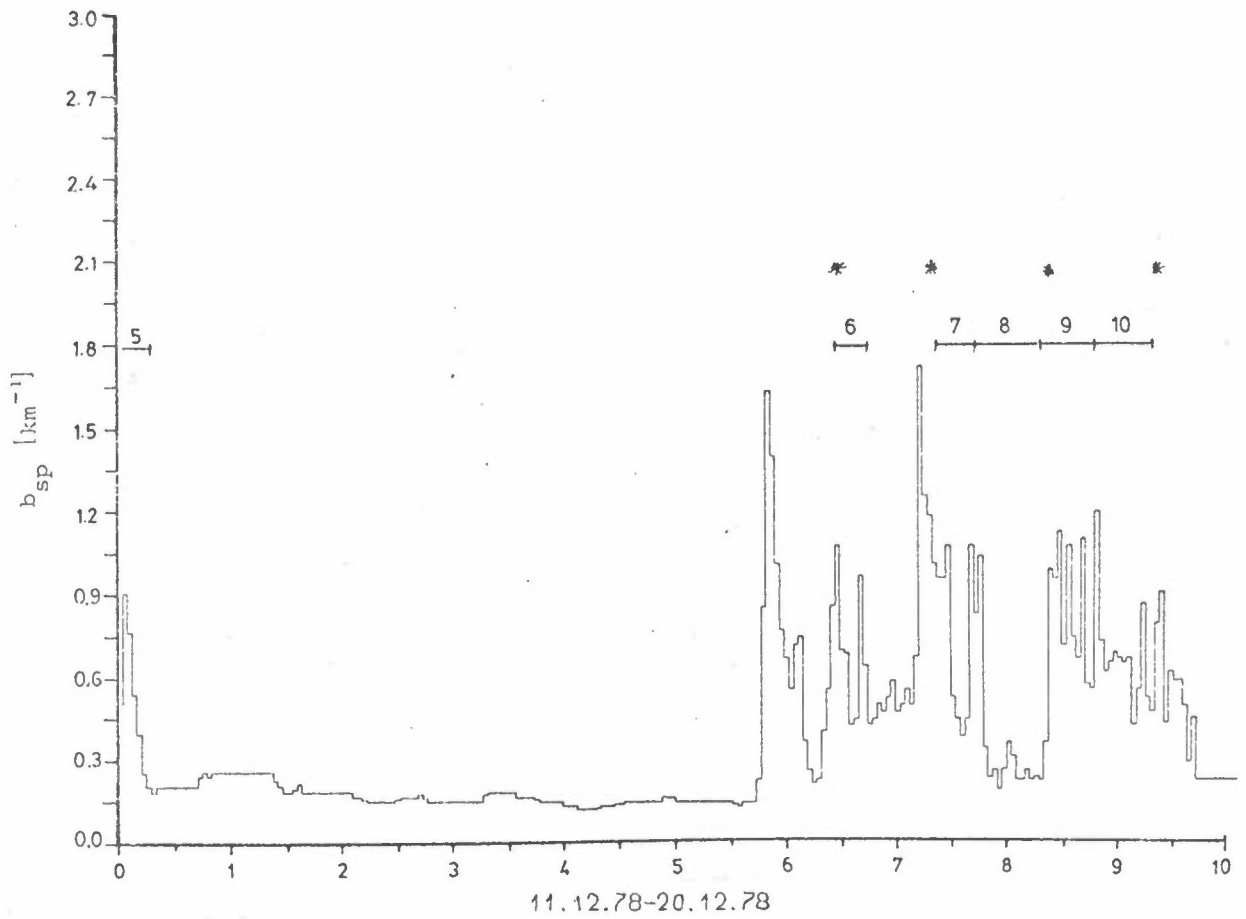
Tabell 3.1: Meteorologisk sikt, V_2 , som funksjon av b_{sp} .

b_{sp}	V_2	b_{sp}	V_2
km^{-1}	km	km^{-1}	km
0.1	≈ 39	1.0	≈ 4
0.2	≈ 20	2.0	≈ 2.0
0.5	≈ 8	3.0	≈ 1.3

Alle topper i b_{sp} -registreringen unntatt én opptrer under vinder fra nordvestlig retning. Unntaket skjedde den 18.12 kl. 15-17. Dette behandles spesielt senere. Belastningsrosen for b_{sp} er vist i figur 3.2.

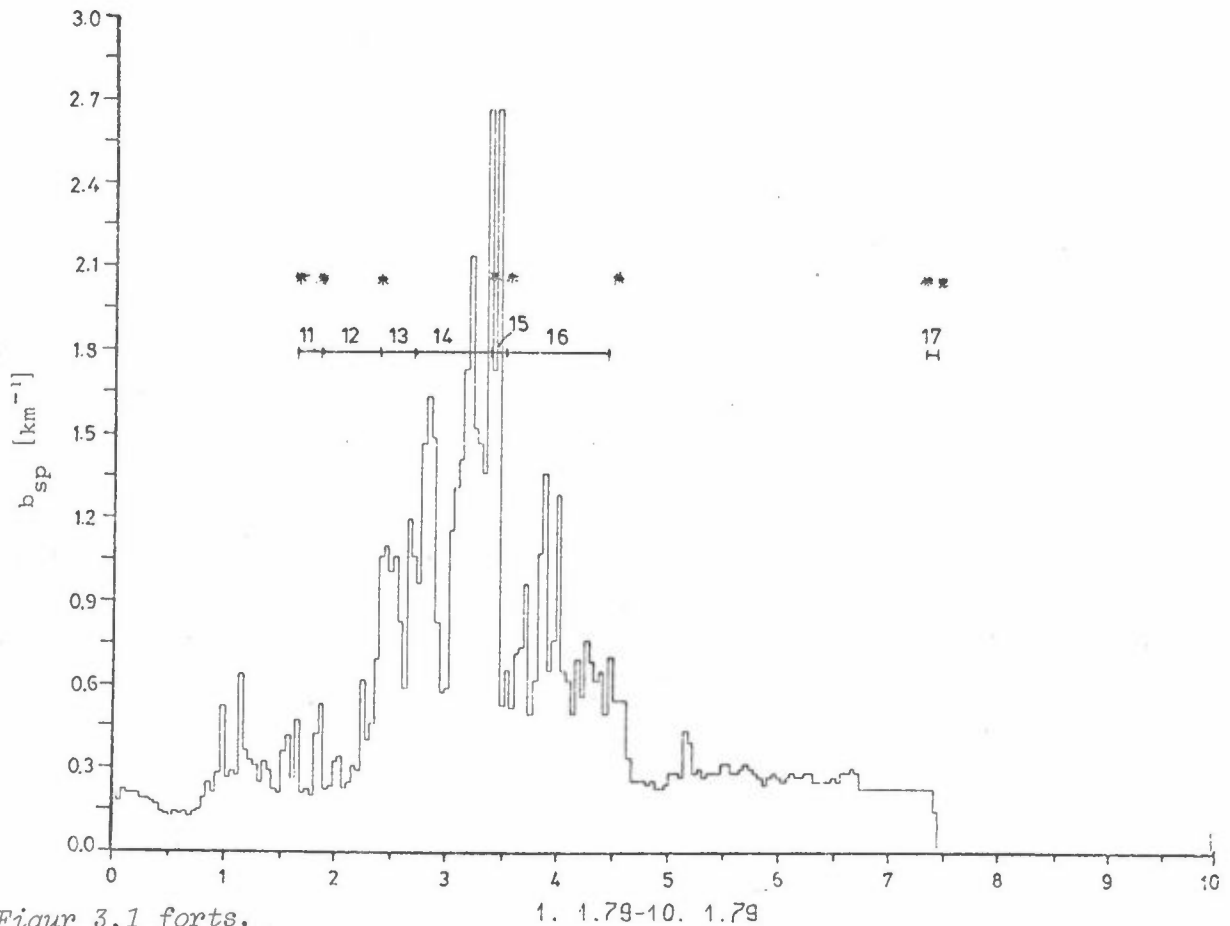


Figur 3.1: Registrering av b_{sp} på Ås, Heistad i tiden 23.11.78-8.1.79.



Figur 3.1 forts.

21.12.78-31.12.78



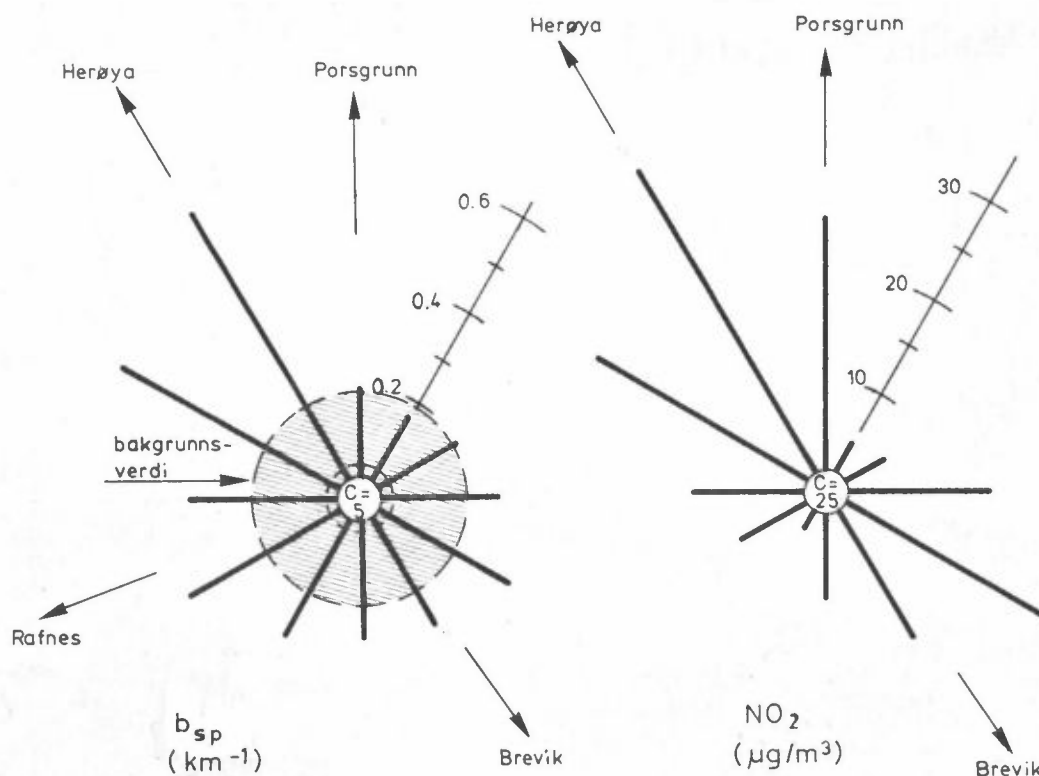
Figur 3.1 forts.

1. 1.79-10. 1.79

Belastningsrosen viser at b_{sp} er størst med vind fra nordvestlig retning. Denne svarer til retningen fra Herøya. Belastningen, når bakgrunnsnivået trekkes fra, er ellers relativt jevn fra de øvrige retningene, med en liten økning fra retningene ØSØ og VSV. Den siste skyldes den nevnte dis-episode om ettermiddagen den 18.12 som er beskrevet i seksjon 3.4.

Figuren viser også belastningsrosen for NO_2 for samme sted og periode. Den er ganske lik rosen for b_{sp} , men viser større belastning fra retningene N og SØ. Forskjellen i nordlig retning kan skyldes NO_2 -påvirkning uten dis fra Porsgrunn by og dalføret opp mot Skien. Forskjellen i sørøstlig retning kan skyldes NO_x -utslipp i Brevik. En gjør oppmerksom på at antall observasjoner fra sektorene sør for øst-vest-linjen er få, slik at en må være varsom med å trekke konklusjoner om belastningen i disse sektorene.

Uoverensstemmelsen i belastning fra VSV er tilsynelatende, og skyldes manglende observasjoner av b_{sp} i enkelte kortere perioder.



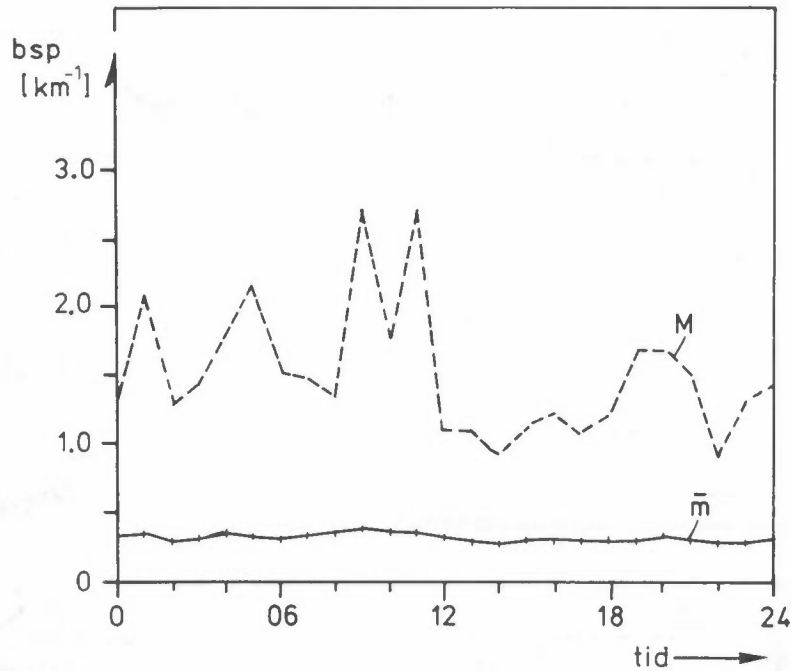
Figur 3.2: Belastningsrose for b_{sp} og NO_2 på Ås. Stolpene angir midlere b_{sp} og NO_2 når vinden^{sp} blåser fra angitt retning. C^{sp} angir midlere b_{sp} og NO_2 ved vindstille.

Figur 3.3 viser midlere døgnforløp og maksimalverdier av b_{sp} for hver time. Middelforløpet viser en jevn belastning over hele døgnet. De høyeste toppene i b_{sp} opptrådte om natten og på formiddagen.

3.3 Lysspredning og relativ fuktighet

b_{sp} -målingene viste at lysspredningen målt ved relativ fuktighet $< 70\%$, slik som beskrevet i seksjon 3.1, er en funksjon av relativ fuktighet ute. b_{sp} -observasjonene er klassifisert i følgende klasser for relativ fuktighet ute:

I	0-70%
II	70-80%
III	80-90%
IV	90-100%



Figur 3.3: Midlere døgnforløp av b_{sp} (\bar{m}), og maksimalverdier (M) for hver time av døgnet.

Fuktigheten var større enn 70% i ca 82% av tiden. Laveste fuktighet registrert var 43%, den 1.1.79. Belastningstabeller for b_{sp} med inndeling i fuktighetsklasser og vindstyrkeklasser (0-2, 2-4, 4-6, > 6 m/s) er vist i tabell 1 i datavedlegget.

Tabellen nedenfor viser midlere b_{sp} , målt ved RH < 70%, for hver klasse av relativ fuktighet ute.

Tabell 3.2: Målt b_{sp} (ved RH < 70%) som funksjon av luftas relative fuktighet.

	Relativ fuktighet			
	43-70%	70-80%	80-90%	90-100%
% av tiden	18.3	32.0	36.4	13.4
b_{sp} (km^{-1})	0.18	0.23	0.40	0.39

b_{sp} målt ved RH < 70% øker altså vesentlig når fuktigheten ute øker fra mindre enn 70% til ca 90%. Når fuktigheten er over 90%, synes ikke b_{sp} i middel å øke ytterligere.

b_{sp} -observasjonene i vindsektorene 300° - 330° , sett i forhold til en referanse-sektor og som funksjon av relativ fuktighet, vil vise fuktighetens betydning for disen fra Herøya spesielt. Dette er vist i tabell 3.3. Sektoren 30° er valgt som referanse-sektor. b_{sp} var alltid svært lav i denne sektoren.

Det er en kobling mellom vindhastighet og relativ fuktighet. I sektoren fra Herøya betrakter en derfor bare observasjoner innenfor 2-4 m/s vindhastighet. Derved blir også b_{sp} -tallene i tabellen ikke svært avhengig av vindhastighetens virkning på spredningen av utslippet.

Tabell 3.3: Målt b_{sp} i ulike vindsektorer som funksjon av relativ fuktighet.

Sektor	b_{sp} , middelerdi (km^{-1})	
	30°	$300-330^{\circ}$ 1)
Relativ fuktighet		
0-70%	0.14	0.34
70-80%	0.16	0.57
80-90%	0.22	0.72
90-100%	0.18	0.69

1) ved vindhastighet 2-4 m/s

For begge sektorene øker b_{sp} med økende relativ fuktighet når denne er mellom 70% og 90%, men økningen er vesentlig større i sektoren fra Herøya enn i referanse-sektoren.

Det framgår av resultater diskutert i seksjon 3.4 og 4.4 at den relative fuktigheten inne i målekammeret alltid var lav nok til at den i seg selv hadde liten effekt på målt b_{sp} .

Sammenhengen mellom målt synsvidde ($V_2=3.9/b_{sp}$) og observert synsvidde (seksjon 3.5) tyder på det er god overensstemmelse mellom observert og målt synsvidde for RH lavere enn ca 75%, mens avviket

mellom observert og målt synsvidde øker vesentlig med økende RH. Dette tyder på at RH inne i det optiske kammeret er vesentlig lavere enn ute. Det indikerer også tydelig luftfuktighetens betydning for synsvidden.

Sammenhengen mellom b_{sp} og innholdet av vannløselige hovedkomponenter i partiklene (seksjon 4.4) var god og entydig. Måleverdiene av b_{sp} , vist i figur 4.1 viser ingen avhengighet av relativ fuktighet utover sammenhengen med mengden av ioner. Våre målinger ga altså ikke samme bilde som er vist i figur 2.1. Dette bekrefter at partiklenes tilstand i det optiske kammeret i nefelometret var nær "tørr", dvs. at oppvarmingen utenfra og inn fører til at de mister det meste av sitt vanninnhold.

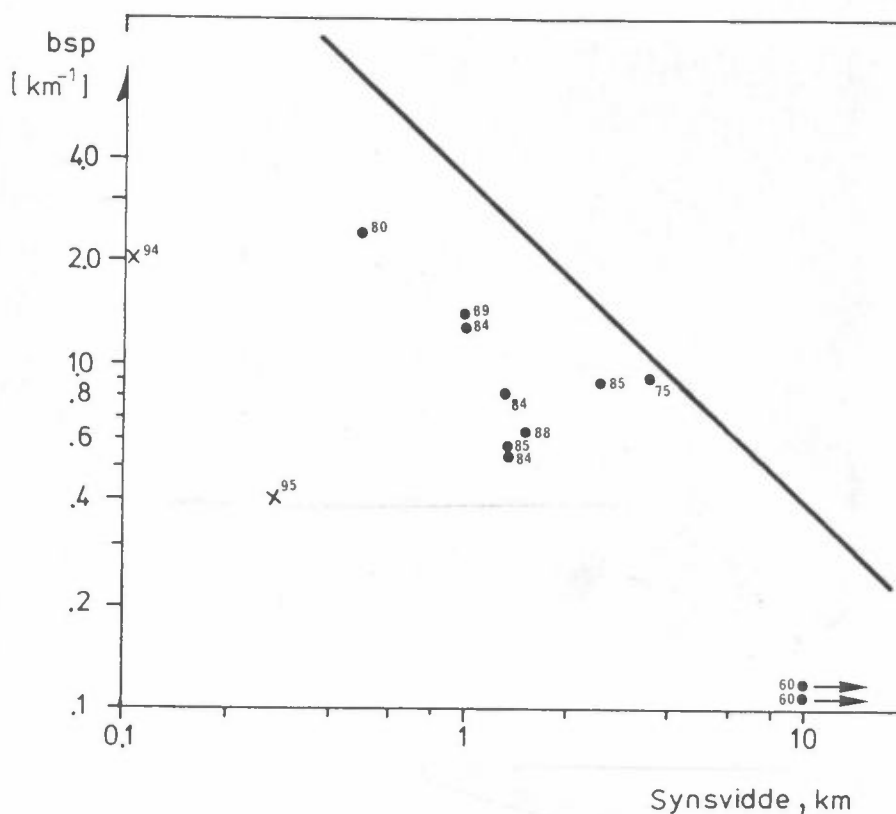
Den økningen i b_{sp} med relativ fuktighet som er målt, som framstilles i tabell 3.3, skyldes derfor ikke i seg selv økt vanninnhold på hygroskopiske partikler ved økt relativ fuktighet. Derimot må en kunne anta at økningen hovedsakelig skyldes økning i reaksjonshastigheten fra gass- til partikkelfase i røykfanen, ved økende fuktighet. Dette fører til at partiklene i røykfanen vokser på grunn av økt innhold av vann og vannløselige komponenter som $(NH_4)_2SO_4$ og NH_4Cl . På vei utenfra og inn i det optiske målekammeret mister de en del av sitt vanninnhold. De "tørkede" partiklene ender da opp på en størrelse bestemt av dens innhold av blant annet vannløselige salter. Dette er en funksjon av den relative fuktigheten ute, som det framgår av tabell 3.3.

3.4 Observasjoner av synsvidde sammenlignet med b_{sp} -målinger

Observasjoner av synsvidden ble foretatt på Ås et antall ganger under b_{sp} -målingene (se figur 3.1). Observasjonene ble foretatt av personell fra Kontroll-seksjonen, og ble foretatt fra et punkt ca. 10 meter oppe i meteorologi-masta. En estimerte avstanden til det fjerneste objekt (ås, hus el.lign.) som såvidt kunne skimtes mot horisonten. Observasjonene ble foretatt i 4 retninger (N,Ø,S,V).

I figur 3.4 er sikt-observasjonene plottet mot samtidige målinger av b_{sp} . Den synsvidde som er plottet er middelveidien av synsvidden observert i de 4 retningene. For punktene merket med pil (→) ble sikten beskrevet som "meget god", uten lengdeangivelse. Observasjonene avmerket som kryss ble foretatt når det var tåke i området. Den heltrukne linje i figuren representerer den teoretiske sammenhengen mellom meteorologisk sikt, V_2 , og b_{sp} , se ligning 7. En ser at alle observasjoner gir en synsvidde som er lavere enn den som er beregnet, basert på ligning 7. Avviket øker med økende relativ fuktighet. Det er lite når den relative fuktigheten er mindre enn ca. 75%.

Avviket fra den teoretiske kurve skyldes at målingen av synsvidden er gjort ved $RH < 70\%$ (i det optiske kammer). En får i uteluften en betydelig siktreduksjon som skyldes de hygroskopiske partiklene som vokser med økende relativ fuktighet. Økningen i størrelse synes neglisjerbar ved fuktigheter lavere enn ca 75%. For fuktigheter mellom 80 og 90% er den betydelig, og reduserer synsvidden til ca 1/3 av den som de "tørre" partiklene gir, dvs. den synsvidde som kan beregnes fra nefelometrets måling av b_{sp} ved $RH < 70\%$. Ved tåke reduserer den høye fuktigheten synsvidden til bare noen prosent av den som b_{sp} -målinger inne gir.



Figur 3.4: Samtidige observasjoner av b_{sp} og synsvidde.

Helstreket linje tilsvarende den teoretiske sammenheng $V_2 = 3.9/b_{sp}$.

Tallene angir utendørs relativ fuktighet
x tåke

4 DISPARTIKLENE KJEMISKE SAMMENSETNING OG RELASJON TIL b_{sp}

I dis som ikke i første rekke skyldes fotokjemisk partikkeldannelse, utgjør ofte de vannløselige komponenter, spesielt sulfat, den største del av den samlede vekt av partikler i det størrelsesområdet som har betydning for siktreduksjon, dvs. innenfor ca 0.1 - 3 μm i diameter.

Samtidige målinger av partiklenes lys-spredning, med nefelometer, og prøvetaking og analyse av partiklene har ofte gitt god sammenheng mellom lys-spredningen, dvs. siktreduksjonen, og innholdet av vannløselig sulfat i små partikler.

I Grenland har Kontrolllaboratoriet og Kontrollseksjonen siden 1969 mer eller mindre kontinuerlig foretatt målinger av vannløselig sulfat i partikler ved flere stasjoner i området. I lengre perioder er det også foretatt tilsvarende analyser av ammonium, nitrat og klorid, blant annet ammonium- og klorid-analyser på flere målesteder i hele 1972 og 1973, og ammoniumanalyser fra 1978 til nå, i tillegg til kortere måleserier på ulike målesteder. Disse målingene, som det er redegjort for i Kontrolllaboratoriets og Kontrollseksjonens årsrapporter, viser at konsentrasjonen av sulfat, ammonium og klorid kan være svært høy i perioder med dis i området. Disse komponentene har derfor vært betraktet som hovedkomponenter i disen og også antatt å utgjøre en betydelig del av partikkelmassen.

En behandling av disse data med sikte på å vurdere den kjemiske sammensetningen av forurensningsdisen i Grenland ble utført av NILU i 1975 (4).

Prøvetaking med impaktorer som gir partiklenes størrelsesfordeling, har vært foretatt i Grenland i flere perioder. Resultater av disse er presentert i Kontrollseksjonens årsrapporter og i en NILU-rapport fra målinger i Bamble i 1975-76. (5). For hovedkomponentene sulfat, ammonium og klorid ble over 80% av vekten funnet på partikler mindre enn 2 μm , dvs. i det optisk mest aktive området i synlig lys. Nitrat forekom i større grad på partikler større enn 2 μm .

Kontrolllaboratoriets og Kontrollseksjonens måleserier av partikulært sulfat, ammonium og klorid, analysert på filtre (Whatman 40) fra prøvetaking med "kommunekasser" er derfor egnet til å vurdere relativt den optiske effekt av konsentrasjoner av ammoniumsulfat- og ammoniumklorid-partikler.

Ingen av de nevnte målinger av partikler har inkludert bestemmelse av samlet partikkelvekt i prøvene ved veiing eller på annen måte, eller observasjoner av synsvidde eller b_{sp} . Sulfaters og

de andre hovedkomponenters absolutte bidrag til siktnedsettelsen kan derfor ikke avgjøres på basis av de målingene.

Norsk Hydro foretok somrene 1977 og 1978 prøvetaking av partikler med Sierra impaktor, med vektbestemmelse av partikler og analyse av hovedkomponentene (6). I disse undersøkelsene ble det også foretatt disobservasjoner.

I forbindelse med dismålingene beskrevet i kapittel 3 her, foretatt i november-desember 1978, ble det også tatt 17 prøver av partikler med forskjellige typer utstyr. Figur 3.1 viser når prøvene ble tatt. Resultatene av disse blir beskrevet i det følgende.

4.1 Prøvetaking og analyse av partikler

Til prøvetaking av partikler i 2 størrelsesklasser ble benyttet en "Sierra high-volume impactor". Som oppsamlingsmedium ble brukt glassfiberfiltre av type "Gelman, spectro grade". Disse er godt egnet for veiing.

Filtrene ble veid før og etter prøvetaking. Før veiing ble filtrene kondisjonert ved temperatur ca 20°C og relativ fuktighet ca 40-45%, i ca 24 timer. Filtrene ble etter veiing analysert på komponentene SO₄, NH₄, NO₃, Ca, Mg.

Glassfiberfiltre egner seg ikke for analyse av Si, Cl og Na. For analyse av Cl og Na ble det tatt samtidige prøver av partikler på teflonfiltre med NILU prøvetaker type EK. pH-verdien ble også bestemt i vannuttrekket fra dette filtret.

Tabell 4.1 gir en oversikt over karakteristiske parametre for de to typer prøvetakere.

Tabell 4.1: Partikkelprøvetakernes karakteristiske parametre.

	Luftstrøm l/min	Hastighet gjennom bunnfilter cm/s	Partikkelstørrelser, $\mu\text{m}^{1)}$	
			trinn 1	trinn 2
Sierra	≈ 1900	≈ 75	$1.3 - (20-50)^{2)}$	< 1.3
EK	≈ 13	≈ 45	$< 20-50^{2)}$	-

1) ekvivalent aerodynamisk diameter.

2) øvre grense for partikkelstørrelse er en funksjon av av bl.a. vindstyrken.

4.2 Resultater

Et sammendrag av måleverdiene er vist i tabell 4.2 i form av middelerverdier for de enkelte komponenter i hver størrelsesklasse. Partiklene på trinn 1 i impaktoren vil i det følgende bli omtalt som store partikler, og partiklene på trinn 2 som små partikler.

En mer fullstendig sammenstilling av måledata er presentert i tabell 2 og 3 i datavedlegget. Resultater av samtidige målinger av svoveldioksyd, nitrogenoksyder og relativ fuktighet er også vist i tabell 2.

De fleste prøvene ble tatt med vind fra nordvestlig retning, (observert på Ås), og derved med mer eller mindre sterk påvirkning fra utslipp fra Herøya/Porsgrunn/Skien.

Unntak er følgende prøver: Prøvene 8 og 17 ble tatt under perioder med vind fra vest. Disse viser svært lave partikkelkonsentrasjoner. Prøve 11 viser også lav konsentrasjon, selv om vinden var fra nordnordvest.

I tabell 4.2 er prøvene delt i to grupper, med vind fra nordnord-vest og vind fra vest. Prøve 11, som skiller seg fra de øvrige, er satt for seg. Prøvene er av forskjellig tidslengde, fra 3 timer til 26 timer. Middelerverdiene er ikke veid m.h.p. tiden.

Prøvene analysert på Na og Cl er som nevnt tatt med EK-prøvetakeren, og således ikke fraksjonert etter partikkelstørrelse.

Tabell 4.2: Konsentrasjonen av vannløselige komponenter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$, middelerverdier) på partikkelprøver.

Vind-retn.	Imp. trinn	Partikler totalt	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	
VMV-V 14 prøver	1	38	0.7	1.5	1.4	0.59	8.8	16.2	1.9	
	2	118	12.0	0.44	0.46		29.4		2.6	
	Prøve 11	1	15	0.2	1.2	0.8	0.2	5	4	0.7
		2	35	1.3	0.3	0.2		3.4		0.5
VEST	Prøve 8	1	0.4	2.5	0.6	9	6	8	1.8	
		2	35	2.6	0.4		0.05		10	0.7
	Prøve 17	1	-	0.03	0.7	0.2	0.2	0.6	1	0.5
		2	-	0.5	0.1	0.05		1.6		0.6

Imp.trinn 1: Partikler med diameter $d < 1.3 \mu\text{m}$

Imp.trinn 2: Partikler med diameter $1.3 < d < 20-50 \mu\text{m}$

Tabell 4.3: Vannløselige ioners relative andel av totalvekten, samt deres ekvivalentmengder, regnet i middel for 14 prøver med vind fra VNV.

Prøver med vind fra VNV→V (14 prøver)	Part. størrelse μm	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	Samlet
Relativ andel av total partikkelmasse prosent	>1.3	1.7	4.3	3.4		24.7		5.3	
	<1.3	9.0	0.4	0.4		24.4		2.3	
	Samlet	7.2	1.3	1.2	0.3	24.5	9.6	3.2	47.3
Ekvivalente ionemengder neqv/m ³	>1.3	0.04	0.08	0.12		0.18		0.03	
	<1.3	0.67	0.02	0.04		0.62		0.04	
	Samlet	0.71	0.10	0.16	0.03	0.80	0.46	0.07	

Prøve 17 representerer et eksempel på ren bakgrunnsluft som tilføres området. Prøve 8 var dels en bakgrunnsprøve, dels inneholdt den dispartikler som kom inn fra vest i den disepisode den 18.12 som er beskrevet i seksjon 4.6. Den hadde relativt høyt innhold av både Na og Cl, noe som tyder på en betydelig sjøsaltkomponent i denne prøven.

I forhold til disse hadde prøvene med vind fra Herøya/Porsgrunn en betydelig høyere total partikkelkonsentrasjon, og økt konsentrasjon av alle komponenter, bortsett fra Ca. Spesielt var det ammonium, sulfat og klorid på små partikler som økte.

Ammonium forekom nesten utelukkende på små partikler. 77% av sulfaten og 58% av nitraten lå på små partikler. Hovedmengden av Ca og Mg lå på store partikler. Når det gjelder klorid, har tidligere målinger på Ås (vinteren 1977, utført av KS) gitt at ca 75% av kloriden lå på små partikler.

Tabell 4.3 som omhandler de 14 prøvene med vind fra Herøya/Porsgrunn, viser at i middel var sulfat vektmessig den viktigste komponent, og utgjorde ca 25% av totalvekten av både store og små partikler. Ammonium og klorid utgjorde også vesentlige deler av samlet mengde av små partikler, omtrent 9% på hver. I forhold til disse, var mengden av nitrat, Mg og Ca på små partikler ubetydelig. I middel utgjorde de 7 analyserte vannløselige ioner ca 47% av samlet partikkelmasse, funnet ved veiing. I enkeltprøvene varierte dette mellom 31% og 66%.

Regnet på ekvivalentbasis, var ammonium og sulfat i middel de viktigste komponenter på små partikler. Ekvivalentmengden av klorid på små partikler var ca halvparten av ekvivalent sulfat- og ammonium-mengde. Ekvivalentmengden av de øvrige ioner var relativt små i forhold til disse.

4.3 Ionebalanse

Det skal være balanse mellom positive og negative ioner i vannuttrekket av en filterprøve. En betraktning av ionebalansen i prøvene kan være til hjelp til forklaring av analyseresultatene. Når ionesummen avviker fra nøytralitet, kan det tyde på:

- at vesentlige ioner ikke er analysert
- at analysene inneholder feilkilder

Ut fra det en vet om utslippet i Grenland, er det rimelig å anta at man har analysert de vesentligste ione-typer.

Ekvivalent ione-mengde av de ulike komponenter på trinn 2 er gitt i tabell 4.4. En har antatt 75% av samlet Cl og Na på små partikler.

Ionebalansen, for små partikler, mellom sulfat, klorid og nitrat på den ene side og H^+ , ammonium, Ca, Mg og Na på den annen side, viser et underskudd av positive ioner som i middel er ca. 50% av mengden av positive ioner funnet.

Mengden H^+ -ioner er beregnet på grunnlag av måling av pH i vannuttrekket fra teflonfiltrene fra EK-prøvetakeren (samme vannuttrekk som Na og Cl er bestemt i), fordi glassfiberfiltre ikke egner seg til pH-bestemmelse. pH-verdien av rene teflonfiltre ligger i middel nær 5.5. pH-verdien i vannuttrekkene lå innen området 4.6-6.2. Dette skulle tyde på at partiklene på teflonfiltrene varierte fra prøve til prøve fra svakt sure til svakt basiske.

De beregnede H^+ -mengdene kan i middel forklare bare ca. 10% av underskuddet av positive ioner, som vist i tabell 4.4.

Noe av ubalansen kan ligge i at antakelsen om 75% Cl og Na på små partikler er for høyt.

En annen årsak til ubalansen man ser i tabell 4.4 kan være å finne i at man ved prøvetaking og lagring kan miste ioner fra filtret, på grunn av partikkel-gassfase-reaksjoner. Den ionesammensetningen man har på filtrene kan lede til tap av HCl, NH_3 og HNO_3 , når partikler av ulike sammensetninger kommer sammen på filterflaten, og/eller når gass/partikkel-likevekten i aerosolen endrer seg med tiden. Reaksjonene kan skje i ulik omfang på filtret for små partikler i Sierra-prøvetakeren, og på totalfiltret i EK-prøvetakeren, både fordi EK-filtret også inneholder store partikler, mens Sierra-filtret (trinn 2) ikke gjør det, og også fordi det er forskjellige filtertyper (teflon og glassfiber). Dette kan ha ført til at H^+ og Cl^- -analysene fra EK-filtret ikke er representative for innholdet av disse ioner på Sierra-filtret, slik at man i tabell 4.4 ikke opererer med sammenlignbare tall.

Ved senere prøveserier er det viktig at prøver blir tatt på filtre av et materiale som muliggjør at alle vannløselige analyser kan utføres på samme prøve.

Det har tidligere vært diskutert mulige feil i selve ammoniumanalysen. En vil derfor her presentere resultatene av en interkalibrering av ammoniumanalysen, foretatt mellom NILU og KS.

Tabell 4.4: Ionesummen for vannløselige komponenter i filterprøvene av små partikler (<1.3 µm) (µekv./m³).

Prøve	SO ₄ +0.75 Cl +NO ₃ 1)	NH ₄ +0.75 Na + Mg+ Ca 1)	H ⁺ 2)	Avvik	
				Absolutt	%
1	.64	.34	.15	-.15	-31
2	1.18	.83	.06	-.29	-33
3	.60	.33	.01	-.26	-76
4	.58	.29	.06	-.23	-66
5	.46	.33	.06	-.07	-18
6	.77	.38	.12	-.27	-54
7	.85	.56	.05	-.24	-39
8	.44	.21	.02	-.21	-91
9	1.40	.77	-.01	-.64	-82
10	.43	.22	.06	-.15	-54
11	.19	.10	.03	-.06	-46
12	.37	.17	.01	-.19	-106
13	1.51	.82	-.07	-.76	-93
14	2.36	2.22	-.10	-.24	-11
15	3.49	2.30	-.02	-1.21	-53
16	1.03	.86	-.01	-.18	-21
Middel	1.02	.67	.03	-.32	-55%

1) SO₄, NO₃, NH₄, Mg og Ca er analysert i vannuttrekket fra glassfiberfiltrene på trinn 2 i Sierra-prøvetakeren. Cl og Na er analysert i vannuttrekket fra teflonfiltrene fra EK-prøvetakeren.

2) Ekvivalent mengde av H⁺-ioner, basert på måling av pH i vannuttrekket fra teflonfiltrene fra EK-prøvetakeren.

Forfiltrene (Whatman 40) fra EK-prøvetakeren for SO₂ ble benyttet til dette. Filtrene ble delt i to, og en halvpart utvasket og analysert ved hvert laboratorium. Resultatet er vist i tabell 4 i datavedlegget. Regresjonen mellom de 9 datasettene var:

$$(\text{NH}_4)_{\text{KS}} = 1.00 \cdot (\text{NH}_4)_{\text{NILU}} + 1.3 ; \quad r = 0.99$$

KS' analyser ga i middel ca. 10% høyere verdier enn NILUs analyser.

4.4 Sammenhengen mellom lys-spredningen og partikkel-forurensningen

Samtidige målinger av spredningskoeffisienten, b_{sp} , og partikkelinnholdet på trinn 2 (partikler < 1.3 μm) er plottet i figur 4.1.

Lineære regresjons- og korrelasjonskoeffisienter for prøvene 3-16 er vist i tabell 4.5.

Tabell 4.5: Regresjonsanalyse mellom b_{sp} (km⁻¹) og partikkelkomponenter (μg/m³).

$$Y = aX + b$$

r = korrelasjonskoeffisient

n = antall prøver

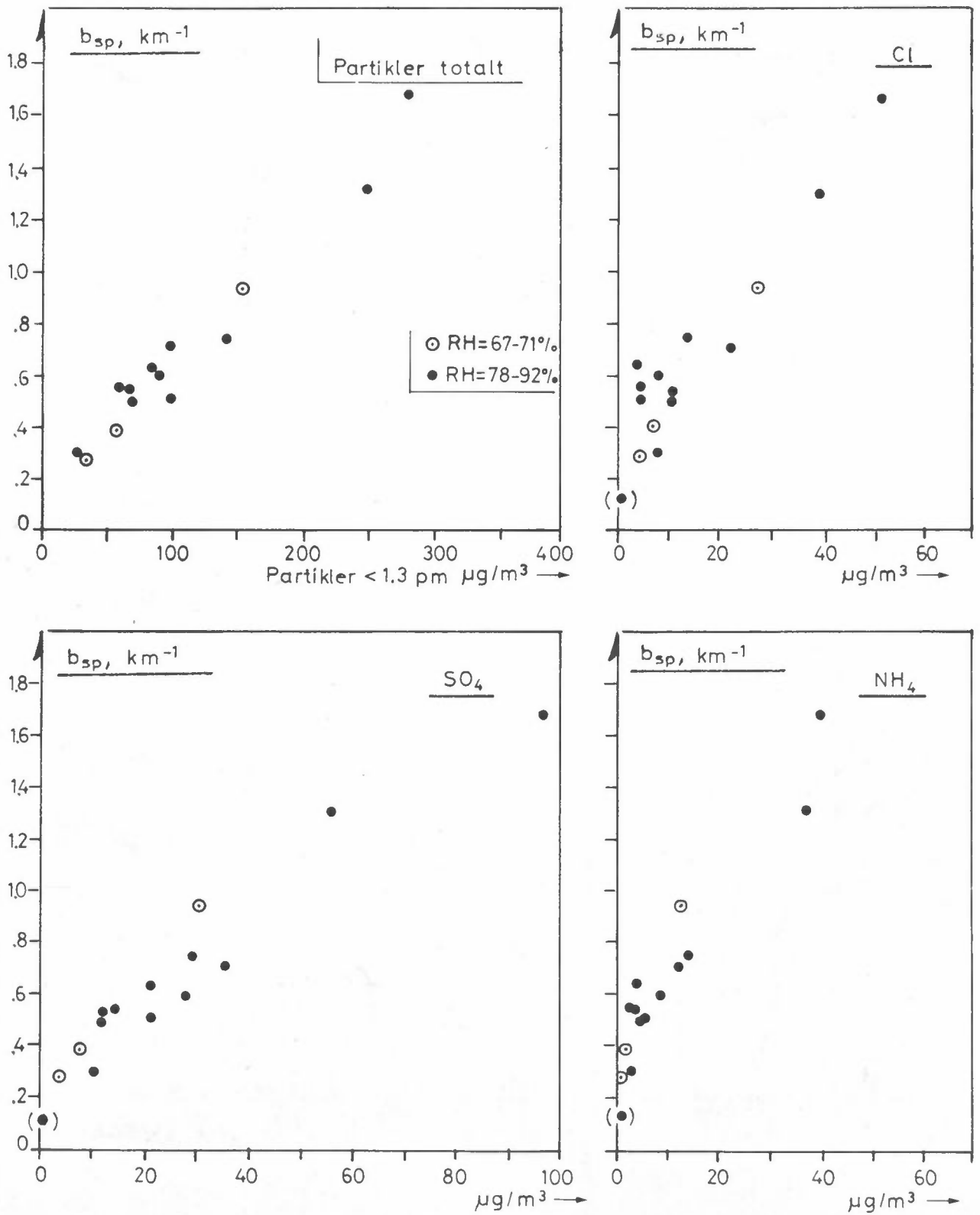
Y	X	a	b	r	n
b_{sp}	Partikler totalt	0.052	0.15	0.98	14
b_{sp}	SO ₄	0.016	0.25	0.97	15
b_{sp}	NH ₄	0.031	0.35	0.75	15
b_{sp}	Cl	0.027	0.28	0.95	15

Regresjonskoeffisienten, a , for partikler totalt var 0.052. Dette tilsvarer $W/b_{sp} = 190 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{km}$. Dette ligger i nedre del av det området for W/b_{sp} som er funnet fra målinger i byatmosfærer i USA, se seksjon 2.3, ligning 5. Partiklene i disen i Grenland er følgelig svært effektive lysspredere.

Tilsvarende koeffisient for sulfat, 0.016, eller $\text{SO}_4/b_{sp} = 63 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{km}$, ligger nær nedre grense for SO_4/b_{sp} som er funnet ved flymålinger over Sør-Skandinavia, se seksjon 2.3, ligning 6. Dette kan for en stor del skyldes at Grenlandsdisen inneholder andre partikler enn sulfat som bidrar i større grad til lys-spredningen enn tilfellet er i langtransporterte forurensninger fra kontinentet.

Det var meget god sammenheng mellom b_{sp} , målt som beskrevet i kapittel 3, dvs. ved fuktighet lavere enn ca. 70%, og partikler totalt og de vannløselige hovedkomponenter. Det er ingen konsistent fordeling av punktene som funksjon av utendørs relativ fuktighet. Den relative fuktigheten ute påvirker derfor ikke lysspredningen målt i det optiske kammeret. b_{sp} som målt her representerer derfor lys-spredningen av partiklene i "tørr" tilstand, dvs. etter at det meste av vanninnholdet i de hygro-skopiske partiklene er fordampet på veien utenfra og inn i det optiske kammer i instrumentet.

Regresjonslinjene ga en b_{sp} på $0.15-0.3 \text{ km}^{-1}$ (lik koeffisient b i regresjonsanalysen) for ren luft med nevnte fuktighet som er fri for veibart støv. Dette gjaldt på Ås i november-desember 78, og skyldtes Rayleigh-spredningen samt luftas innhold av kondensasjonskjerner og fuktighet.



Figur 4.1: b_{sp} som funksjon av partikler totalt, SO₄, Cl og NH₄ på trinn 2 (< 1.3 μm).
(\bullet) - prøve 17

Den samlede siktreduksjonen som skyldes de ulike komponentene i disen, b'_{sp} , kan skrives som en sum av bidrag, W/a , fra de forskjellige komponenter.

$$b'_{sp} = \sum_j \frac{W_j}{a_j} \quad (8)$$

Garland (7) har vist at ligning 8 tilnærmet kan skrives

$$b'_{sp} = k \sum_j \frac{i_j W_j}{M_j} \quad (9)$$

i = antall ioner pr. molekyl

W = vektkonsentrasjon av en komponent (f.eks. $(NH_4)_2 SO_4$)

M = molekylvekten av stoffet

$k = 3RT/4\gamma$, hvor γ er overflatespenningen for vann ved temp. T ,

når ionene er løst i dråper som har nådd sin likevektsstørrelse i luft med en liten overmetting av fuktighet.

En kan anta at en slik addisjon er gyldig også for de ioner som er målt her, i den tilstand de befinner seg i i lufta.

Når en antar at all sulfat, klorid og nitrat foreligger som ammoniumsalter, kan en ved kombinasjon av ligning 8 og 9 sette opp følgende uttrykk:

$$b'_{sp} = \frac{1}{a} \left(\frac{M_O}{M_1} SO_4 + \frac{2}{3} \frac{M_O}{M_2} Cl + \frac{2}{3} \frac{M_O}{M_3} NO_3 + \dots \right) \quad (10)$$

$$b'_{sp} = \frac{1}{a} (1.40 \cdot SO_4 + 2.55 Cl + 1.45 NO_3 + \dots) \quad (11)$$

M_O, M_1, M_2, M_3 er molvektene for henholdsvis $(NH_4)_2 SO_4, SO_4, Cl$ og NO_3 , og SO_4, Cl og NO_3 betegner vektkonsentrasjonen av ionene.

a er faktoren i ligning 8 for $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ alene. Denne faktoren er teoretisk bestemt til å ligge innenfor 100-200 ($\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{km}^{-1}$) ved relativ fuktighet ca 70% (7). Ved laboratorieforsøk er den bestemt til 97 (8).

Ved hjelp av ligning 11 og de observerte sulfat, klorid og nitrat-konsentrasjoner, kan en beregne den lysspredningskoeffisient som disse ionene forårsaket. Begrenset til prøvene 3-16, da det foreligger samtidige b_{sp} -målinger, får en de resultater som er gitt i tabell 4.6, når ligning (11) beregnes for hver prøve og resultatene midles og en regner med bare sulfat, klorid og nitrationer.

Tabell 4.6: Bidraget fra sulfat-, klorid- og nitrat-ioner til lysspredningen i industriidris på Ås, basert på 14 prøver i tiden november 78 - januar 78.

Bidrag til b_{sp}	$\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3$			SO_4			Cl		NO_3			
	mid.	enkeltprøve max min		mid	enkeltprøve max min		mid	enkeltprøve max min		mid	enkeltprøve max min	
km^{-1}	$\frac{70}{a}$			$\frac{38}{a}$			$\frac{29}{a}$			$\frac{3.4}{a}$		
%	100	100	100	54	73	37	41	58	21	5	9	2

Det er som tidligere antatt at 75 prosent av klorid-ionene forekommer som partikler med diameter mindre enn 1.3 μm , og at de nevnte ioner er bundet til ammonium.

Sulfationene ga det største bidraget til b_{sp} . Bidraget fra klorid var noe mindre enn fra sulfat. Som nevnt tidligere er det mulig at en har tapt noe Cl-ioner fra filtret under prøvetaking. Cl-bidraget kan derved være noe større enn vist i tabell 4.6. Bidraget fra nitrat var svært lite.

Tabell 4.7 gir b'_{sp} , i middel for prøvene 3-16, for ulike verdier av a.

Tabell 4.7: Beregnet b'_{sp} (fra ligning 11) for ulike verdier av a for ammoniumsulfat.

a [$\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{km}^{-1}$]	b'_{sp} km^{-1}
100	0.70
125	0.56
150	0.47
175	0.40
200	0.35

For prøvene 3-16 var målt b_{sp} i middel lik $0.75[\text{km}^{-1}]$. Korrigert for en bakgrunnsverdi på ca. $0.20[\text{km}^{-1}]$ får man en målt b_{sp} som skyldes ioner og andre partikler som er lik $0.55[\text{km}^{-1}]$. Ut fra tabell 4.7 viser dette at i middel må a være større enn ca. $125 [\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{km}^{-1}]$, fordi beregnet b'_{sp} for sulfat, klorid og nitrat samlet ikke kan være større enn målt b_{sp} .

For $a = 200$, som er angitt som teoretisk øvre grense, er b'_{sp} , beregnet for ammoniumsaltene av sulfat, klorid og nitrat, i middel ca. 64% av målt b_{sp} , når denne er korrigert for bakgrunnsverdi. Til sammenligning utgjorde disse saltene ca. 37% av vekten av små partikler. Om a i realiteten er mindre enn den angitte øvre grense, vil saltenes bidrag til b_{sp} bli tilsvarende høyere.

Synsvidden observert på Ås var under forurensningsdis vinteren 78/79 betydelig lavere enn den som de målte b_{sp} -verdier tilsvarer, fordi b_{sp} er målt ved relativ fuktighet lavere enn ca. 70%. Dette er diskutert i seksjon 3.3 og 3.4.

Når relativ fuktighet ute er 80-90%, er virkelig b_{sp} ca. 3 ganger høyere (og synsvidden derved ca. 1/3) enn den som er målt ved 70%, på grunn av fuktighetsabsorpsjon på hygroskopiske salter av ammonium (se figur 3.4).

Bidraget fra de hygroskopiske ammonium-saltene til siktreduksjonen på Ås i måleperioden var derved i realiteten vesentlig større enn de minst 64% som en kom fram til ovenfor. Bakgrunnens betydning reduseres da til omtrent 10% av observert b_{sp} , og de hygroskopiske saltene vil, med sin absorberte fuktighet, sannsynligvis øke sitt relative bidrag utover 75-80%.

I tåke-situasjoner reduseres synsvidden i forurensningsdis med en faktor på 20-40 i forhold til målt ved mindre enn 75% fuktighet, ifølge figur 3.4. I slike situasjoner vil alle kondensasjonskjerner vokse til en likevektstørrelse, og saltenes relative bidrag vil bli mindre enn når fuktigheten ligger i området 80-90%.

4.5 Total-analyse av partikkelmassen

En total-analyse av partikkelmengden krever at man i tillegg til de utførte analyser av vannløselige ioner kan bestemme andre mulige betydelige komponenter slik som partiklenes vanninnhold, organiske komponenter, sot, silisium og andre.

Glassfiberfiltre ble valgt i dette prosjektet fordi det er det mest stabile medium for veiing. Silisium-analyser er derved ikke mulig å gjennomføre på de foreliggende prøver. NILU har ikke en spesifikk analysemetode for sot-innholdet i slike prøver.

Organiske komponenter kan analyseres ved å ekstrahere filtret i løsningsmidler som cykloheksan eller en metanol-kloroformblanding. Dette er utført for to prøver, 14, trinn 2 (3-4.1) og 15, trinn 2 (4.1). Filtrene ble først ekstrahert i vann for å fjerne vannløselige ioner, deretter i cykloheksan, deretter i en 1:2 metanol-kloroformblanding. Resultatene er vist i tabell 4.8.

I begge prøvene utgjør de organiske komponenter ca. 20% av den samlede partikkelmassen. Sammen med de vannløselige komponenter gjør man da rede for henholdsvis 74.0 og 90.9% av partikkelmassen.

Tabell 4.8: Resultater av analyse av organiske komponenter.

	Partikler totalt $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Org.komponenter $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Andel av totalvekt, prosent		
		Løselig i CH	Løselig i met/kloro.	sum org. komp.	Sum vannløs komp.	Samlet
14. trinn 2	252.3	31.8	15.6	18.8	55.2	74.0
15, trinn 2	280.3	11.6	52.8	23.0	67.9	90.9

Det er mulig å få en indikasjon også på vannmengden i slike prøver. Det kan gjøres ved å bestemme kondisjonert vekt av filtret både ved ca. 45% fuktighet og ved nær null fuktighet, både før og etter prøvetakingen. Vektdifferansen ved 45% og \approx 0% fuktighet for filter med prøve korrigert for samme differanse for rent filter, bør gi en indikasjon på mengde vann på partiklene på filtret. Slik vei prosedyre er ikke fulgt i denne undersøkelsen. Vannmengden bestemt slik vil ikke være lik vannmengden på partiklene i sin tilstand i lufta.

Forøvrig kan man søke å unngå det problemet som partiklenes vanninnhold skaper ved veiingen, ved å kondisjonere filtret før og etter prøvetaking i luft med ca. 0% fuktighet.

For prøvene 1-16 har man i middel forklart ca. 50% av vekten av små partikler ved hjelp av analyse av vannløselige hovedkomponenter. Dersom tabell 4.8 gir et representativt bilde av innholdet

av organiske komponenter kommer man med uorganiske, vannløselige og organiske komponenter i middel opp i ca. 70% av vekten. Vanninnholdet av partiklene på filterne ved 45-50% relativ fuktighet er ikke kjent. Ammoniumsaltene er hygroskopiske og vil kanskje beholde noe av sitt vanninnhold, selv ved kondisjoneringen av filterne. Dette antas å være lite, i høyden 10% av totalvekten.

Totalt sett utgjør da summen av mengdene av de syv vannløselige komponenter prøvene er analysert på, samt organiske komponenter, 70-80% av samlet partikkelvekt.

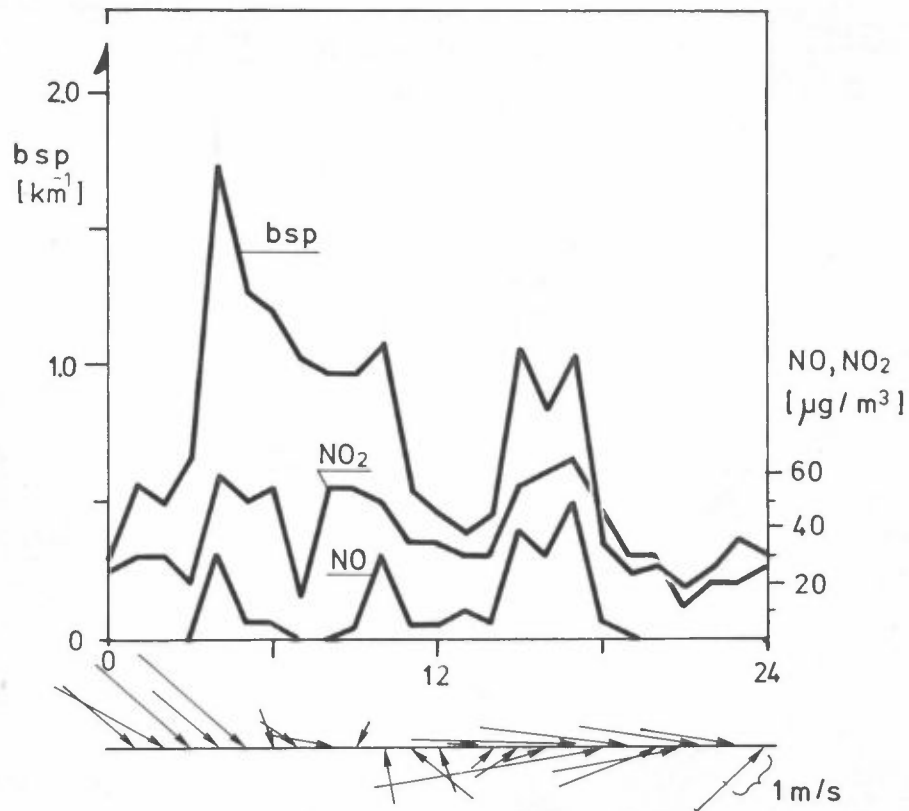
4.6 Disepisoder den 18. desember 1978

Det er hittil diskutert disforhold når vindretningen står mer eller mindre direkte fra nord-nordvest mot Ås. I løpet av måleperioden ble det også registrert et tilfelle av betydelig disdannelse ved vind fra sørvest.

Figur 4.2 viser forløpet av b_{sp} , NO, NO₂, vindretning og vindstyrke den 18.12.

Fram til kl. 09 sto vinden fra nordvestlig og nordlig retning, og disen skyldtes sannsynligvis utslippet fra Herøya. NO₂ var også høy i denne perioden, og enkelte timer hadde forhøyde NO-verdier. Vinden spaknet til nesten vindstille. I perioden 10-14 ble disen, NO og NO₂-konsentrasjonen merkbart redusert. Vindretningen på Ås vekslet da med suksessive observasjoner SSØ-SØ-SSØ-V-SV, og vindstyrken var lav (0.3-1.4 m/s). Klokken 14 kom disen igjen og varte i ca 3 timer. Både NO- og NO₂-nivået økte betraktelig, men det var et lavere NO₂/NO-forhold enn om morgenen. Vinden i denne perioden var sørvestlig med styrke 0.5-1 m/s.

Om man tar utgangspunkt på Ås klokken 14 og følger vindbanen bakover i tid, basert på vindobservasjoner på Ås, går banen vestover, deretter sørøstover og er ved 11-tida ved Langesund.



Figur 4.2: Observasjoner på Ås den 18. desember 1978 av b_{sp} , NO , NO_2 , vindstyrke og vindretning.

Vindobservasjonene på Ås kan være lite representative for et større område, når vinden er svak og skifter som den gjør i denne perioden. En kan derfor ikke bestemme sikkert om disen i 15-17-tiden skyldtes Herøya-disen om morgenen som etter en runde kommer tilbake, om det er dis assosiert med utslipp i Brevik, eller om det er andre kilder som for eksempel langtransport. Den kjemiske sammensetningen av partiklene tyder på at det første er mest sannsynlig, men at det økte NO/NO_2 -forholdet og en forhøyet Ca-konsentrasjon, kan tyde på et tilskudd fra Brevik. Sulfatverdier fra NILUs stasjoner på Birkenes og Treungen tyder ikke på langtransport av betydning i denne perioden.

Partikkelprøve 8 inkluderer en del av disepisoden den 8.12, kl 15-17. Hovedmengden av små partikler i prøven stammer sannsynligvis fra denne disepisoden. I denne prøven utgjorde de 7 vannløselige komponenter ca 66% av totalvekten. Om disen stammer fra Herøya etter en "runde" i området, er det rimelig at de vannløselige komponenter i denne prøven utgjør en større del av totalvekten enn det som er tilfellet for prøvene med direkte påvirkning fra nordnordvest. Utslippet har i så fall hatt vesentlig lengre tid til en mere fullstendig overgang fra gass til partikkelfase. SO₂-nivået den 18.12, 15-17 var således lavt på Ås, ca 6 µg/m³. b_{sp} målt i 15-17-tiden var ikke vesentlig lavere enn under den direkte påvirkning om formiddagen. Dette kan i så fall forklares ved at spredningen av røykfanen i løpet av dens bevegelse i området fra formiddagen og fram til 15-17-tiden ble oppveid av partikkeldannelse i røykfanen i løpet av samme tid.

5 BETYDNINGEN AV FORURENSNINGER TRANSPORTERT INN I GRENLANDS-OMRÅDET

Betydningen for disen i Grenland av forurensninger transportert inn i området kan vurderes ved å sammenligne døgnmiddelverdier av sulfat på stasjoner i området med stasjoner utenfor. En har benyttet Birkenes, Treungen og Vasser som basis for å vurdere om forurensningen i Grenland er transportert inn i området. En har valgt en sulfatkonsentrasjon på 10 µg/m³ som nedre grense for observerbar dis i området, og vurdert det antall av slike dager da det kan sannsynliggjøres at forurensningen er transportert inn.

I langtransportert dis, der sulfat ofte er en relativt sett større komponent enn i den lokale Grenlandsdisen, vil verdien av k i ligning 10 sannsynligvis være nær den som er funnet ved flyprøvetaking over Sør-Skandinavia, k ≈ 200 (middelverdien i ligning 6). Dette gir en synsvidde (døgnmiddel) på ca 68 km, ved en sulfatkonsentrasjon på 10 µg/m³ i langtransporterte luftmasser ved < 75% RH, dersom langtransportepisoden varer over hele døgnet. Det er oftest tilfelle. Ved høyere luftfuktigheter

reduseres denne synsvidden betydelig, kanskje til 20-25 km ved 80-90% RH.

Langtransportert forurensning gir ikke på langt nær samme grad av siktreduksjon som den lokale disen ved samme døgnmiddelverdi av sulfat, både fordi klorid og nitrat kommer inn som diskomponenter i den lokale disen, og fordi disen ofte varer i vesentlig kortere tid.

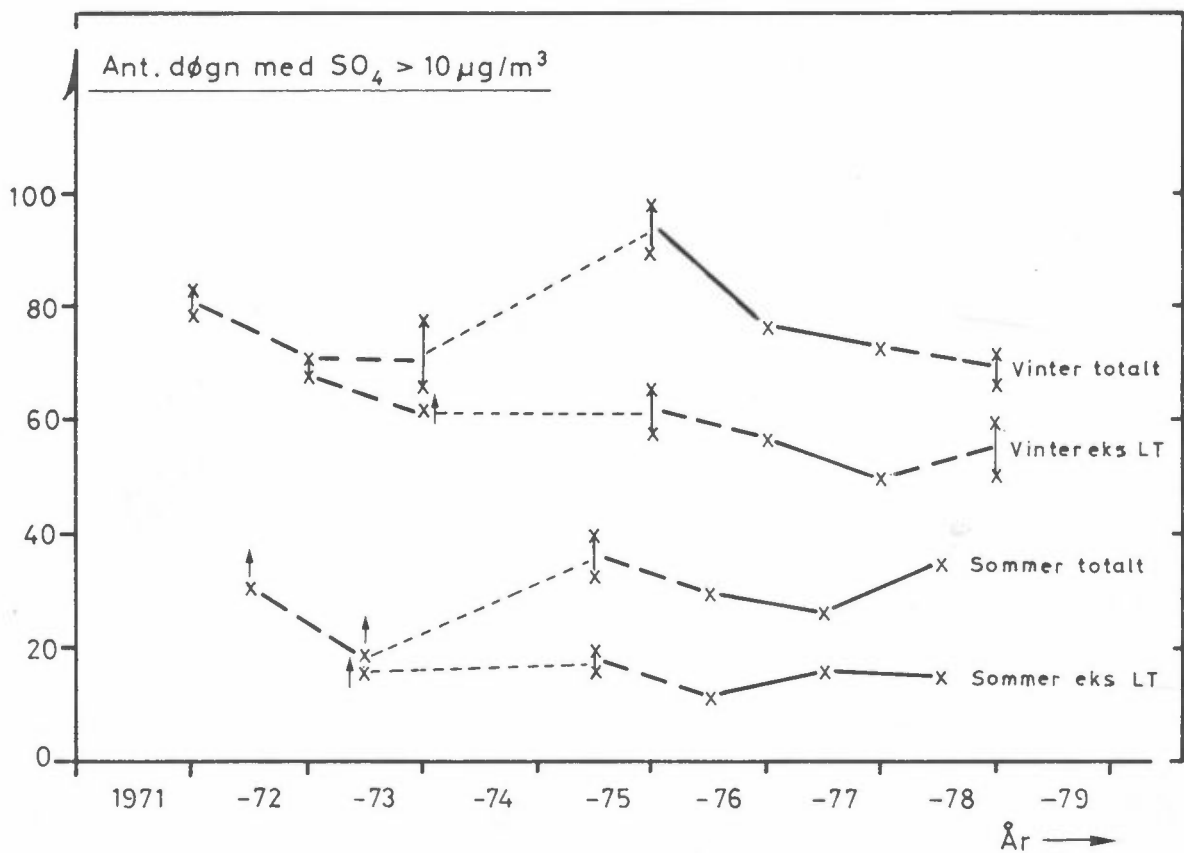
I figur 5.1 har en plottet antall døgn på Ås som hadde sulfatkonsentrasjon høyere enn $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. For hvert halvår er tegnet to kurver, en for totalt antall døgn med $\text{SO}_4 > 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, og en kurve der antall døgn da forurensningen er transportert inn i området er ekskludert. Ekskluderingen er basert på kriterier i tabell 5.1.

Tabell 5.1: Kriteria for bestemmelse av kilden til SO_4 -forurensningen på Ås i Grenland.

SO ₄ -konsentrasjon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) på:		Kilde
Ås	Birkenes/Treungen/Vasser	
> 10	< 7	Lokal
> 10	> 7, og << SO ₄ , på Ås	Lokal
> 10	> 7, og ≈ SO ₄ , på Ås	Regionalt/ langtransport

Antallet døgn med transport av forurensninger inn i området fremkommer som differansen mellom de to kurvene for hver årstid.

Tallene som figur 5.1 er basert på er vist i tabell 5 i datavedlegget. Av tabellen framgår at det mangler data for enkelte måneder. For de måneder der tallene er i parentes, er det ikke fullstendig sett med data. Dette gjelder spesielt somrene 1972 og 1973. I disse periodene ble bare endel filtre valgt ut for



Figur 5.1: Hyppigheten av døgn med $\text{SO}_4 > 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ på Ås for hvert halvår i tiden 1971-79. LT - episoder med langtransport/regional dis.

analyse på SO_4 . Bare filtre for dager med antatt høyt SO_4 -nivå ble valgt ut, basert på skjønn og analyser av andre komponenter. For somrene 1972 og 1973 ligger antallet døgn sannsynligvis høyere enn avmerket på figur 5.1. Dette er antydnet med piler på figuren.

I de tilfeller der det mangler data for en hel eller deler av en måned, har en sett på laveste og høyeste antall dager med høy forurensning som er observert i samme måned i de øvrige år, og lagt dette til. Antallet observasjoner for vedkommende halvår framkommer derfor som en loddrett stolpe på figuren, innenfor hvilken det er stor sannsynlighet for at det reelle antall ligger.

En ser at antallet døgn med forurensningstransport inn til Grenlandsområdet varierer en del fra år til år. I middel ligger antallet med forurensningsepisoder utenfra på ca 15 i sommerhalvåret og ca 20 i vinterhalvåret. Om sommeren utgjør dette ca halvparten av alle døgn med høyt sulfatnivå på Ås, mens det om vinteren utgjør ca en fjerdedel av slike døgn.

Døgnverdien av sulfat ligger under langtransportperioder oftest i området $5-20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tabell 5.3 viser antall døgn pr. år med sulfatverdier høyere enn hhv 20 og $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ på Birkenes og Vasser.

I 1976 var det svært mange høye sulfatverdier på Vasser, men ikke på Birkenes. Forøvrig er det få døgn pr. år med høye sulfatverdier på disse stasjonene.

Ved $30 \mu\text{g SO}_4/\text{m}^3$ og 80-90% RH, vil en langtransportepisode gi en synsvidde på anslagsvis 6-8 km. Dette er relativt god sikt sammenlignet med typiske lokale disepisoder.

Tabell 5.3: Antall døgn pr. år med sulfatverdier høyere enn hhv 20 og 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ på Birkenes (B) og Vasser (V).

	$\text{SO}_4 > 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$		$\text{SO}_4 > 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
	B	V	B	V
1973	1	4	0	2
1974	4	5	2	1
1975	3	12	0	2
1976	4	27	1	13
1977	0	10	0	2
1978	1	6	0	2

En kan derved si at det relativt hyppig, anslagsvis 20 døgn pr halvår, er episoder med innslag av langtransporterte luftforurensninger i Grenlandsområdet med døgnmiddelverdier av sulfat høyere enn $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Svært få av disse episodene vil kunne gi en siktreduksjon i området som er sammenlignbar med den en har under typiske lokale disepisoder. Langtransportepisodene dekker imidlertid større områder enn de lokale disepisoder.

6 FORSLAG TIL VIDERE UNDERSØKELSER

En detaljert forståelse av dis-dannelsen i Grenland fordrer i tillegg til dis-målinger kort-tids målinger av gass- og partikkelkomponenter i disen, i første rekke av svoveldioksyd/sulfat, ammoniakk/ammonium, klor/klorid og nitrogenoksyder/nitrat. Partikkel-prøvetakingen må skille partiklene i minst 2 fraksjoner. Det fordres også kontinuerlige meteorologiske målinger i området, først og fremst av vindretning, vindstyrke og relativ fuktighet, slik at en har oversikt over luftmassenes bevegelse i området, spesielt under land/sjøbrissituasjoner. Visuelle siktobservasjoner på noen steder i området er også ønskelig.

Kontinuerlige dis-målinger i området nordvest for Herøya om sommeren samtidig med målinger av gass- og partikkelkomponenter og lokal meteorologi vil i tillegg til det som allerede er gjort gi et bedre grunnlag for å vurdere endelig de ulike utslippskomponenters bidrag til dis-dannelsen, og for å vurdere mulige videre strategier for å redusere disdannelsen.

Sommerprogrammet bør dekke 15-20 dis-episoder, samt noen andre perioder uten disdannelse. Forbindelsen med vintermålingene på Ås bør knyttes ved å foreta målinger der også i sommerperioder, i tillegg til målinger i området nordvest for Herøya.

Foreløpig spesifikasjon av måleprogrammet

Målesteder: Klyveåsen og Ås

Måleperiode: Juni - september

Målinger:

Dismålinger: Kontinuerlig med integrerende nefelometer. b_{sp} bør måles både ved aktuelle luftfuktighet og ved <70-75% relativ fuktighet.

Siktobservasjoner: Visuelle observasjoner av synsvidde, i fire retninger, ved 3-4 posisjoner rundt Frierfjorden.

Partikkel-

komponenter:

To-trinns prøvetaking.

Total vekt: Sierra prøvetaker m/glassfiber-filtre.

Kondisjonering i tørr luft.

Analyse av SO_4 , NH_4 , Cl, NO_3 , Ca, Mg, Na, Si, pH: Sierra m/papir- eller Acropor bunnfilter.

Organiske komponenter: Analyseres på Sierra-filtrene.

Gasskomponenter: SO₂-impregnert filtermetode.
NH₃-prøvetaking etter for-avskilling av
partikler i t fraksjoner.
HCl- " " " " " "
Cl₂- ønskelig
NO/NO₂ - kontinuerlig, kjemiluminescens
O₃ - " " " "

Meteorologi: Kontinuerlig registrering av vind, tempera-
tur og relativ fuktighet på Ås.
Kontinuerlig registrering av vind på
stasjonen i Klyveåsen.

I tillegg til dette programmet bør det vurderes å analysere andre komponenter (primære hydrokarboner, PAN) som kan gi en bedre forståelse av den fotokjemiske aktiviteten i forbindelse med dis-episodene.

7 REFERANSER

- (1) Charlson, R.J. et.al. On the generality of correlation of atmospheric aerosol mass concentration and light scatter. *Atmos. Environ.*, 2, 455-464 (1968).
- (2) Waggoner, A.P., et.al. Sulphate-light scattering ratio as an index of the role of sulphur in tropospheric optics. *Nature*, 261, 120-122 (1976).
- (3) Eggleton, A.E.J.
Atkins, D.H. Results of the Tees-side investigation. Harwell, Berkshire, United Kingdom, Atomic Energy Authority, 1972. (CAERE-R 69837.)
- (4) Schjoldager, J. Statistisk bearbeiding av forurensningsdata og meteorologiske data, samt bruk av spredningsmodeller i Nedre Telemark. Lillestrøm 1975. (NILU OR 15/75.)
- (5) Hanssen, J.E.
Sivertsen, B. Bamble-undersøkelsen, måling av luftforurensning i Grenland 1975/1976. Lillestrøm 1977. (NILU OR 2/77.)
- (6) Haver, E. Dis i Grenland. Sluttrapport fra disundersøkelser i 1977 og 1978. Oslo, Norsk Hydro, 1979.

- (7) Garland, J.A.
Bransen, J.R.
Cox, C.C. A study of the contribution
of pollution to visibility in
a radiation fog.
Atmos. Environ., 7, 1079-1092
(1973.)
- (8) Pueschel, R.F.
Charlson, R.J.
Ahlquist, N.C. On the anomalous delique-
scence of sea-spray aerosols.
J. Appl. Met. 8, 995-998 (1969).
- (9) Statens forurensnings- Årsrapport 1977 fra Kontroll-
tilsyn seksjonen for industrifor-
urensning i nedre Telemark.
Oslo, 1977.

VEDLEGG

DATATABELLER

Tabell 1: b_{sp} (b_{scatt}) på Ås som funksjon av relativ fuktighet og vindstyrke for perioden 23.11.78-8.1.79.

BELASTNING SOM FUNKSJON AV VINDRETNING OG STABILITET. ENHET: BSCATT																	
	0.0- .7 RH				.7- .8 RH				.8- .9 RH				OVER		.9 RH		
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	ROSE
30	1.28	1.33	1.48	1.37	1.61	1.60	1.56	1.64	3.09	1.95	1.70	1.48	2.40	1.73	1.74	I	1.76
60	I	I	1.43	I	1.43	1.78	1.73	1.78	2.13	1.92	1.70	1.78	2.95	1.84	I	I	1.95
90	I	I	I	I	I	I	I	I	2.54	I	I	I	I	I	I	I	2.54
120	I	I	I	I	I	I	I	I	2.84	I	I	I	3.71	2.85	I	I	3.13
150	I	I	I	I	I	I	I	I	2.93	.30	I	I	2.76	2.83	I	I	2.64
180	I	I	I	I	I	I	I	I	3.79	.29	I	I	.38	2.71	2.60	2.70	2.58
210	I	I	I	I	I	I	I	I	3.43	I	I	I	I	I	2.64	2.70	2.89
240	I	I	I	2.29	2.60	.20	I	I	2.54	I	I	I	7.84	I	I	I	3.85
270	I	2.29	2.29	2.29	I	1.82	2.29	2.29	3.96	I	2.86	I	4.02	10.40	I	I	3.13
300	I	4.27	1.85	1.56	I	5.61	2.25	I	7.32	6.71	I	I	5.48	4.87	3.49	I	4.97
330	I	2.55	3.35	1.00	5.00	5.80	2.31	I	6.24	7.39	4.73	I	5.07	7.74	I	I	6.07
360	1.43	1.29	1.35	1.05	1.73	1.79	1.35	1.09	3.98	2.42	.77	1.00	3.78	3.11	I	I	2.04
STILLE	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
TOTAL	1.36	2.07	1.71	1.44	1.96	3.03	1.57	1.46	4.24	4.44	1.79	1.33	3.91	4.39	2.21	2.70	3.05
FORDELING PÅ RELATIV FUKTIGHET																	
	0.0- .7 RH				.7- .8 RH				.8- .9 RH				OVER		.9 RH		
	1.80				2.34				3.98						3.90		
FORDELING PÅ VINDHASTIGHET																	
	3.92				3.58				1.70						1.50		
ANTALL TIMER = 1224, ANTALL OBSERVASJONER = 1070																	
Vindstyrkeklasser 1: 0-2 m/s																	
2: 2-4 m/s																	
3: 4-6 m/s																	
4: > 6 m/s																	

Tabell 3 : Partikkelenes størrelsesfordeling og komponentenes vektandel av partikler totalt.

Prøve	Trinn	Partikkelfordeling $d > 1.3 \mu\text{m}$						Andel av samlet partikkelvekt						Sum ²	
		Støv %	SO ₄ %	NH ₄ %	NO ₃ %	Ca %	Mg %	SO ₄ %	NH ₄ %	Cl ⁻¹ %	NO ₃ %	Ca %	Mg %		Na %
1 05.12.78	1							30.7	2.4		8.8	4.7	2.2		48.8
	2	70	65	88	47	21	18	25.2	7.7	(15.7)	3.4	0.6	0.2		52.8
	Sum							26.9	6.1	10.9	5.0	1.8	0.8	1.0	52.5
2 05.12.78	1							27.6	2.5		5.8	4.0	3.6		43.5
	2	67	70	92	52	25	20	31.7	14.6	(19.7)	3.0	0.7	0.4		70.1
	Sum							30.4	10.6	13.3	3.9	1.8	1.5	0.5	62.0
3 06.12.78	1							39.3	1.2		6.7	7.9	4.0		59.1
	2	83	75	96	61	30	35	24.7	5.4	(5.1)	2.2	0.7	0.5		38.6
	Sum							27.3	4.7	4.2	3.0	1.9	1.1	0.4	42.6
4 10.12.78	1							21.7	<0.3		7.0	5.2	4.2		38.4
	2	82	82	99	21	32	36	21.1	6.9	(16.9)	2.3	0.5	0.5		48.2
	Sum							21.2	5.7	13.9	3.2	1.4	1.2	0.7	47.3
5 10-11.12.78	1							29.0	2.5		5.9	3.4	3.0		43.8
	2	79	73	92	62	27	28	20.6	7.5	(6.8)	2.6	0.3	0.3		38.1
	Sum							22.4	6.4	5.3	3.3	1.0	0.9	0.3	39.6
6 17.12.78	1							26.8	0.4		7.3	4.5	3.6		42.6
	2	82	78	98	66	28	31	20.7	5.7	(10.2)	3.1	0.4	0.4		40.5
	Sum							21.8	4.8	8.3	3.9	1.1	0.9	0.4	41.2
7 18.12.78	1							30.6	0.7		4.7	8.6	1.8		46.4
	2	70	71	97	59	13	20	31.6	10.4	(8.8)	2.9	0.6	0.2		54.5
	Sum							31.3	7.5	6.1	3.5	3.0	0.6	0.5	52.5
8 18-19.12.78	1							24.6	0.1		7.6	10.6	2.6		45.5
	2	55	64	99	29	13	8	35.7	9.0	(26.6)	2.6	1.3	0.2		75.4
	Sum							30.7	5.0	14.6	4.9	5.5	1.3	3.9	65.9

Tabell 3 forts.

Prøve	Trinn	Partikkelfordeling $d > 1.3 \mu\text{m}$						Andel av samlet partikkelvekt						Sum ²	
		Støv %	SO ₄ %	NH ₄ %	NO ₃ %	Ca %	Mg %	SO ₄ %	NH ₄ %	Cl ¹ %	NO ₃ %	Ca %	Mg %		Na %
Middel (1-16)	1	72	72*	91 ¹ *	54*	23*	25*	25.2	1.6		5.4	4.9	3.5		40.6
"	2							24.2	8.7	(13.8)	2.3	0.5	0.4		50.0
"	Sum							24.3	6.8	9.8	3.2	1.7	1.2	0.6	45.6
Høyest	1							39	4.2		9	11	5.6		
Lavest	1							12	<0.3		1.4	1.5	1.5		
Høyest	2	83	86	99	69	32	36	36	15	(26)	4.1	1.3	0.6		
Lavest	2	55	41	71	29	13	8	10	4	(5.1)	1.0	0.2	0.2		

¹ Tallet i parentes for trinn 2 betegner at all klorid på filteret fra EK-prøvetakeren antas å være på partikler < 1.3 μm .

² Summen for trinn 2 er beregnet inkl. kloridmengden.

* Middell for prøvene 1-17.

Tabell 4.: Resultater av interkalibrering på ammonium-analysen.
Tall i $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Prøve nr ¹⁾	KS	NILU
2	28.9	27.0
3	10.8	6.7
4	16.7	16.8
5	4.7	3.5
6	15.1	13.2
7	7.8	9.1
8	2.1	1.4
9	29.3	> 23
11	2.9	1.2
15	29.6	28.2
16	18.0	>11.2
17	2.0	< 1.3
Middel (eks.prøve 9,16,17)	13.2	11.9

Regresjonsligning $KS = a \cdot NILU + b$

$a = 1.00$, $b = 1.27$

$r = 0.99$, $n = 9$

1) Samme tidsrom som prøvene avmerket i figur 3.1.

Tabell 5: Middeltkonsentrasjonen av sulfat (SO_4)-samt antall døgn (n)- når $SO_4 > 10 \mu g/m^3$ på As. Tall i parentes angir ufullstendig datagrunnlag.

1 Samlet

2 Ekskl. døgn med langtransport/regional forurensning.

	APR		MAY		JUN		JUL		AUG		SEP		OKT		NOV		DES		JAN		FEB		MARS		SOMMER (APR-SEP)		VINTER (OKT-MAR)			
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
1971/72 SO_4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	-	32	-	31	-	25	-	43	-	44	-	-	-	-	-	33	-
n	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	-	15	-	20	-	9	-	15	-	>9	-	-	-	-	79	-	
1972/73 SO_4	21	-	(14)	-	(14)	(14)	(19)	(19)	(19)	(19)	26	26	29	26	42	38	38	49	49	18	18	25	25	(20)	(22)	(20)	(22)	33	34	
n	>5	-	>4	-	>4	4	>3	3	>3	3	11	11	15	11	15	11	11	10	10	8	8	13	13	31	16	31	16	72	68	
1973/74 SO_4	02	(12)	(23)	(27)	(15)	(15)	(15)	(27)	(27)	(45)	(45)	26	26	46	48	(29)	(29)	33	39	13	14	(17)	(19)	(20)	(20)	(20)	(20)	28	30	
n	>1	>1	>3	>1	>8	>8	>2	>2	>3	>3	1	1	16	11	10	>14	>14	8	6	9	7	8	>3	>18	(16)	>66	(>56)			
1974/75 SO_4	(20)	(-)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
n	5	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1975/76 SO_4	-	-	25	36	16	17	19	18	13	20	18	19	28	31	24	31	-	-	46	46	31	44	18	24	(18)	(23)	(30)	(38)		
n	-	-	7	4	10	5	5	1	4	1	5	4	12	7	13	8	-	-	15	15	26	14	14	5	(31)	(15)	(80)	(49)		
1976/77 SO_4	15	12	16	12	26	-	13	13	16	14	24	24	16	20	27	27	27	29	32	40	33	43	21	23	18	17	26	30		
n	6	1	4	1	3	0	3	1	8	4	4	4	7	3	14	14	18	13	10	7	15	9	13	11	29	11	77	57		
1977/78 SO_4	12	12	13	-	13	13	10	10	12	12	17	24	17	18	31	31	34	39	27	48	31	38	23	23	14	15	27	33		
n	5	5	3	0	5	3	1	1	5	4	7	3	14	6	6	6	17	14	13	5	12	8	11	11	26	16	>3	50		
1978/79 SO_4	17	19	14	16	16	17	15	13	13	12	18	18	15	15	19	20	24	24	33	36	26	30	-	-	15	17	(24)	(28)		
n	8	4	8	2	8	4	6	2	3	1	2	2	11	5	4	10	10	18	16	16	12	-	-	-	35	15	(>58)	(47)		

**NILU**

TLF. (02) 71 41 70

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING

(NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FORSKNINGSRÅD)
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM
ELVEGT. 52.

RAPPORTTYPE Oppdragsrapport	RAPPORTNR. OR 15/79	ISBN--82-7247-111-6
DATO April 1980	ANSV.SIGN. B. Ottar	ANT.SIDER 66
TITTEL Måling av forurensningsdis på Ås i Grenland vinteren 1978/79		PROSJEKTLEDER St.Larssen NILU PROSJEKT NR 26078
FORFATTER(E) Steinar Larssen		TILGJENGELIGHET ** A OPPDRAAGSGIVERS REF.
OPPDRAAGSGIVER Statens forurensningstilsyn		
3 STIKKORD (å maks.20 anslag) Forurensningsdis Grenland Partikler		
REFERAT (maks. 300 anslag, 5-10 linjer) Målinger presenteres av synsvidde og partikkel- og gasskomponenter i forurensningsdisen på Ås i Grenland under vinterforhold. En sammenheng mellom synsvidden og konsentrasjonen av partikkelkomponenter er etablert. Sulfater og klorider ga de viktigste og nær like store bidrag til siktreduksjonen som ble målt i disse episoder. Analyser av vannløselige og organiske komponenter gjorde rede for ca 70% av total partikkelmasse, funnet ved veiling. Betydningen for disforholdene av forurensninger transportert inn i Grenlandsområdet vurderes.		
TITLE Measurements in pollution derived haze episodes in the Grenland district during the winter of 1978/79.		
ABSTRACT (max. 300 characters, 5-10 lines) Results are presented of measurements of visibility and particulate and gaseous components in industrial haze in the Grenland industrial area under winter conditions. Relationships between visibility and particulate components at the measurement site are established. Sulfate and chloride ions gave large and comparable contributions to the visibility degradation under haze episodes. Water soluble ions and organic components made up, on the average, some 70% of the total particulate mass, determined by weight. The contribution to the haze conditions from polluted air masses transported into the area is evaluated		

**Kategorier: Åpen - kan bestilles fra NILU A
Må bestilles gjennom oppdragsgiver B
Kan ikke utleveres C