

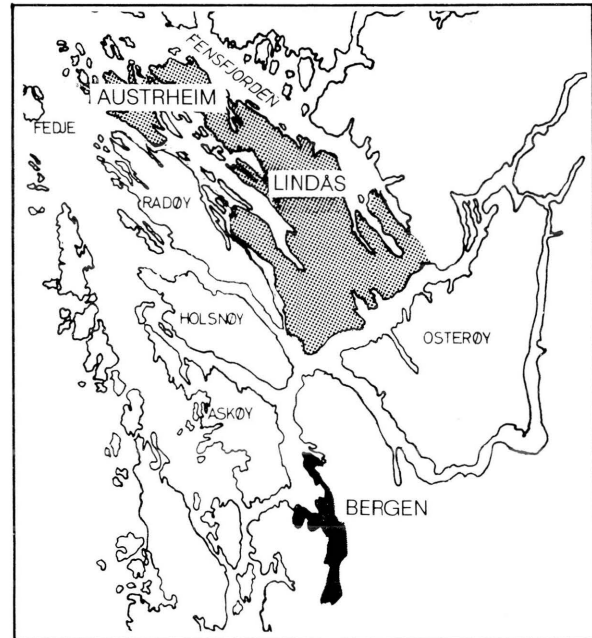
LINDÅS PROSJEKTET

RAPPORT NR. 33

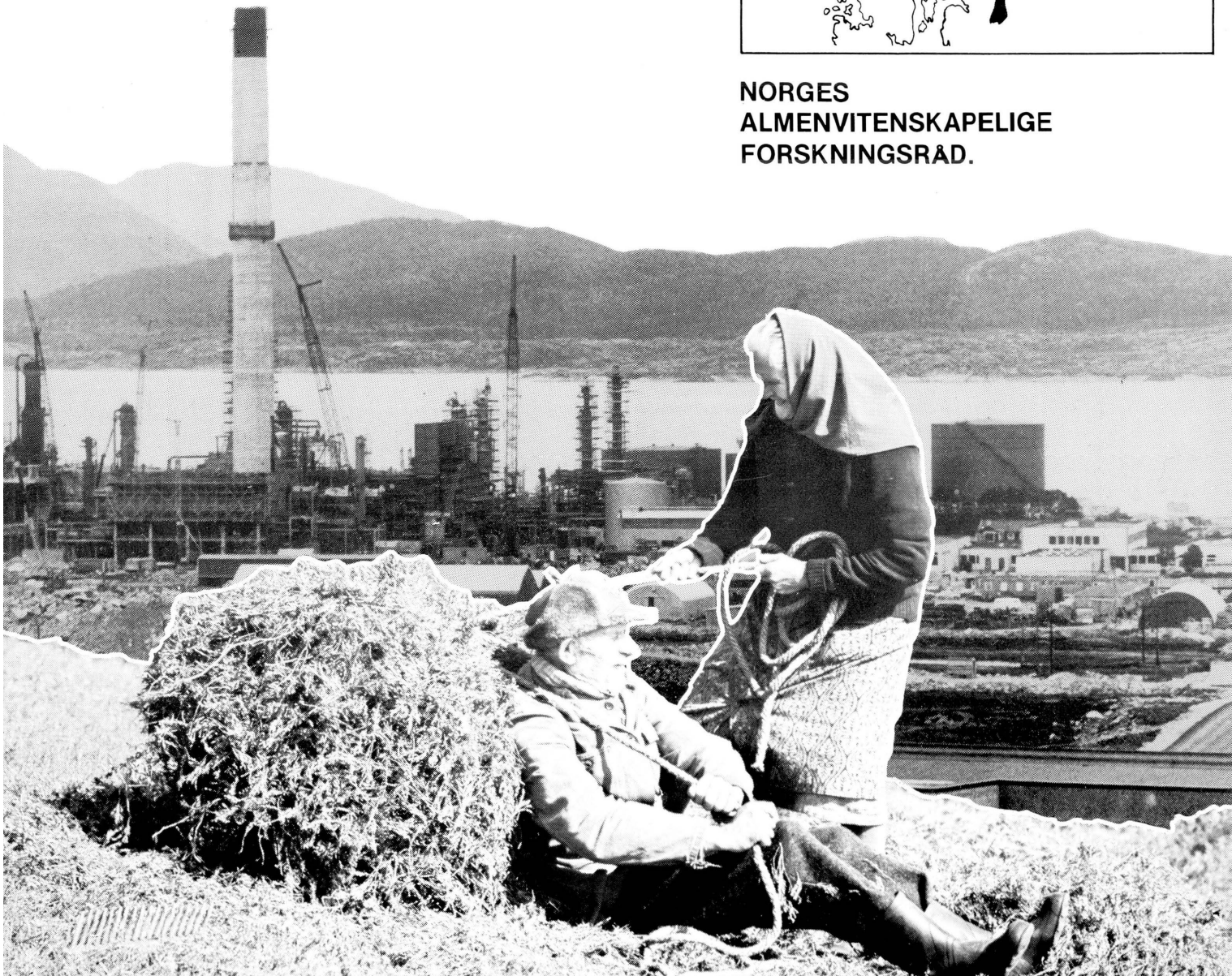
Eirik J. Førland

**Nedbørens kjemiske sammensetning
i Nordhordland 1973 - 1976.**

Bergen 1981



**NORGES
ALMENVITENSKAPELIGE
FORSKNINGSRÅD.**



NEDBØRENS KJEMISKE SAMMENSETNING

I NORDHORDLAND 1973 - 1976

Eirik J. Førland

Lindåsprosjektet
Universitetet i Bergen

1981

INNHOLDSFORTEGNELSE	Side
FORORD	1
1. INNLEDNING	3
2. FORURENSNINGER I LUFT OG NEDBØR	5
2.1. Kilder for noen vanlige ioner i nedbør	5
2.2. Lokale kilder for atmosfærisk svovel i Nordhord- land/Ytre Sogn.	7
2.3. Lokal utfelling av atmosfærisk svovel.	9
2.4. Estimering av nedbørnedfall av svovel fra olje- raffineriet på Mongstad.	15
3. STASJONSNETT OG MÅLEOPPLEGG	21
3.1. Stasjonsnett.	21
3.2. Prøvetaking.	24
3.3. Kjemisk analyse.	25
4. RESULTATER OG DISKUSJON	28
4.1. Data.	28
4.2. Konsentrasjon.	30
4.2.1. Nedbørveide månedsmidler.	30
4.2.2. Midlere ionekonsentrasjon i nedbør.	34
4.2.3. Frekvensfordeling og ekstrem-verdier.	37
4.2.4. Ionekonsentrasjon i nedbør før og etter drifts- start ved oljeraffineriet på Mongstad.	43
4.3. Nedfall.....	45
4.4. Ionekonsentrasjon- og nedfall som funksjon av vind- og trajektorieretning.	55
4.4.1. Beregning av døgnlig vind- og trajektorieretning for nedbørepisoder.	55
4.4.2. Ionekonsentrasjon som funksjon av bakkevindretning... ..	56
4.4.3. Ionekonsentrasjon som funksjon av trajektorieretning.	63
4.4.4. Trajektorieretning i noen episoder med høy sulfat- konsentrasjon og stort sulfatnedfall.	69
4.4.5. Ionesammensetning ved ulike vind- og trajektorie- retninger.	73
4.4.6. Sammenheng mellom ionekonsentrasjon og nedbørhøyde... ..	79
5. SAMMENDRAG	84
LITTERATUR	89
APPENDIX	93

FORORD

Målsettingen til det tverrfaglige LINDÅSPROSJEKTET (1971-1977) var å undersøke det vestnorske lyngheilandskapet som et totalt næringsssystem, belyse hvorledes dette systemet endrer seg over tid, og studere hvorledes industri-utbyggingen på Mongstad påvirker naturmiljø og samfunnsforhold i Nordhordland.

Lindåsprosjektet (LP) tok i 1973 til med kjemiske analyser av nedbøren i Nordhordland/Ytre Sogn. Hensikten var dels kartlegging av nedbørkvaliteten i området, dels å bringe til veie nedbørkjemiske bakgrunnsdata for Lindåsprosjektets biologiske undersøkelser, og dels å undersøke hvorvidt nedbørkvaliteten i området ville påvirkes av utslipp fra industrianleggene på Mongstad.

Rafinor A/S & Co. har finansiert driften av seks stasjoner med ukentlig prøvetaking av nedbør, og har også vederlagsfritt stilt til disposisjon meteorologiske data innsamlet ved Mongstad.

De innsamlede nedbør-prøver ble analysert for en rekke kjemiske komponenter: surhetsgrad (pH-verdi), konduktivitet, og konsentrasjon av sulfat, nitrat, kalsium, magnesium, klorid og sink.

De kjemiske analyser er blitt utført under ledelse av lektor Erling Meisingseth og ingeniør Ingerid Wefring ved Bergen Ingeniørhøyskole (BIH). De fleste av EDB-programmene som er benyttet i forbindelse med denne rapporten, er utarbeidet av forsker (SNSF) Arvid Skartveit.

Det norske meteorologiske institutt, avd. for hydrometeorologi takkes for opplysninger om døgnlige nedbørhøyder ved nedbørstasjonen 5275 Frøyset. Norsk institutt for Luftforskning (NILU) takkes for nedbørkjemiske data for Birkenes, Fitjar og Skei. Meteorologisk institutt og NILU takkes for trajektoriedata for Fitjar og Skei.

Geofysisk Institutt, avd. B, Universitetet i Bergen takkes for å ha påtatt seg renskriving og rentegning av manuskriptet.

Amanuensis Yngvar T. Gjessing takkes for assistanse ved igangsettelsen av de nedbørkjemiske undersøkelsene. Professor Kåre Utaaker og forsker Arvid Skartveit takkes for gode råd og for gjennomlesing av manuskriptet.

F. Cleveland takkes for rentegning av figurene, og
E. Thomsen takkes for maskinskriving av manuskriptet.
G. Bjelland

En spesiell takk rettes til Lindåsprosjektets observatører i Nordhordland og Ytre Sogn for den innsats og interesse de har vist i forbindelse med innsamlingen av nedbørprøver.

Oslo, november 1978.

Eirik J. Førland

1. INNLEDNING

Nedbøren som faller over Sør-Norge inneholder stundom store mengder antropogene forurensinger, og storparten av disse forurensningene kommer fra industriområder i Storbritannia og Sentral-Europa (Førland, 1973, Dovland et.al., 1976). Sørlandet og de sørlige deler av Østlandet er mest utsatt for slikt nedfall av antropogene forurensninger, men også over Vestlandet inneholder nedbøren stundom store mengder sterk syre, sulfat og nitrat (Fjeld, 1975, Førland et.al., 1975, Førland, 1976, Skartveit & Førland, 1976). Nedbørens innhold av sterke syrer ("sur nedbør") har forårsaket økende surhet og omfattende fiskedød i en rekke vann og elver i Sør-Norge (Brække, 1976). Nedfallet av syre vasker også ut næringsstoffer fra jordsmonnet. På lengre sikt kan derfor syre- nedfallet føre til redusert skogstilvekst. (Brække, 1976).

Over Vestlandet faller det nedbør fra luftmasser som har passert over industriområdene i Storbritannia og Sentral-Europa, og fra luftmasser som kommer fra Norskehavet. I tidligere rapporter over Lindåsprosjektets nedbørkjemiske målinger (Førland et.al., 1975, Førland, 1976, Skartveit & Førland, 1978) er det påvist at sterkt sur nedbør og store syrenedfall observeres både på Sørlandet og Vestlandet, men at tidsvariasjonene i nedbørens syreinnhold er betydelig større på Vestlandet enn på Sørlandet. Dette vil bli ytterligere dokumentert i denne rapporten.

Årsnedbøren i Nordhordland og Sogn er høy, og øker betydelig

fra kysten og innover mot midtre strøk. I denne rapporten vil det bli belyst i hvilken grad de ulike ioner (både av maritim og antropogen opprinnelse) i nedbøren vaskes ut og fortynnes fra kysten og østover.

Da Lindåsprosjektets nedbørkjemiske undersøkelser tok til i 1973 var det bare ubetydelige lokale utslipp av luftforurensningen i Nordhordland og Ytre Sogn. I 1975 kom oljeraffineriet på Mongstad i drift, og i denne rapporten vil det bli diskutert i hvilken grad nedbørkvaliteten i området påvirkes av svoveldioksyd-utslippene fra raffineriet.

2. FORURENSNINGER I LUFT OG NEDBØR

2.1. Kilder for noen vanlige ioner i nedbør

Nedbør i kystområder inneholder endel ioner av maritim opprinnelse, bl.a. klorid, natrium, magnesium, sulfat, kalsium og kalium. Disse ione-slag tilføres også atmosfæren ved industriell virksomhet. Kalsium og tildels magnesium i nedbør kan også være av mineral opprinnelse ("jordstøv"). Undersøkelser i USA (Rasool, 1973) tyder på at menneskelig virksomhet er hovedkilden for sink i nedbør.

Atmosfæren tilføres nitrogenoksyder hovedsaklig fra bakteriell aktivitet og antropogene forbrenningsprosesser. Utslippet av nitrogenoksyder fra industri etc. i Vest-Europa er anslått til 25-50 % (vekt) av svoveldioksyd utslippet, mens utslippet er forholdsvis langt mindre i Øst-Europa (Semb, 1974). Anslagene over nitrogenoksyd-bidraget fra bakteriell virksomhet er usikre, men Galbally (1975) konkluderer at de antropogene utslipp av nitrogenoksyder på den nordlige halvkule er av samme størrelsesorden som en estimert øvre grense for de naturlige tilførsler. Nitrogenoksydene absorberes delvis på jordoverflaten, men store mengder omdannes i atmosfæren til nitrater. Disse nitratene er i stor grad sure forbindelser som dels avsettes "tørt" og dels felles ut med nedbøren. Det har vært hevdet at nitrogenoksydene påvirker svovelkretsløpet, idet nitrogenoksyd kan virke som katalysator ved fotokjemisk omdanning av svoveldioksyd til svovelsyre (Brosset et al, 1975).

Ved siden av sulfater fra sjøsprøyt - som ikke bidrar til forsureningen av atmosfæren - mottar atmosfæren store mengder gassformige svovelforbindelser (hydrogensulfid, dimetylsulfid etc) fra forskjellige organiske prosesser til lands og til havs. Omfanget av disse svoveltilførslene er dårlig kjent og globalt varierer anslagene mellom 30 og $300 \cdot 10^9$ kg./år, hvor de høyeste anslagene er de eldste (Rodhe, 1978). Noen av disse gassformige svovelforbindelsene absorberes på jordoverflaten, mens noen omdannes i atmosfæren til svoveldioksyd og sulfater.

Men atmosfæren tilføres også store mengder svoveldioksyd ved forbrenning av fossilt brensel. På global skala er de antropogene utslipp av svoveldioksyd ca. $70 \cdot 10^9$ kg.S/år. Innen Europa er de antropogene utslipp ca. $25 \cdot 10^9$ kg.S/år, og de naturlige utslipp utgjør trolig bare ca. 10% av denne verdi (Dovland et al. 1976). Ettersom ca. 90% av svoveltilførselen til atmosfæren over Nord-Europa skyldes menneskelig virksomhet, vil ikke-maritime sulfatforbindelser i denne rapporten bli benevnt "antropogent sulfat", symbolisert ved CSO_4 .

I Nord-Europa skjer de største utslipp av svoveldioksyd fra tettbebyggelse og industri i England, Frankrike, Belgia, Nederland, Øst-Tyskland, Polen og Tsjekkoslovakia, mens de antropogene utslipp av svoveldioksyd i Norge er ca. $0,1 \cdot 10^9$ kg. S/år. (Eliassen & Saltbones, 1975).

Svoveldioksyd absorberes delvis på jordoverflaten, mens betydelige mengder omdannes i atmosfæren til sulfater. Disse

sulfatene er hovedsakelig sure forbindelser som dels avsettes "tørrt" og dels felles ut med nedbøren.

Svovel og nitrogenforbindelsene kan i atmosfæren transporteres over store avstander før de når bakken enten ved tørr-avsetning eller ved at de felles ut med nedbøren.

Omdannelsen fra nitrogenoksyder til nitrater tar noe lenger tid enn omdannelsen fra svoveldioksyd til sulfater (Ottar, 1973). Sammen med regionale forskjeller i brenseltyper og forbrenningsteknologi kan dette bidra til at forholdet mellom svovelsure og salpetersure forbindelser i nedbøren varierer systematisk både etter hvilke områder de nedbørgivende luftmasser har passert over, og med avstanden fra disse områder. Det er således mulig at høyt innhold av nitrater i nedbøren over Skandinavia særlig forekommer i forbindelse med lufttransport fra Vest-Europa (Ottar, 1973).

2.2. Lokale kilder for atmosfærisk svovel i Nordhordland/Ytre Sogn

I tillegg til luftforurensninger fra fjerntliggende kilder, kan nedbørkvaliteten endres lokalt nær store utslippskilder (tettbebyggelse, industri etc.). For innholdet av antropogent sulfat i nedbør i Nordhordland/Ytre Sogn er særlig to lokale kilder av betydning: Tettbebyggelse og industri i Bergen, og industri-anleggene på Mongstad.

Basert på oppgaver over salg av oljeprodukter ble utslippet av svoveldioksyd i Bergensområdet i 1970 anslått til ca. $1 \cdot 10^6$ kg. S/år (Vollset, 1973). På grunn av overgang til lettere og mer

svovelfattig fyringsolje har det årlige svovelutslipp i 1973-1977 trolig vært mindre enn, eller av samme størrelsesorden som i 1970. På årsbasis skyldes ca. 75 % av svovelutslippet i Bergensområdet industrivirksomhet. I området finnes ingen store utslippskilder; utslippet er fordelt på en rekke industribedrifter (Førland & Gjessing, 1975).

På Mongstad kom oljeraffineriet til Rafinor A/S & Co. i drift i slutten av første kvartal 1975. Røykskadekonsejns-vilkårene tillater raffineriet å slippe ut opptil $2.5 \cdot 10^6$ kg. svoveldioksyd / år ($1.25 \cdot 10^6$ kg. S/år). (Gjennomsnittlig utslipp inntil $0.15 \cdot 10^3$ kg. S/time, maksimal grenseverdi $1.6 \cdot 10^3$ kg. S/time.) Utslippet av svovel ved Mongstad er således av samme størrelsesorden som totalutslippet av svovel fra Bergen. For 1976 og 1977 ble det gitt dispensasjon til å slippe ut opptil $3.2 \cdot 10^6$ kg. svoveldioksyd/år. Mesteparten av utslippene skjer fra en 103 m høy hovedskorstein; resten fra en 47 m høy skorstein ved et kalsineringsanlegg. I 1975 og 1976 varierte svoveldioksyd-utslippet sterkt fra måned til måned - fra over $175 \cdot 10^3$ kg/måned i juli, september, oktober og november 1975 til under $15 \cdot 10^3$ kg. /måned i perioden desember 1975 - februar 1976 da det var driftsstans ved raffineriet.

I atmosfæren vil svoveldioksyd fra raffineriet kunne oksyderes til sure sulfater, som kan bidra til å forsure nedbøren i områdene nær Mongstad. Økningen i sulfatnedfallet vil være størst i områdene som i nedbørepisoder ligger på lesiden av raffineriet.

2.3. Lokal utfelling av atmosfærisk svovel

Svoveldioksyd og "tørre" sulfatpartikler kan opptaes av eller avsettes direkte på vegetasjon, jordsmonn og vann. Også slik "tørravsetning" vil virke forsurende på naturmiljøet, men vil bare i begrenset omfang (hovedsakelig ved tørravsetning i ukeprøver) registreres ved den form for prøvetaking som Lindåsprosjektet foretok i Nordhordland.

Mekanismene for våt-fjerning (nedbør) av gassformige stoffer fra atmosfæren er meget komplekse. Dette gjelder spesielt når det foregår kjemiske transformasjoner, som f.eks. ved omdanning av svoveldioksyd (SO_2).

Ved utslipp av SO_2 vil noen få prosent av SO_2 gassen oksyderes til svovelsyre dråper allerede i selve skorsteinen. Ved nedbør vil disse dråpene vaskes ut nær kilden (Brosset, 1973). Avstanden vil avhenge av bl.a. vindstyrke og nedbørintensitet. For "våt-fjerning" av det SO_2 som ikke blir oksydert i selve skorsteinen har Brosset (op.cit.) forslått følgende modell:

En mindre del av det emitterte SO_2 oksyderes på overflaten av små våte partikler (diameter $< 0.6\mu\text{m}$) til svovelsyre. Junge og Ryan (1958) viste at SO_2 absorpsjonen til vanddråper

avtar når surheten øker (dvs. pH-verdien avtar), og stopper helt når pH er lavere enn 2. Men dersom de små hygroskopiske svovelsyredråpene absorberer vann, vil svovelsyren fortynnes. Dermed øker pH, noe som kan føre til at kolloidale jern- og aluminium hydroksyder felles ut inne i dråpene. Deretter kan trolig store mengder SO_2 raskt oksyderes til sure sulfater i dråpen. Effektiviteten til denne hypotetiske, irreversible prosess er sannsynligvis meget større enn det reversible gass-opptaket av SO_2 til en ren vanddråpe. Svovel-forbindelsene bringes til jordoverflaten ved sedimentasjon eller ved utfelling i nedbør.

I Brossets modell er størrelsen av sulfatpartiklene først svært liten, noe som fører til en forholdsvis liten utvaskingseffektivitet nær kilden (bortsett fra et område meget nær kilden, hvor andre mekanismer er aktive). Men mens partiklene gradvis blir større, forbedres utvaskingseffektiviteten. Utvaskingen av sulfat øker dermed med avstanden fra kilden. Etterhvert blir størrelsen av sulfatpartiklene stabil, og fra da av vil utvaskingen avta eksponensielt med avstanden fra kilden.

Utvaskingseffektiviteten avhenger også av nedbørintensiteten. Ifølge Hutcheson & Hall (1974) burde utvaskingseffektiviteten være størst ved liten nedbørintensitet av følgende grunner: a). Sulfatpartiklene i atmosfæren er av submicron størrelse selv ved høy relativ fuktighet, b). Utvaskingseffektiviteten av submicron partikler øker eksponensielt når regndråpe-størrelsen minker, c). Regndråpe-størrelsen minker når nedbørintensiteten avtar.

Men ved en undersøkelse i Alabama, USA, fant Hutcheson & Hall (op.cit.) tvertimot at utvaskingseffektiviteten var størst i områdene med høy nedbør-intensitet. De antok at en annen mekanisme måtte være mer effektiv enn utvaskingen av sulfatpartikler, og mente at den økende utvasking ved økende nedbørintensitet skyldes utvasking av SO_2 gass, fordi:

- a) SO_2 absorpsjon i regn er en funksjon av pH-verdien til regndråpene (Junge & Ryan, 1958, Hales et.al. 1971).
- b) Mange faktorer (fortynning, absorpsjonsrater til forsurende stoffer o.l.) støtter antakelsen om at store regndråper er mindre sure enn små dråper, og derfor vil absorbere større mengder SO_2 .
- c) Stor midlere dråpestørrelse forekommer særlig ved høy nedbørintensitet.
- d) Ved tilstedeværelse av katalysatorer vil SO_2 omdannes raskt til sulfat i regnvann. Denne prosess kan ha fortsatt etter at nedbørprøven var innsamlet og helt frem til analysen fant sted.

Hales (1974) mener at Hutcheson & Halls (op.cit.) antakelse om at sulfatpartikler i røkfanen hovedsakelig er av submicron størrelse selv ved høy luftfuktighet er tvilsom, men at det likevel kan ventes mindre utvasking av partikulært materiale (pr. enhets nedbørvolum) av store enn av små regndråper på grunn av geometriske effekter. Hales' egne data viste intet opplagt samsvar mellom midlere dråpestørrelse og sulfatutvasking fra røkfanen. Derimot var det en sterk invers korrelasjon mellom utvasking og bakgrunns-surheten til regnet. "Rent" regn som faller gjennom en lavtliggende, konsentrert røkfaner vil føre til betydelig utvasking, mens surt regn som faller gjennom en røkfaner "will fail to record its presence"

(Hales et.al., 1971).

Også andre undersøkelser (bl.a. Høgstrøm, 1974, Dana et.al., 1975) tyder på at ved utslipp av svoveldioksyd er utvasking av svovel i form av sulfatpartikler av vesentlig større betydning enn utvasking av svoveldioksyd. Hales et.al. (1971) fant at SO_2 tilsynelatende går gjennom en reversibel reaksjon, der SO_2 absorberes til fallende regndråper i røkfanan, og desorberes under røkfanan. Nedbør kan således under visse forhold føre til en redistribuering av røkfanan til lavere nivåer. Mengden av SO_2 som desorberes under røkfanan er en funksjon av den atmosfæriske bakgrunnskonsentrasjon av SO_2 . Utvaskingskoeffisienten for SO_2 er størst der innholdet av luft-forurensinger i de laveste nivåer er størst. For utslipp fra høye skorsteiner vil bidraget fra luftforurensninger fra bakkesjiktet vanligvis øke med avstanden fra kilden. Ifølge Hales et.al. (op.cit.) vil utvaskingen av SO_2 derfor øke med avstanden fra kilden, mens utvaskingen av sulfat avtar med avstanden fra kilden.

Undersøkelser ved Uppsala (Høgstrøm 1973 a,b og 1974) tydet på at det tok $\frac{1}{2}$ - 1 time før emittert SO_2 fra et varmekraftverk (utslipp $0,3-0,6 \cdot 10^3$ kg. S/time, skorsteinshøyde 40 m) nådde en slik tilstand at det ble vasket ut som sulfat i nedbøren. Høgstrøm (1974) fant at ved nedbør ble 40 - 70 prosent av svovelutslippet fra Uppsala utfelt innen de nærmeste 60 km fra kilden, og at nesten alt svovel ble utfelt som sulfat. Bare en ubetydelig mengde ble - like ved kilden - utfelt som SO_2 . Mens ca. 98 % av svovelet fra Uppsala ble

emittert som SO_2 og resten som sulfat, var andelene i våtavsetningene de omvendte, dvs. ca. 98 % ble utfelt som sulfat og ca. 2% som oppløst SO_2 .

I en tilsvarende undersøkelse ved den største oljefyrte enhet i Skandinavia, varmekraftverket ved Karlshamn i Sør-Sverige (utslipp $5 \cdot 10^3$ kg. S/time, skorsteinshøyde 140 m) fant Enger (1977) at SO_2 raskt ble oksydert til sulfat ved regnvær, og at 2/3 av det emitterte svovel ble utfelt innen en avstand på 100 - 200 km. fra kilden (middelavstand for 6 episoder var 120 km). De høyeste konsentrasjoner av sulfat ble funnet mindre enn 10 km fra kilden, og for sterk syre mindre enn 20 km fra kilden. 10 - 15% av svovelutslippet ble utfelt som tørravsetninger innen en avstand på 60 km fra varmekraftverket.

Granat & Rodhe (1973) studerte nedfallet av sulfat og sterk syre innen en avstand på 15 km fra et oljefyrt varmekraftverk (utslipp $0.6-2.3 \cdot 10^3$ kg S/time, skorsteinshøyde 85 m) ved Stenungsund på den svenske vestkysten. De fant at økningen i sulfatkonsentrasjon på lesiden av kraftverket var av størrelsesorden 0.5-1.0 mg S/l. Økningen i syrenedfall samsvarte meget godt med økningen i sulfatnedfall, dvs. svovelet forelå hovedsakelig som svovelsyre. I de enkelte nedbørepisoder var sektoren med øket sulfatnedfall smal ($10-45^\circ$), slik at et gitt punkt i området utsettes for denne økningen bare i noen få prosent av alle nedbørepisoder.

For de nedbørepisoder som ble studert av Granat & Rodhe (op.cit.) ble 1 - 6 % av det emitterte svovel under nedbørepisoder utfelt med nedbøren innen 15 km fra kilden. Hvis den observerte lokale utfelling blir sammenlignet med det totale utslipp - inklusive periodene med oppholdsvær - blir andelen bare noen få promille.

Flere undersøkelser (bl.a. Hales et.al., 1971, Hutcheson & Hall, 1974, Dana et.al., 1975) indikerer at den relative viktighet av utvasking av svoveldioksyd (gass) og sulfat (partikler) i den meget komplekse svovelutvaskingsprosess er betydelig påvirket av nedbørens bakgrunns-surhet (pH-verdi) og øvrige ionesammensetning (bl.a. innhold av katalysatorer og syre-nøytraliserende stoffer), av utslippshøyden for svoveldioksyd og av nedbørintensiteten. Det er derfor vanskelig å bruke resultater oppnådd et sted til å estimere utfellingshastigheten for svovel et annet sted.

Ved undersøkelsene i Sverige var den karakteristiske skala for våtutfelling av svovel ved Karlshamn 100 - 200 km (Enger 1977), ved Uppsala 50 - 100 km (Høgstrøm, 1974), mens den ved Stenungsund var en størrelsesorden større (Granat & Rodhe, 1973). Høgstrøm (1977) hevder at en regional variasjon i utfellingshastighet for svovel synes å være en realitet over Sverige, og at årsaken til denne variasjon fremdeles ikke er klarlagt.

Undersøkelsene ved Karlshamn, Uppsala og Stenungsund ble alle utført utført vinterstid (november - mars). Det er mulig at

målinger til andre årstider ville gitt andre verdier for utfellingshastigheten til svovel.

2.4. Estimering av nedbør-nedfall av svovel fra oljeraffineriet på Mongstad

Bidragene fra svoveldioksydutslippene på Mongstad til nedbørens syre- og sulfatinnhold vil være størst i områdene som i nedbørepisoder hyppig ligger på lesiden av raffineriet.

I Nordhordland faller mesteparten (ca. 70%) av nedbøren når bakkevinden (i 10 m - nivået) er fra sektor 135 - 224° (SE - SW) (tab. 1). Bare ca. 5 % av nedbøren i området faller ved vind fra sektor 345 - 104°. Nedbør ved vind fra SE - SW er mest fremtredende høst og vinter, mens det vår og sommer også faller en del nedbør ved vind fra NW.

Hovedutslippet av svoveldioksyd fra raffineriet på Mongstad skjer fra en 103 m høy skorstein. På grunn av høy temperatur i røkutslippet vil røkfanen stige en del etter utslippet. Hvor høyt røken stiger avhenger av lufttemperatur, vindhastighet og luftens statiske stabilitet. Men trolig vil røkfanen oftest ligge i ca. 200 m høyde i området. På grunn av minkende friksjon, med økende høyde over bakken, vil vinden i røkfanens nivå være dreid (med urviseren) i forhold til bakkevinden.

Dette understrekes av tab. 2, som viser at i tiden 1904 - 1957 falt mesteparten (over 50 %) av nedbøren når vinden ca. 800 m o.h.

Tab. 1. Nedbørhøyde (i prosent av årstidssum) som funksjon av vindretning 10 m over bakken. Mongstad 1.12.1972-30.12.1975. (Verdiene er basert på data fra Dovland (1973-1976) og er fremkommet ved at timevise verdier av nedbørhøyde og vindretning på Mongstad er betraktet som ett sett med simultane observasjoner).

Vindretning	15°	45°	75°	105°	135°	165°	195°	225°	255°	285°	315°	345°	VIND	NEDBØR-
Arstid ^{a)}	-44°	-74°	-104°	-134°	-164°	-194°	-224°	-254°	-284°	-314°	-344°	-014°	STILLE	SUM (mm)
VINTER	1.0	1.1	3.4	8.1	27.1	35.6	11.3	4.7	3.2	1.7	2.3	0.4	0.1	1708
VÅR	1.6	0.3	0.4	10.1	21.8	28.2	15.8	4.8	3.6	5.7	3.9	3.6	0.2	515
SOMMER	1.9	1.1	0.4	5.3	19.5	22.7	19.3	6.7	5.1	7.8	8.3	1.4	0.5	943
HØST	1.7	1.0	0.8	7.1	24.2	29.2	19.9	7.7	2.0	1.6	3.2	0.9	0.0	2161
ÅR	1.5	1.0	1.5	7.4	24.1	30.3	16.6	6.3	3.1	3.1	3.9	1.1	0.1	5326

a) Vinter: Des, Jan, Feb. Vår: Mar, Apr, Mai. Sommer: Jun, Jul, Aug. Høst: Sept, Okt, Nov.

Tab. 2. Nedbørhøyde (i prosent av årssum) som funksjon av vindretning i ulike høydenivåer.

Vindretning	22.5°-67.4°	67.5°-112.4°	112.5°-157.4°	157.5°-202.4°	202.5°-247.4°	247.5°-292.4°	292.5°-336.4°	336.5°-22.4°
Bakkevind ^{a)}	2.0	6.8	32.7	35.5	11.3	4.7	4.9	2.1
Gradientvind ^{b)}	0.9	1.9	2.9	10.5	52.4	20.0	10.5	0.9
850 mb-vind ^{c)}	0.1	0.2	1.2	9.3	32.9	45.3	9.7	1.4

a) Vindretning 10 m over bakken på Mongstad. Nedbørhøyde målt på Mongstad. Interpolerte verdier fra tab. 1.

b) Gradientvindretning i 1000 mb-nivået (tilnærmet vindretning 600-1000 m o.h.) over Vest-Norge.

Nedbørhøyde er dagnedbør (mellom kl. 07-19) målt på Fredriksberg 1904-1957.

Verdiene er hentet fra Førland et al. (1975, fig. 2). Tilfeller med "variabel gradientvind" er ikke tatt med.

c) Trajektorieretning i 850 mb-nivået (ca. 1500 m o.h.) over Vest-Norge.

Nedbørhøyden er døgnnedbør målt på Fønnes 1973-1976.

blåste fra sektor 203 - 248° (SSW-WSW). Tab. 2 tyder på at i 1500 m nivået var den dominerende nedbørgivende vindretning dreid ytterligere mot vest. Verdiene fra de ulike høydenivåene i tab. 2 er ikke direkte sammenlignbare (forskjellige lokaliteter og tidsrom), men tyder på at i nedbørsituasjoner vil vinden i røkfanens nivå oftest blåse fra sektor SSE - W. Det er derfor områdene WNW - E for Mongstad som er mest utsatt for nedfall av nedbørforurensninger fra oljeraffineriet.

Dersom det antas at sprednings- og utfellingsforholdene for svoveldioksyd ved Mongstad er omlag de samme som i Uppsalaområdet (Høgstrøm, 1974), kan det gjøres et grovt overslag over størrelsesordenen av det lokale bidrag til svovelnedfallet rundt Mongstad (se tab. 3):

1. Totalt utslipp: $2.5 \cdot 10^6$ kg SO₂/år = $3,75 \cdot 10^6$ kg SO₄/år.
2. Antar at det i Nordhordland i løpet av et år er nedbør i ca. 20 % av tiden.
Utslipp i nedbørepisoder: $0.2 \cdot 3.75 \cdot 10^6$ kg SO₄/år = $0.75 \cdot 10^6$ SO₄/år.
3. Antar at alt svoveldioksyd som slippes ut under nedbørepisoder felles ut med nedbøren.
4. Rundt Uppsala (Høgstrøm, op.cit.) ble størrelsesorden 50 % av det emitterte svovel utfelt innen de nærmeste 60 km fra kilden. Nedfall innen avstand på 60 km fra Mongstad: $0.5 \cdot 0.75 \cdot 10^6$ kg SO₄/år = $0.375 \cdot 10^6$ kg SO₄/år.
5. Bakgrunnsnedfall av antropogent sulfat i Mongstad-området er ca. $2.0 - 3.0 \cdot 10^3$ kg SO₄/km² år (se fig. 8).

Estimatene i tab. 3 må betraktes som langtids-verdier. I enkelte episoder med spesielle atmosfæriske forhold kan sulfatnedfallet fra røkfanen lokalt påvirke nedbørens sulfatkonsentrasjon (relativt til bakgrunns-nivået) i større grad enn tab. 3 viser.

Dersom røkfanen følger bakkevindretningen kan det nord for Mongstad ventes en økning i sulfatnedfallet på $0.1-0.2 \cdot 10^3$ kg SO_4 /km²år. I forhold til bakgrunnsnedfallet på $2.0-3.0 \cdot 10^3$ kg SO_4 /km² år, vil sulfatøkningen utgjøre ca. 5 %. P.g.a. vinddreiningen med høyden, vil røkfanen i nedbørepisoder dreie mot sektoren N-E for Mongstad. Dersom røkfanen følger gradient-vindretningen ca. 800 m o.h., vil områdene i sektoren NNE-ENE for Mongstad kunne få et øket sulfatnedfall på ca. 5 % av bakgrunnsnedfallet.

I praksis vil røkfanen i nedbørepisoder trolig ligge mellom det vindretningene i 10 m hhv 800 m nivået indikerer. Men neppe noen sektor i området NNW-ENE for Mongstad vil på årsbasis få sulfatnedfallet øket med mer enn ca 5 % av bakgrunnsnedfallet.

Ovenstående beregninger er basert på Høgstrøms (1974) undersøkelser i Uppsala-området. Ettersom utfellingen av lokalt emittert svoveldioksyd avhenger av både meteorologiske og atmosfære-kjemiske forhold, er det vanskelig å overføre resultater om utfellingshastighet for svoveldioksyd fra en lokalitet til en annen.

I Nordhordland varierer konsentrasjonen av sterk syre i nedbøren med vindretningen (kap. 4.4.2.). Ved vind fra SE-SW er oftest pH-verdien i nedbør lavere enn i Høgstrøms (op.cit.)

undersøkelse i Uppsala, mens pH-verdien ved vind fra W-N er høyere enn i Uppsala. Eftersom absorpsjonshastigheten for svoveldioksyd til vanndråper er størst når pH-verdien er høy, er det mulig at utvaskingshastigheten for svovel er større ved vind fra W-N (dvs. i området E-S for Mongstad) enn ved vind fra SE-SW (dvs. NW-NE for Mongstad).

Nedbørintensiteten i Nordhordland er vanligvis større enn den var i Uppsala (0.6 mm/time). Av kap. 2.3. fremgår det at stor nedbørintensitet kan føre til øket utvasking av svoveldioksyd og minsket utvasking av partikulært sulfat.

Partikkelinnholdet i atmosfæren (og dermed innholdet av potensielle katalysatorer og syrenøytraliserende stoffer) er trolig lavere i Nordhordland enn i Sør-Sverige. Dette kan bidra til å redusere oksydasjonshastigheten fra svoveldioksyd til sure sulfater i Nordhordland. Vindhastigheten er vanligvis høyere i Nordhordland enn i Uppsalaområdet. Dette fører til at luftforurensninger fra lokale kilder - under ellers like forhold - vil spres over vesentlig større områder i Vest-Norge enn i Uppsala-området.

Både Enger (1977) og spesielt Rodhe & Granat (1973) fant vesentlig lavere utfellingshastigheter for sulfat enn i Høgstrøms (1974) undersøkelse i Uppsala.

Når ovenstående tas i betraktning, er det grunn til å anta at tab. 3 trolig gir et overestimat av bidraget til sulfatnedfallet i Nordhordland fra svovelutslippene ved Mongstad.

3. STASJONSNETT OG MÅLEOPPLEGG

3.1. Stasjonsnett

Lindåsprosjektet tok til med innsamling av nedbørprøver for kjemisk analyse i januar 1973. I 1974 ble stasjonsnettet utvidet, slik at det f.o.m. april 1974 i regi av Lindåsprosjektet ble samlet inn nedbørprøver fra 9-11 stasjoner i Nordhordland/Ytre Sogn. (tab.4). På seks av stasjonene ble nedbøren innsamlet en gang ukentlig, mens det ved de øvrige stasjoner ble tatt døgnlige nedbørprøver.

Stasjonene 11-Sandebygda, 12-Frøyset og 13-Haveland (fig. 1) lå i den sektor der den største økning i nedbørforurensninger fra Mongstad-raffineriet var ventet. For nedbør-episoder med vind fra nordvest (oftest bygenedbør) vil stasjonene 14-Knarvik, 04/05-Kolås/Lindås og 06-Hodneland gi indikasjon på eventuelt øket nedfall av nedbørforurensninger i området sydøst for Mongstad.

Stasjonene 02-Årås og 03-Fonnes - som ligger vest for Mongstad - representerer områder med liten tilførsel av nedbørforurensninger fra oljeraffineriet. Målingene fra 14-Knarvik, 04/05-Kolås/Lindås, 08-Hundvin og 09-Seim gir et bilde av nedfallet av nedbørforurensninger i området mellom Mongstad og Bergen.

På stasjonene 11-Sandebygda og 14-Knarvik, og nær stasjonene 02-Årås og 04/05 Kolås/Lindås foretok Norsk Institutt for Luftforskning (NILU) daglige målinger av svoveldioksydkonsentrasjonen i luft. NLVF/NTNF-prosjektet "Sur nedbørs virkning på

Tab. 4. Oversikt over Lindåsprosjektets nedbørkjemiske stasjoner.

Stasjons- Nr.	Navn	H.o.h. (m)	Observasjonsperiode	Prøvetakings- hyppighet	Observatør	Postadresse
02	Arås	21	24.1.73-1.4.73	Døgn	Tove Daae	5136 Mastrevik
02	Arås	21	1.4.74-31.12.76	Uke	Tove Daae	5136 Mastrevik
03	Fonnes	17	20.1.73-31.12.76 b)	Døgn	Liv Fonnes	5153 Fonnes
04	Kolås	133	26.4.75-31.12.76	Døgn	Ove Kolås	5150 Lindås
05	Lindås	58	25.6.73-25.4.75	Døgn	Audhild Holmås	5150 Lindås
06	Hodneland	23	20.8.74-31.12.76 b)	Døgn	Guðrun Skaug	5149 Myking
07	Fjellsbø	260	23.1.73-1.4.73	Døgn	Edit Kårdal	5156 Vågseidet
08	Hundvin	55	11.1.74-31.12.76	Uke	Liv Hundvin	5156 Vågseidet
09	Seim	57	22.1.74-31.12.76	Uke	Ove-Johan Rydland	5103 Seim
10	Eikeland	141	23.1.73-1.4.73	Døgn	Gro Espeland	5103 Seim
11	Sandebygda	15	28.10.73-31.12.76 b)	Døgn	Magnar Nesse a)	5073 Sandebygda
12	Frøyset	13	8.1.74-31.12.76	Uke	Aslaug Riisnes	5190 Risnes
13	Haveland	65	8.1.74-31.12.76 b)	Uke	Sverre Haveland	5960 Dalsøyra
14	Knarvik-N.	25	1.4.74-31.12.76 b)	Uke	Ingrid Knarvik	5150 Lindås
21	Bergen (Florida)	40	24.1.73-12.6.73	Døgn	-	-

a) Arve Osland var observatør i tiden 28.10.73-20.7.1975

b) Stasjonen var i drift også etter 31.12.76. Data for perioden 31.12.76-1.7.77 er rapportert av Skartveit (1977b).



Fig. 1. Lindåsprosjektets nedbørkjemiske stasjoner (▲) i Nordhordland/Ytre Sogn.

skog og fisk" ("SNSF-prosjektet") målte svoveldioksyd-konsentrasjonen i luft og foretok nedbør-innsamling for kjemisk analyse på en del stasjoner i området mellom Fensfjorden og Sognefjorden, og på Stend, ca. 15 km syd for Bergen (Skartveit & Førland, 1976). I forbindelse med OECD-prosjektet "Long Range Transport of Air Pollutants" har NILU foretatt kjemisk analyse av døgnlige nedbørprøver fra Fitjar på Stend og Skei i Jølster.

3.2. Prøvetaking

Frem til 1. april 1975 ble nedbøren innsamlet i plastposer fastspent i et plastspann med åpningsdiameter på 18.5 cm. (Førland, 1976 fig. 2). Plastposene ble skiftet og eventuell nedbør overført til forsendelsesflasker av plast(hhv.)hver morgen ca. kl. 08 (døgnlig prøvetaking) eller hver mandag morgen ca. kl. 08. (ukentlig prøvetaking). Fra 1. april 1975 ble nedbøren på stasjonene med døgnlig prøvetaking innsamlet i plastposer fastspent inne i en plastsyylinder ("NILU-Snøsamler"*) med åpningsdiameter 20 cm. På stasjonene med ukentlig prøvetaking ble nedbørprøvene i den varme årstid innsamlet i "NILU-regnsamler"*. Denne består av en plasttrakt (åpningsdiameter 20 cm) med en plastflaske fastskrudd i traktens nedre del. Et løst plastgitter i traktens nedre del hindret at nedbørprøvene ble kontaminert av insekter, lauv o.l. Hver mandag morgen (kl. 08) ble nedbøren i samleflaskene overført til forsendelsesflasker, plastgitteret skiftet ut og utstyret rengjort med destillert vann og filterpapir.

Vinterstid ble også nedbøren fra ukestasjonene innsamlet i plastposer fastspent i "NILU-snøsamler".*

* NILU's nedbørsamlerutstyr er beskrevet av Schaug & Joranger (1978 fig.2)

Prøvetakingsutstyret på både døgn- og ukestasjonene var fra 1.4.1975 utstyrt med "NILU-fuglering" for å redusere faren for at nedbørprøvene kontamineres av fugleekskrementer.

Nedbørhøydene ble stort sett målt i separate nedbørmålere (type "PLUVIUS"). Fra høsten 1975 ble nedbørhøydene ved 02-Årås, 08-Hundvin og 14-Knarvik målt i den kjemiske nedbørprøvetakeren, samtidig med prøvetakingen. Stasjon 12-Frøyset var kombinert med Det Norske Meteorologiske Institutts (MI) nedbørstasjon 5275-Frøyset og nedbørhøydene fra denne stasjonen er målt daglig i MI's nedbørmåler.

Ved stasjon 05-Lindås var det noe ujevn prøvetakingshyppighet i 1975, og enkelte av nedbørprøvene derfra var i betydelig grad utsatt for fordampning, tørravsetning og tilfeldig kontaminering (lauv, rusk, fugle-ekskrementer). Stasjonen ble derfor flyttet til 04-Kolås ca. 750 m nordnordvest for Lindås. På grunn av uregelmessigheter ved prøvetakingen er enkelte data for tidsrommet 1.4.1975 - 20.7.1975 for stasjon 11-Sandebygda usikre. Stasjonen i Sandebygda ble flyttet ca. 200 m mot vest den 20.7.1975.

3.3. Kjemisk analyse

Nedbørprøvene ble analysert ved Bergen Ingeniørhøyskole (BIH) for følgende komponenter: Sulfat (SO_4), Nitrat (NO_3), Magnesium (Mg), Kalsium (Ca), Klorid (Cl), Sink (Zn), surhetsgrad (pH-verdi) og konduktivitet (κ_{20}). Oversikt over analysemetodikk og deteksjonsgrenser er gitt i tab. 5.

Tab. 5. Deteksjonsgrenser, symboler og analysemetodikk for kjemiske komponenter i nedbør.

KOMPONENT	ENHET	SYMBOL	DETEKSJONGRENSE	ANALYSE-METODIKK-a)
pH-verdi	pH-enhet	pH	-	pH-meter med glass/kalomel elektrode
Konduktivitet	µS/cm	κ ₂₀	2µS/cm	Selvbalanserende universalbro
Sulfat	mgSO ₄ /l	SO ₄	0.2mgSO ₄ /l	Fotometrisk med auto-analysator
Nitrat	µgN/l	NO ₃	10 µgN/l	" " "
Klorid	mg/l	Cl	0.2 mg/l	" " "
Magnesium	mg/l	Mg	0.01 mg/l	Atomabsorpsjons-spektrofotometer
Kalsium	mg/l	Ca	0.01 mg/l	" "
Sink	µg/l	Zn	10 µg/l	" "
Sterk syre	mekv/l	ACID	-	ACID = 10 ⁶ · (10 ^{-pH} - 10 ^{pH-11.2})
Antropogent sulfat	mgSO ₄ /l	CSO ₄	-	CSO ₄ = SO ₄ - 0.139 · Cl
Ikke-maritimt kalsium	mg/l	ExcCa	-	ExcCa = Ca - 0.021 · Cl

a) For nærmere detaljer, se Førland et al. (1975 s. 30).

Tab. 6. Sjøvannets kjemiske sammensetning.

Komponent (x)	Cl	Na	Mg	S	(SO ₄)	Ca	K	Zn
Konsentrasjon (mg/kg sjøvann)	18980	10561	1271	884	(2652)	400	380	1.0005
Forholdstall X/Cl	1.00	0.556	0.067	0.046	(0.139)	0.021	0.020	0.000

Tab. 7. Forholdet mellom klorid og magnesium i nedbørprøver analysert ved Bergen Ingeniørhøgskole.

	1974			1975			1976		
	N	r	Cl/Mg	N	r	Cl/Mg	N	r	Cl/Mg
03 Fonnes	70	0.88	10.88	136	0.91	11.49	125	0.98	13.49
04/05 Kolås/Lindås	31	0.99	11.24	85	0.97	13.86	129	0.98	12.74
06 Hodneland	50	0.94	11.47	143	0.97	13.56	145	0.99	13.59
11 Sandebygda	53	0.98	11.81	119	0.98	12.27	125	0.99	13.17
Aritmetisk middelværdi = A			11.35			12.80			13.25
A/(Cl/Mg)sjø = A/14.92			0.76			0.86			0.89

N : antall nedbørprøver der både Cl og Mg er analysert

r : korrelasjonskoeffisient mellom Cl og Mg

Cl/Mg : forholdstall mellom konsentrasjon av Cl og Mg.

Det er vanlig å anta at nedbørens innhold av ioner med maritim opprinnelse har samme blandingsforhold som sjøvann (tab. 6). Denne hypotesen forutsetter at det ikke foregår noen ione-separasjon i grenseflaten sjø/atmosfære, og at alle maritime ioner har samme utfellingshastighet fra atmosfæren. Dersom all klorid og magnesium i nedbøren var av maritim opprinnelse, ville forholdet mellom Mg og Cl ifølge denne hypotesen være 0.067 (tab. 6).

Junge (1963, s. 329) rapporterte at i nedbør på kyststasjoner var forholdet Mg/Na gjennomsnittlig 25% høyere enn i sjøvann, mens forholdet Ca/Na var 153% høyere. Som en mulig forklaring ble fremholdt modifikasjon av sammensetningen av sjøsaltpartikler under separasjons-prosessen fra sjøoverflaten.

I kystområder er nesten all Cl, Na og Mg i nedbør av maritim opprinnelse, mens antropogene utslipp kan være av en viss betydning som kilde for Mg og tildels Cl i by- og industriområder. Også i Bergensområdet kan antropogene utslipp av Mg være av betydning (Førland & Gjessing, 1975).

I nedbørprøver fra Nordhordland var korrelasjonskoeffisienten mellom Cl og Mg høy ($r \sim 0.9-1.0$), mens forholdstallet Cl/Mg var noe lavere enn i sjøvann (tab. 7). De relativt høye magnesiumverdier skyldes trolig hverken ione-separasjon i sjø-overflaten eller lokale magnesium-kilder. Parallellanalyser ved BIH og Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) tyder nemlig på at magnesiumverdiene analysert ved BIH er for høye (Skartveit et al. 1976). Beregningen av nedbørens innhold av maritime ioner er derfor basert på nedbørprøvenes kloridkonsentrasjon.

De analyserte magnesiumverdier er ikke korrigerert i denne rapporten, men i prøver der kloridkonsentrasjonen ikke er analysert er justerte magnesium-verdier (Mg^1) benyttet ved beregning av sjøsaltbidragene. (For 1973 og 1974: $Mg^1 = 0.76 \cdot Mg$, for 1975 og 1976: $Mg^1 = 0.87 \cdot Mg$). Verdiene for sulfat og kalsium er korrigerert for sjøsaltbidrag, og blir i denne rapporten betegnet som h.h.v. antropogent sulfat (CSO_4) og ikke-maritimt kalsium (ExcCa). I spesielle tilfeller der korreksjonen for sjøsalter gir negative verdier er CSO_4 og ExcCa satt lik -0.01 mg/l .

På grunn av feil ved pH-meter elektroden ved BIH er enkelte av pH-verdiene for perioden 1.7.1974 - 20.8.1974 interpolert (fra nabostasjoner eller fra CSO_4 -konsentrasjonen).

Enkelte av prøvene fra tidsrommet 18.8.1975 - 29.3.1976 er ikke blitt fortynnet ved analysen av sulfatkonsentrasjonen. For disse prøvene er sulfatkonsentrasjonen bestemt ved ekstrapolering av standardkurven. (Liste over korrigererte verdier er gitt i LP's arbeidsnotat med rapport for kvartal 3 og 4, 1976 (Førland, 1977)).

4. RESULTATER OG DISKUSJON

4.1. Data

Detaljert oversikt over prøvetakingstidsrom, nedbørhøyde og kjemisk kvalitet for de innsamlede nedbørprøver er gitt i Lindåsprosjektets kvartalsrapporter: "Målinger av nedbørforurensninger omkring Mongstad". (Førland, 1974-77).

Nedbørkjemiske data fra stasjoner med ukentlig prøvetaking kan ikke uten videre sammenlignes med data fra stasjoner med daglig prøvetaking. På grunn av lenger eksponeringstid mot gassabsorpsjon, tørravsetning, fordampning og "tilfeldig kontaminering" vil ionekonsentrasjonen på stasjoner med ukentlig prøvetaking vanligvis være høyere enn nedbørveide middelerverdier basert på døgnprøver (Førland, 1976).

SNSF-prosjektet foretok nedbørinnsamling både på døgn- og ukebasis på Kvamsdal, ca. 7 km nordøst for stasjon 12-Frøyset. For tidsrommet juli 1975 - juni 1976 var korrelasjonskoeffisienten (N=50) mellom beregnede (fra døgnlige målinger) og målte ukeverdier lik eller større enn 0.96 for både pH-verdi, CSO_4 , Mg, Cl, NO_3 og Ca (Skartveit et.al. 1976, 1977 a).

Ut fra målinger foretatt ved Kvamsdal gjennom 2 år, konkluderer Skartveit et.al. (op.cit.) at ukentlig prøvetaking i dette området synes å gi i underkant av 10 % høyere veide årsmiddelerverdier enn døgnlig prøvetaking. Denne prosentatsen er sannsynligvis sterkt avhengig av forholdet mellom tørr- og våtavsetning i området, og av hvor stor del av året det er benyttet åpne nedbørsamlere ("NILU snøsamler") på ukestasjonene. Det synes ikke å være noen klar forskjell mellom ioner av kontinental og maritim opprinnelse m.h.t. oppkonsentrering i de prøver som var eksponert i en hel uke.

4.2. Konsentrasjon

4.2.1. Nedbørveide månedsmidler

Nedbørveide månedsmidler av ionekonsentrasjonen i nedbør fra stasjoner med døgnlige prøvetaking er gitt i Appendix, og er for 03-Fonnes vist grafisk i fig. 2. Det fremgår at det er store fluktuasjoner i konsentrasjonen av de ulike ioner fra måned til måned. De største avvik fra middelkonsentrasjonen inntreffer i måneder med små nedbørmengder og få nedbørprøver. Spredningsdiagram (fig. 3) for månedlig nedbørhøyde og månedsmidler av antropogent sulfat, pH-verdi og magnesium ved Fonnes og Fitjar på Stord, viser høye korrelasjonskoeffisienter ($r \sim 0.9$) for nedbørhøyde og magnesium. Midlere månedlig konsentrasjon av antropogent sulfat ved Fitjar kan derimot bare forklare ca. 60% av variansen i antropogent sulfat ved Fonnes, og månedlig pH-verdi ved Fitjar kan bare forklare ca. 30% av variansen i pH-verdi ved Fonnes. Fig. 3 viser at månedlige nedbørhøyder ved Fonnes og Fitjar ligger nær 1:1 linjen; at magnesium-konsentrasjonen ved Fonnes er høyere enn ved Fitjar, og at konsentrasjonen av antropogent sulfat stort sett er betydelig høyere ved Fitjar enn ved Fonnes.

For årene 1973-1976 var konsentrasjonen av sterk syre (pH) og antropogent sulfat høyest i månedene februar-juni, nitrat-konsentrasjonen var relativt høy i mai og juni, mens konduktiviteten og magnesium-konsentrasjonen var høyest i tiden november-mars (tab.8). Standardavvikene for månedsmiddelverdiene er store, slik at disse tendensene ikke er statistisk signifikante.

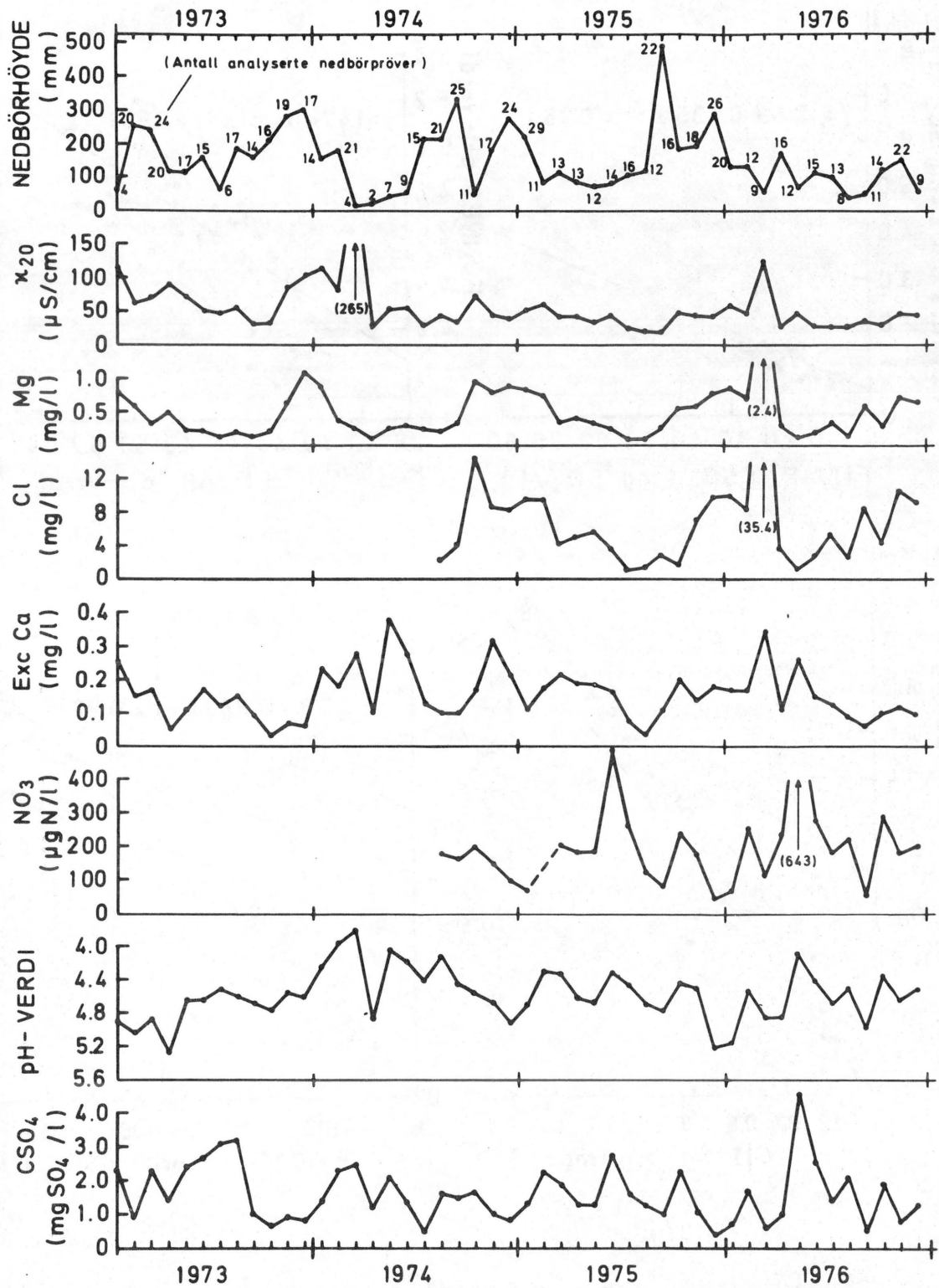


Fig. 2. Månedlig nedbørhøyde, midlere nedbørveid konduktivitet (κ_{20}), og midlere nedbørveid konsentrasjon av magnesium (Mg), klorid (Cl), ikke-maritimt kalsium (Exc-Ca), nitrat (NO₃), sterk syre (pH-verdi) og antropogent sulfat (CSO₄) for nedbørprøver innsamlet ved Fonnes i tiden 1973 - 1976.

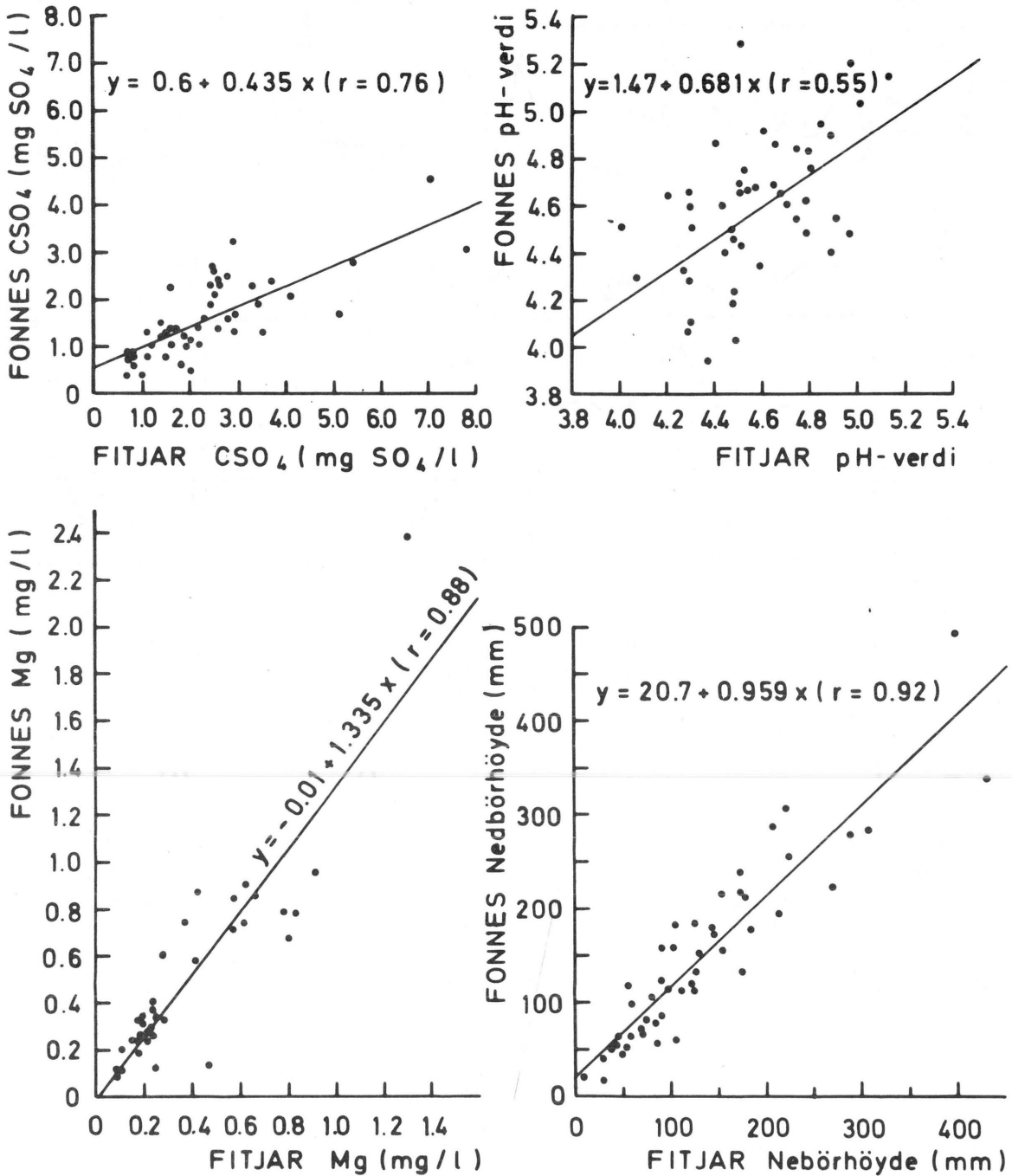


Fig. 3. Spredningsdiagram for månedlig nedbørhøyde og måneds-
middel (nedbørveid) av konsentrasjon av antropogent
sulfat (CSO₄), sterk syre (pH) og magnesium (Mg) i
nedbør innsamlet ved Fitjar (x) og Fonnes (y) i tiden
jan. 1973 - des. 1976.
(For magnesium: 1.1.74 - 31.12.76).

Tab. 8. Midlere nedbørhøyde (RR), konduktivitet (κ_{20}) og konsentrasjon av sterk syre (pH), antropogent sulfat (CSO_4), nitrat (NO_3), ikke-maritimt kalsium (ExcCa) og magnesium (Mg). Verdiene er basert på nedbørveide månedsmidler for døgnprøver innsamlet ved Fønnes, Kolås, Lindås, Hodneland og Sandebygda i tiden 1.1.1973 - 31.12.1976.

	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DES	ÅR
RR (mm)	190	144	58	94	68	85	124	148	293	142	211	252	1745
κ_{20} ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	80	56	96	37	55	46	36	34	29	45	50	55	43
pH	4.69	4.29	4.34	4.69	4.37	4.30	4.53	4.55	4.70	4.52	4.58	4.83	4.52
CSO_4 (mg SO_4/l)	1.1	1.8	2.2	1.6	2.6	2.5	1.9	2.0	0.9	1.5	1.0	0.7	1.4
NO_3 (mgN/l)	0.08	0.27	0.14	0.16	0.37	0.31	0.20	0.16	0.12	0.23	0.17	0.09	0.18
ExcCa (mg/l)	0.15	0.14	0.28	0.13	0.23	0.18	0.12	0.18	0.08	0.11	0.10	0.12	0.13
Mg (mg/l)	0.87	0.53	0.95	0.28	0.29	0.24	0.22	0.16	0.30	0.47	0.60	0.73	0.50

Tab. 9. Nedbørhøyde (RR), midlere nedbørveid konsentrasjon av sterk syre (pH), antropogent sulfat (CSO_4), sink (Zn), magnesium (Mg), ikke-maritimt kalsium (ExcCa) og konduktivitet (κ_{20}) ved Lindåsprosjektets nedbørkjemiske stasjoner, og ved NILU's stasjon på Fitjar. Døgnprøver innsamlet i tiden 20.1 - 31.3.1973.

LOKALITET	RR (mm)	pH-verdi	CSO_4 (mg SO_4/l)	Zn ($\mu\text{g}/\text{l}$)	Mg (mg/l)	ExcCa mg/l	κ_{20} ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
02 Arås	520	4.73	1.72	129	0.52	0.15	74
03 Fønnes	528	4.95	1.57	91	0.44	0.16	69
07 Fjellsbø	564	4.69	2.83	156	0.31	0.22	74
10 Eikeland	593	4.77	2.03	116	0.41	0.14	60
21 Bergen (Florida)	646	4.51	2.18	177	0.37	0.25	64
FITJAR	455 ^{a)}	4.70	1.67	-	0.40	-	-

a) Målt i NILU-nedbørmåler.

4.2.2. Midlere ionekonsentrasjon i nedbør

Oppsummeringen for tidsrommet 20.1. - 31.3.1973 (tab. 9), viser at konsentrasjonen av sterk syre (pH), antropogent sulfat, sink og ikke-maritimt kalsium stort sett er høyere i Bergen enn i land-distriktene syd og nord for byen. (De relativt høye verdiene fra Fjellsbø og tildels Eikeland skyldes trolig kontaminering av nedbørprøver under lagring på stasjonene). Også snøundersøkelser viser lokale maksima i Bergen sentrum for endel ioner med antropogene kilder (Førland & Gjessing, 1975).

Midlere nedbørveid ionekonsentrasjon for årene 1973-1976 er gitt i tab. 10, og den geografiske fordeling er vist i fig. 4 a)-d). Verdiene fra stasjonene med ukentlig prøvetaking er justert ned med 10% for at de skal være sammenlignbare med verdiene fra døgnstasjonene.

Midlere årlig ionekonsentrasjon for Lindåsprosjektets ti nedbørkjemiske stasjoner viser at nedbørens pH-verdi var omlag den samme både i 1974, 1975 og 1976, mens konsentrasjonen av antropogent sulfat, nitrat, magnesium og klorid var noe høyere i 1976 enn i de to foregående år. "Område-midlene" ("Nordhordland") for perioden 1974-76 for samtlige ti stasjoner samsvarer godt med årsverdiene i tab. 8.

Den geografiske fordeling (fig. 4) tyder på at konsentrasjonen av både sterk syre (pH), antropogent sulfat, nitrat og magnesium (samt klorid, ikke-maritimt kalsium og konduktivitet (tab. 10)) er høyest ytterst ved kysten, med avtakende verdier mot øst.

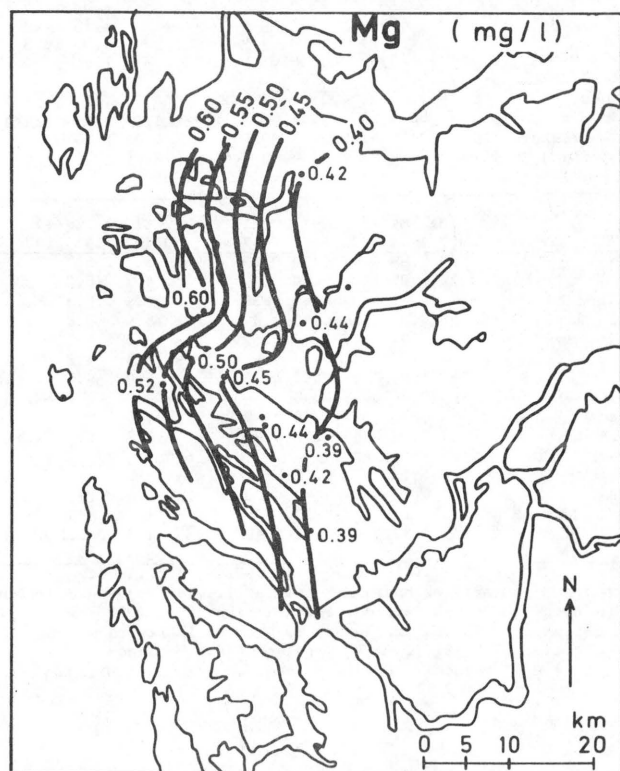
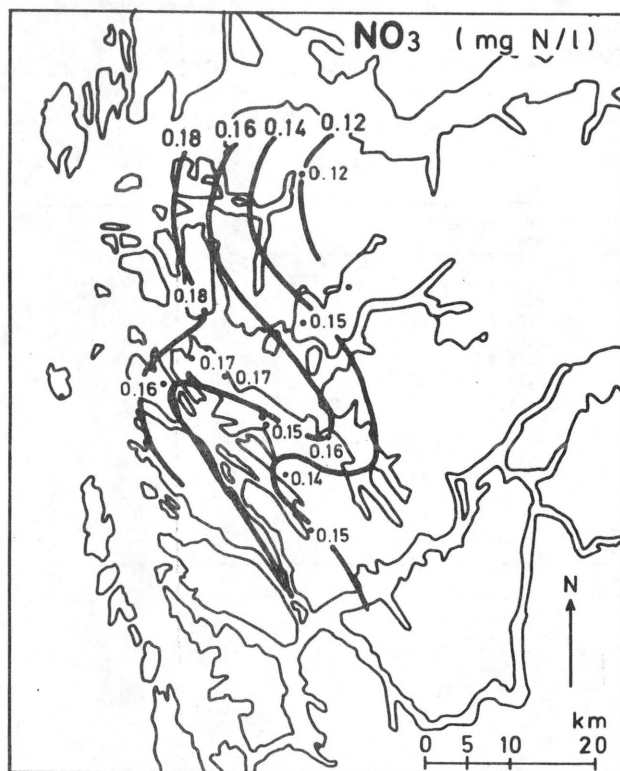
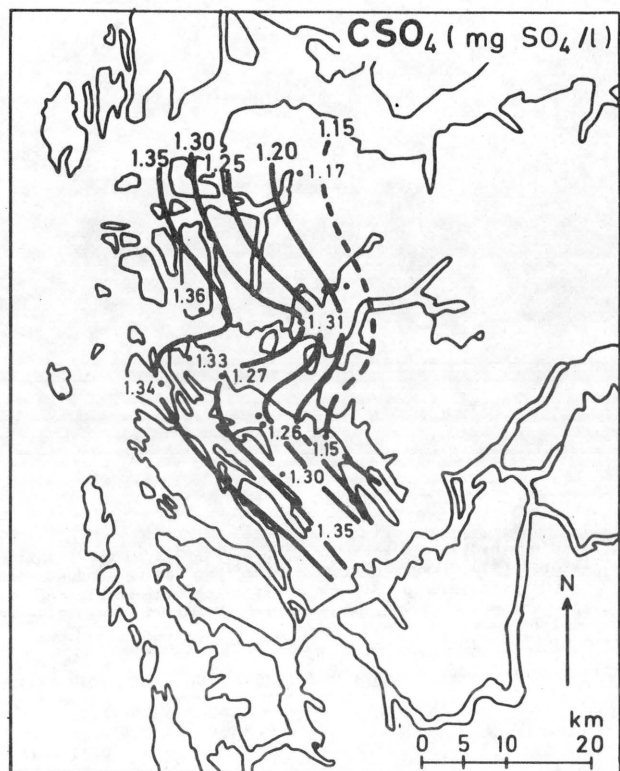
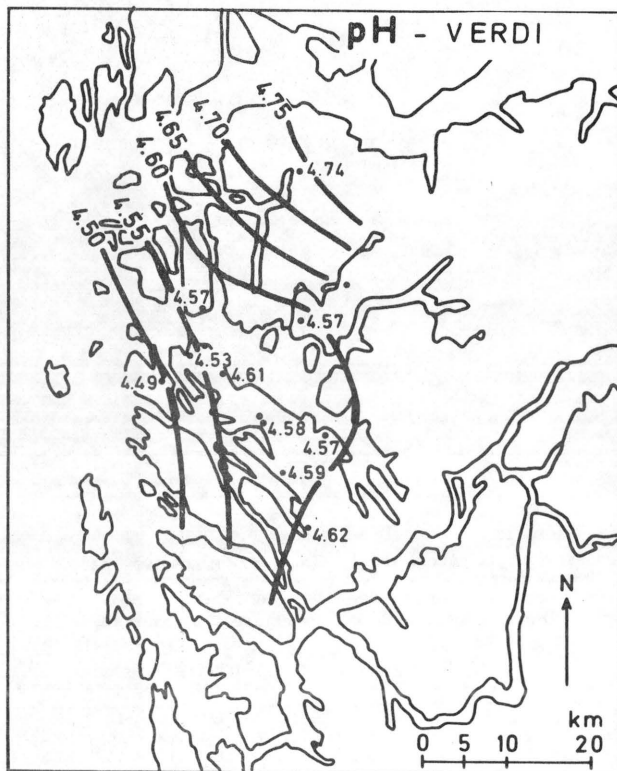


Fig. 4. Midlere (nedbørveid) konsentrasjon av sterk syre (pH-verdi), antropogent sulfat (CSO₄), nitrat (NO₃) og magnesium (Mg) i nedbør innsamlet i Nordhordland/Ytre Sogn i tiden 1.4.1974 - 31.12.1976.

Tab. 10. Midlere nedbørveid konsentrasjon av sterk syre (pH), antropogent sulfat (CSO₄), nitrat (NO₃), sink (Zn), magnesium (Mg), klorid (Cl), ikke-maritimt kalsium (Exc Ca) og konduktivitet (κ₂₀) ved Lindåsprosjektets nedbørkjemiske stasjoner, og ved NILU's stasjoner på Birkenes, Fitjar og Skei i Jølster. Verdiene fra stasjonene med ukentlig prøvetaking (U) er nedjustert med 10 % (se kap. 4.1). Årsverdiene for 1973 og 1974 omfatter den del av året da de respektive stasjoner var i drift (se tab. 4).

LOKALITET	PH-VERDI					CSO ₄ (mg SO ₄ /l)					NO ₃ (µgN/l)					Zn (µg/l)					
	Tidsrom	1973	1974	1975	1976	74-76e)	1973	1974	1975	1976	74-76e)	1973	1974	1975	1976	74-76e)	1973	1974	1975	1976	74-76e)
03 Fønnes		4.72	4.30	4.60	4.56	4.53	1.48	1.30	1.33	1.52	1.33	-	152	153	229	172	60	15	14	13	15
04/05 Kolås/Lindås a)		4.40	4.52	4.58	4.54	4.58	1.28	1.27	1.19	1.44	1.26	-	113	151	177	145	37	16	13	11	13
06 Hodneland b)		-	4.75	4.61	4.53	4.57	-	0.93	1.07	1.43	1.15	-	126	168	177	164	-	12	13	11	13
11 Sandebygda		4.52	4.53	4.59	4.51	4.57	0.42	1.22	1.38	1.56	1.36	-	157	191	188	180	17	14	24	16	19
02 Årås b)	(U)	-	4.45	4.52	4.49	4.49	-	1.19	1.30	1.57	1.34	-	114	176	189	161	-	12	13	13	13
08 Hundvin	(U)	-	4.55	4.58	4.57	4.59	-	1.31	1.14	1.49	1.30	-	132	132	158	139	-	14	11	10	12
09 Seim	(U)	-	4.48	4.66	4.65	4.62	-	1.38	1.24	1.48	1.35	-	166	130	152	147	-	15	16	15	15
12 Frøyset	(U)	-	4.48	4.59	4.56	4.57	-	1.15	1.23	1.61	1.31	-	163	130	164	148	-	11	15	12	13
13 Haveland	(U)	-	4.66	4.68	4.74	4.74	-	0.93	1.23	1.32	1.17	-	123	117	135	123	-	13	14	12	13
14 Knarvik-N b)	(U)	-	4.63	4.59	4.61	4.61	-	1.21	1.22	1.41	1.27	-	166	166	172	167	-	10	12	10	11
21 Bergen-Florida c)		4.45	-	-	-	-	2.53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	185	-	-	-	-
Birkenes		4.23	4.22	4.3	4.21	4.21	3.20	3.32	3.04	3.54	3.19	-	-	470	650	-	-	-	-	-	-
Fitjar		4.60	4.55	4.5	4.60	4.53	1.84	1.59	2.08	2.26	1.95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Skei i Jølster		6.26	5.91	5.0	4.90(6.1)	-	0.94	1.36	0.92	0.99	1.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nordhordland (st.03-14) f)		-	4.54	4.60	4.58	4.59	-	1.19	1.23	1.48	1.28	-	141	151	174	155	-	13	14	12	14

LOKALITET	Mg (mg/l)					Cl d) (mg/l)					Exc Ca (mg/l)					κ ₂₀ (µS/cm)					
	Tidsrom	1973	1974	1975	1976	74-76e)	1973	1974	1975	1976	74-76e)	1973	1974	1975	1976	74-76e)	1973	1974	1975	1976	74-76e)
03 Fønnes		0.60	0.49	0.47	0.53	0.50	8.9	5.4	5.4	7.3	6.0	0.11	0.18	0.14	0.14	0.16	76.6	52.3	37.2	41.6	43.4
04/05 Kolås/Lindås a)		0.28	0.37	0.46	0.50	0.44	4.2	4.1	6.0	6.3	5.5	0.07	0.13	0.09	0.09	0.10	116.9	49.1	33.4	36.4	39.9
06 Hodneland b)		-	0.41	0.34	0.46	0.39	-	4.9	4.3	6.1	4.8	-	0.12	0.08	0.09	0.10	-	31.7	28.7	34.8	31.1
11 Sandebygda		0.58	0.56	0.64	0.63	0.60	8.7	6.4	7.8	8.3	7.3	0.08	0.20	0.11	0.11	0.13	79.4	60.0	45.0	43.4	50.1
02 Årås b)	(U)	-	0.44	0.47	0.67	0.52	-	4.8	5.9	6.9	5.9	-	0.32	0.12	0.15	0.15	-	54.4	37.2	42.8	43.6
08 Hundvin	(U)	-	0.39	0.39	0.49	0.42	-	4.4	4.8	6.5	5.1	-	0.19	0.08	0.11	0.12	-	63.8	32.2	35.1	44.3
09 Seim	(U)	-	0.34	0.35	0.51	0.39	-	4.0	4.5	6.9	4.9	-	0.16	0.08	0.17	0.13	-	50.1	28.0	35.9	37.9
12 Frøyset	(U)	-	0.38	0.46	0.49	0.44	-	4.3	5.2	6.5	5.3	-	0.21	0.10	0.18	0.15	-	60.7	33.0	35.7	42.9
13 Haveland	(U)	-	0.33	0.43	0.49	0.42	-	4.0	5.4	6.0	5.1	-	0.12	0.08	0.13	0.11	-	46.6	32.2	31.1	36.8
14 Knarvik-N b)	(U)	-	0.44	0.44	0.48	0.45	-	4.8	5.4	6.5	5.5	-	0.17	0.07	0.08	0.10	-	40.7	34.5	34.5	36.4
21 Bergen-Florida c)		0.34	-	-	-	-	6.0	-	-	-	-	0.25	-	-	-	-	63.6	-	-	-	-
Birkenes		-	-	-	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.15	-	-	-	-	-	-
Fitjar		-	0.37	0.34	0.47	0.39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Skei i Jølster		-	-	-	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
" Nordhordland"		-	0.42	0.45	0.53	0.46	-	4.7	5.5	6.7	5.5	-	0.8	0.10	0.13	0.13	-	50.9	34.1	37.1	40.6

a) Lindås 25.6.1973 - 25.4.1975. Kolås 26.4.1975 - 31.12.1976.

b) Prøvetakingen ved Årås og Knarvik-N startet 1.4.1976 og ved Hodneland 10.8.1974.

c) Prøvetakingen ved Bergen-Florida pågikk i tiden 24.1.1973 - 12.6.1973.

d) Klorid i prøver innsamlet før august 1974 er estimert fra magnesium

e) Tidsrommet 1.4.1974 - 31.12.1976. Verdiene for Hodneland 1.4.1974-20.8.1974 er interpolert fra Fønnes-verdiene.

f) Aritmetisk middel for de ti LP-stasjonene for (St.nr. 03-14).

pH-verdien øker fra ca. 4.50 i vest til 4.74 ved Haveland, antropogent sulfat avtar fra ca. 1.35 mg SO₄/l lengst i vest til ca. 1.15 mg SO₄/l ved Haveland, og magnesium fra

ca. 0.60 mg/l i Sandebygda til ca. 0.40 mg/l på de østligste stasjonene. Denne geografiske fordeling av ionekonsentrasjonen skyldes trolig en kombinert effekt av utvasking av ioner, og konsentrasjonsfortynning p.g.a. at nedbør-mengdene i dette området øker sterkt mot øst (se fig. 8 a).

Et interessant trekk er at isolinjene for samtlige ioner avbøyes ved Fensfjorden, - med høyere verdier langs fjorden enn avstanden fra kystlinjen skulle tilsi.

4.2.3. Frekvensfordeling og ekstremverdier.

Tab. 11a viser frekvensfordelingen av pH, CSO₄, NO₃, ExcCa og Mg i døgnlige nedbørprøver fra Fonnes for årene 1973-1976. Det fremgår at det er store tidsvariasjoner i nedbør - kvaliteten: pH-verdiene ligger i intervallet 3.3-7.1, CSO₄: 0.0 - 24.6 mg SO₄/l, NO₃: 10 - 3360 µg N/l, ExcCa: 0.0-2.6 mg/l og Mg: 0.01-
≥10.0 mg/l. Frekvensfordelingene varierer relativt lite fra år til år; eksempelvis ligger de årlige medianverdiene for pH i intervallet $\tilde{\text{pH}}$: 4.5-5.0, $\tilde{\text{CSO}}_4$: 1.0-1.2 mg SO₄/l, NO₃: 90-130 µg N/l, ExcCa: 0.09-0.16 mg/l og Mg: 0.24-0.31 mg/l.

I atmosfæren har vann i likevekt med karbondioksyd (CO₂) en pH-verdi ("naturlig bakgrunnsverdi") på ca. 5.6. I Nordhordland hadde ca. 90 % av nedbørprøvene pH-verdi lavere enn 5.6, dvs. høyere syrekonsentrasjon enn den naturlige bakgrunnsverdi. Tab. 11b viser også at over 90 % av nedbørprøvene inneholdt ikke-maritimt sulfat (CSO₄ ≥ 0.1 mg SO₄/l).

Tab. 11a. Frekvensfordeling (prosentil-verdier) av konsentrasjon av sterk syre (pH-verdi), antropogent sulfat (CSO₄), nitrat (NO₃), ikke-maritimt kalsium (Exc Ca) og magnesium (Mg) i døgnlige nedbørprøver innsamlet ved Fønnes i tiden 20.1.1973 - 31.12.1976.

	PH-VERDI					CSO ₄ (mgSO ₄ /l)					NO ₃ (µgN/l)				Exc Ca (mg/l)				Mg (mg/l)					
	1973	1974	1975	1976	1973-76	1973	1974	1975	1976	1973-76	1974	1975	1976	1974-76	1973	1974	1975	1976	1973-76	1973	1974	1975	1976	1973-76
MIN	3.38	3.30	3.38	3.48	3.30	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	<10	<10	<10	<10	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
5%	3.90	3.80	3.72	3.87	3.82	0.00	0.09	0.01	0.06	0.04	20	<10	<10	15	-0.01	0.03	0.01	0.04	0.02	0.05	0.06	0.03	0.04	0.05
10%	4.19	3.95	4.00	4.02	4.04	0.15	0.23	0.17	0.20	0.19	30	20	20	25	0.01	0.05	0.02	0.05	0.03	0.07	0.09	0.05	0.07	0.07
20%	4.50	4.15	4.26	4.21	4.28	0.33	0.39	0.31	0.34	0.34	50	40	40	45	0.03	0.07	0.04	0.07	0.05	0.10	0.13	0.10	0.10	0.11
35%	4.80	4.30	4.50	4.49	4.52	0.67	0.67	0.56	0.74	0.66	70	60	70	65	0.06	0.11	0.06	0.09	0.08	0.14	0.22	0.19	0.20	0.19
50%	5.02	4.45	4.73	4.80	4.75	1.19	0.99	1.03	1.10	1.08	108	90	130	110	0.09	0.16	0.10	0.12	0.12	0.24	0.30	0.31	0.29	0.29
65%	5.57	4.70	5.00	5.03	5.08	1.73	1.43	1.63	1.62	1.60	180	175	200	185	0.13	0.23	0.14	0.15	0.16	0.37	0.43	0.51	0.50	0.45
80%	6.05	5.15	5.29	5.29	5.45	2.95	1.97	2.65	2.62	2.55	272	315	440	340	0.18	0.31	0.25	0.24	0.25	0.66	0.71	0.94	0.91	0.81
90%	6.27	5.45	5.52	5.55	5.70	4.78	3.53	4.18	4.81	4.33	352	660	760	590	0.29	0.46	0.43	0.41	0.40	1.19	1.40	1.38	1.84	1.45
95%	6.45	5.80	5.78	5.80	5.96	7.02	4.80	7.17	7.35	6.59	444	900	970	770	0.45	0.59	0.77	0.56	0.59	2.05	2.16	2.20	2.40	2.20
MAKS	7.11	6.75	6.95	6.60	7.11	24.57	15.99	23.40	18.56	24.57	1560	2185	3355	3355	1.47	2.01	2.58	0.69	2.58	10.00	2.72	7.50	5.10	10.00
Antall prøver	189	170	202	161	722	178	169	193	146	686	75	153	136	364	180	173	194	149	696	180	173	194	149	696

Tab. 11b. Frekvensfordeling (prosentilverdier) av konsentrasjon av sterk syre (pH-verdi), antropogent sulfat (CSO₄), nitrat (NO₃), ikke-maritimt kalsium (Exc Ca) og magnesium (Mg) i døgnlige nedbørprøver innsamlet ved Fønnes (Fo), Kolås/Lindås (Ko), Hodneland (Ho) og Sandebygda (SA) i tiden 1973-1976 a).

	pH-verdi				CSO ₄ (mgSO ₄ /l)				NO ₃ (µgN/l)				Exc Ca (mg/l)				Mg (mg/l)				
	Fo	Ko	Ho	SA	Fo	Ko	Ho	SA	Fo	Ko	Ho	SA	Fo	Ko	Ho	SA	Fo	Ko	Ho	SA	
MIN	3.30	3.25	3.31	3.30	-0.01	-0.01	-0.01	<10	<10	<10	<10	<10	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	
5%	3.82	3.79	3.92	3.88	0.00	0.06	0.05	0.03	15	15	15	15	15	0.02	0.01	0.01	0.01	0.05	0.03	0.03	0.05
10%	4.04	3.98	4.09	4.04	0.15	0.17	0.12	0.13	25	25	20	25	25	0.03	0.02	0.02	0.02	0.07	0.04	0.05	0.07
20%	4.28	4.27	4.36	4.32	0.33	0.29	0.24	0.29	45	40	40	45	0.05	0.02	0.05	0.03	0.11	0.07	0.09	0.15	
35%	4.52	4.49	4.59	4.49	0.67	0.59	0.54	0.53	65	60	60	80	0.08	0.05	0.06	0.06	0.19	0.11	0.15	0.26	
50%	4.75	4.65	4.80	4.68	1.19	0.95	0.90	0.88	110	120	110	130	0.12	0.07	0.10	0.09	0.29	0.18	0.23	0.37	
65%	5.08	4.83	5.05	4.93	1.73	1.35	1.37	1.23	185	180	170	185	0.16	0.10	0.14	0.13	0.45	0.27	0.38	0.63	
80%	5.45	5.07	5.30	5.20	2.95	2.17	2.08	2.11	340	275	290	340	0.25	0.14	0.18	0.19	0.81	0.54	0.69	1.07	
90%	5.70	5.29	5.49	5.52	4.78	3.91	3.37	3.19	590	400	540	530	0.40	0.20	0.25	0.35	1.45	0.83	1.10	1.66	
95%	5.96	5.52	5.72	5.75	7.02	6.60	5.42	4.51	770	655	720	790	0.59	0.28	0.37	0.52	2.20	1.15	1.53	2.62	
MAKS	7.11	7.10	6.85	7.05	24.57	26.86	19.48	19.99	3355	6900	4015	3465	2.58	2.79	1.19	1.94	10.0	5.70	4.08	5.00	
Antall prøver	722	485	456	515	686	470	457	508	364	300	372	337	696	474	450	509	696	474	450	509	

a) Fønnes: 20.1.1973 - 31.12.1976, Lindås: 25.6.1973 - 26.4.1975, Kolås: 26.4.1975 - 31.12.1976, Hodneland: 20.8.1974 - 31.12.1976, Sandebygda: 28.10.1973 - 31.12.1976

Ionekonsentrasjonen i nedbørprøvene er J-fordelt (tab. 11). Ved Fønnes hadde ca. 5 % av de døgnlige nedbørprøver pH-verdi lavere enn 3.8, konsentrasjon av antropogent sulfat høyere enn 6.6 mg SO_4 /l, nitratkonsentrasjon høyere enn 0.8 mg N/l, kalsiumkonsentrasjon høyere enn 0.6 mg/l eller magnesiumkonsentrasjon høyere enn 2.2 mg/l. (Enkelte av ekstremverdiene skyldes trolig tilfeldig kontaminering av prøvene)

I de fleste episodene med høy konsentrasjon av antropogent sulfat i nedbør innsamlet ved Fønnes (tab. 13), var det høyt innhold også av sterk syre (lav pH-verdi), ikke-maritimt kalsium, sink og nitrat både i nedbørprøvene fra Fønnes, og fra andre prøvetakingssteder i Vest-Norge. (Luftmassetransporten i disse episodene er beskrevet i kap. 4.4.4).

Ekstremt lave pH-verdier i døgnlige nedbørprøver fra Fønnes (1973-1976) forekom særlig i februar og i mai-august (tab. 12), høye konsentrasjoner av antropogent sulfat i mai-august og oktober, høye nitratkonsentrasjoner i mai, juni og oktober, mens høye konsentrasjoner av magnesium særlig forekom i tiden november - februar. Dette er omlag samme årsforløp som for middelkonsentrasjonen (tab. 8).

Ekstreme ionekonsentrasjoner forekommer oftest ved små nedbørmengder (fig. 5). Dette er særlig utpreget for sterk syre (pH) (se også fig. 6), og ikke-maritimt kalsium der over 60 % av verdiene i fig. 5 ble målt ved døgnlige nedbørhøyder mindre enn eller lik 3 mm. Men det fremgår av fig. 5 at det stundom måles svært høye ionekonsentrasjoner også ved store døgnlige nedbørhøyder; eksempelvis $\text{pH} \sim 3.3$ - 3.4 ved 10-12 mm

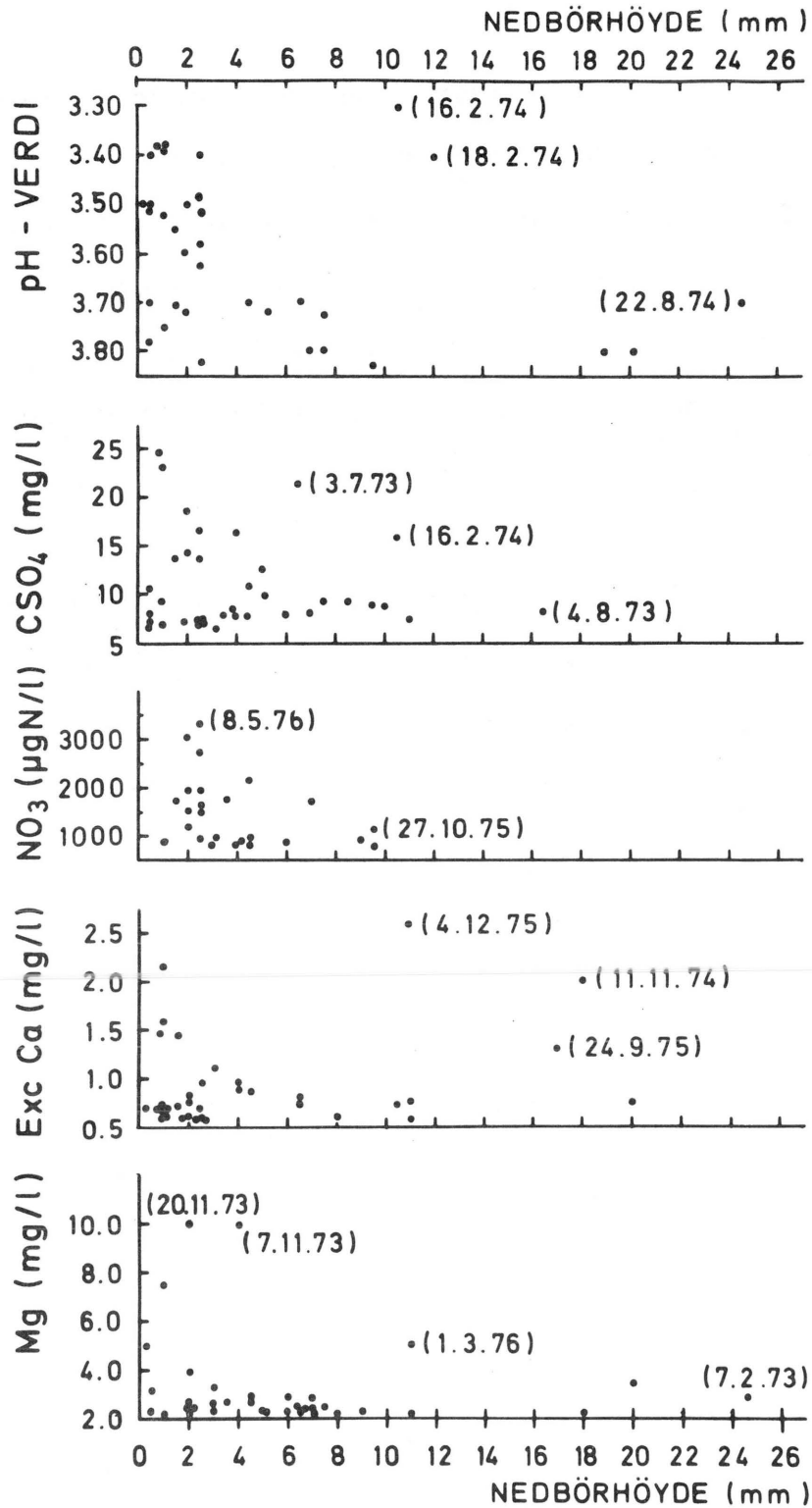


Fig. 5. Nedbørhøyde ved ekstreme konsentrasjoner (større enn 5% prosentilverdien) av sterk syre (pH-verdi), antropogent sulfat (CSO₄), nitrat (NO₃), ikke-maritimt kalsium (Exc-Ca) og magnesium (Mg) i døgnlige nedbørprøver innsamlet ved Fønnes i tiden 20.1.1973 - 31.12.1976. I parentes: Dato for innsamling av noen av nedbørprøvene.

Tab. 12. Årstidsfordeling av antall nedbørprøver fra Fonnes (1973-1976) med konsentrasjon av sterk syre (pH), antropogent sulfat (CSO_4), nitrat (NO_3), ikke-maritimt kalsium (ExcCa) og magnesium (Mg) større enn angitte grenseverdier (5% prosenttilverdier).

MÅNED	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DES
5% prosenttilverdi												
$\text{pH} \leq 3.82$	0	6	3	0	6	4	4	4	2	3	2	0
$\text{CSO}_4 \geq 6.59 \text{ mg SO}_4/\text{l}$	0	3	2	2	7	7	3	6	1	5	1	0
$\text{NO}_3 \geq 770 \text{ } \mu\text{gN/l}$	0	2	1	1	4	6	1	2	0	5	3	0
$\text{ExcCa} \geq 0.59 \text{ mg/l}$	3	1	2	2	4	4	2	2	1	2	4	1
$\text{Mg} \geq 2.20 \text{ mg/l}$	9	4	2	3	0	0	0	0	0	3	8	8

-

41

-

Tab. 13. Nedbørdøgn med høy konsentrasjon av antropogent sulfat (>6 mg SO₄/l) eller høy konsentrasjon av sterk syre (pH < 3.8) i nedbørprøver (>1.0 mm) innsamlet ved Fønnes i tiden 1.1.1975 - 31.12.1976.

Episode nr.	Prøve taksings-dato	FONNES					KOLÅS				HODNELAND				SANDEBYGDA			FITJAR				
		ExcCa	Zn	RR	pH-verdi	CSO ₄	NO ₃	RR	pH-verdi	CSO ₄	NO ₃	RR	pH-verdi	CSO ₄	NO ₃	RR	pH-verdi	CSO ₄	NO ₃	RR	pH-verdi	CSO ₄
1	28.2.75	1.6	-	1.2	3.52	23.4	-	0	-	-	-	1.0	4.10	4.5	-	0	-	-	-	0	-	-
2	26.8.76	0.0	-	2.0	3.50	18.6	3.0	1.1	3.52	17.3	2.9	1.0	3.40	-	>0.5	1.0	-	-	-	x	x	x
3	8.5.76	0.6	80	2.5	3.48	16.7	3.4	3.5	3.40	>7.2	3.7	4.0	3.31	>7.2	4.0	4.0	3.50	>7.1	3.5	0	-	-
4	15.8.75	0.4	40	4.0	4.53	16.6	0.9	0.1	-	-	-	0	-	-	-	2.0	3.70	15.2	0.8	0	-	-
5	12.6.75	0.3	45	2.0	3.72	14.2	1.2	1.0	-	-	-	3.0	3.65	14.2	1.5	0	-	-	-	1.6	3.95	10.1
6	25.10.75	0.6	115	2.5	3.58	13.7	2.0	0	-	-	-	3.0	3.50	19.5	-	2.5	3.56	13.9	-	2.5	3.85	4.6
7	2.7.76	0.5	-	1.5	3.70	13.6	1.7	1.3	3.71	12.1	-	2.0	3.64	15.3	1.4	1.0	3.73	12.2	1.2	x	x	x
8	26.10.76	0.5	30	3.1	3.65	12.2	1.8	0	-	-	-	4.0	3.60	14.0	2.8	4.0	3.70	9.6	1.7	2.9	3.55	12.9
9	21.6.75	0.4	-	4.5	3.70	10.9	2.2	14.5	3.85	6.9	1.0	12.0	3.98	6.6	1.2	-	-	-	-	15.0	3.70	8.6
10	20.6.75	0.5	70	7.0	3.80	8.1	1.7	7.5	3.84	7.0	1.2	7.0	3.79	9.2	1.4	7.0	7.05	1.3	0.2	4.1	3.60	11.7
11	11.6.76	0.4	45	4.5	4.21	8.0	0.8	3.5	3.90	8.9	0.8	4.0	4.00	7.4	0.7	-	-	-	-	x	x	x
12	24.6.76	0.3	20	6.0	3.87	7.9	0.9	8.5	3.95	~6.4	0.5	11.0	3.98	~5.1	0.4	5.5	3.90	5.7	0.6	x	x	x
13	27.6.76	0.2	15	11.0	3.84	7.7	0.8	14.0	3.92	~6.3	0.5	12.0	3.84	~7.8	0.6	8.0	3.90	6.1	0.6	x	x	x
14	31.8.76	0.1	15	4.0	3.97	7.7	0.4	2.0	3.90	8.2	0.4	4.0	3.69	7.4	0.3	2.5	4.07	6.8	0.4	x	x	x
15	4.3.75	1.0	-	2.5	3.65	7.4	1.6	4.8	3.80	10.6	-	4.5	3.97	4.8	0.8	6.5	5.95	5.8	1.1	4.3	4.00	5.0
16	23.5.75	2.5	15	2.5	3.82	~7.4	1.5	2.5	-	-	-	2.0	3.82	7.4	1.7	3.0	3.82	4.8	1.1	0	-	-
17	22.2.76	0.3	90	2.5	3.51	>7.2	2.8	3.0	3.69	3.3	2.3	9.0	3.80	3.3	1.5	1.5	3.58	4.0	3.3	0.2	3.20	46.1
18	10.10.76	0.3	30	3.5	3.90	7.0	1.8	0.5	4.00	5.2	1.5	6.0	3.91	5.2	0.1	3.0	3.78	8.6	1.4	x	x	x
19	11.5.76	0.3	15	16.0	3.90	~6.3	0.6	17.0	3.90	6.9	0.5	19.0	3.95	6.2	0.5	16.0	4.00	4.9	0.7	13.2	3.95	15.2
20	15.11.75	0.1	20	7.5	3.76	4.2	0.4	-	-	-	-	12.0	3.89	4.2	0.3	11.5	3.94	5.4	0.4	7.3	4.00	7.3
Middel for 14 nedbørdøgn a)		0.4	43	5.2	3.72 ^{b)}	9.1	1.5	-	-	-	-	7.1	3.72 ^{b)}	8.4	1.2	5.4	3.84 ^{b)}	6.9	1.2	-	-	-

a) Eksklusive nedbørdøgn med ufullstendige data : 28.2.75, 12.6.75, 15.8.75, 11.6.76, 26.8.76 og for NO₃ også ekskl. 25.10.75.
b) Midlere pH-verdi er beregnet fra midlere konsentrasjon av sterk syre.

Symbolforklaring :
RR : Nedbørhøyde (mm)
ExcCa: Ikke-maritimt kalsium (mg/l)
Zn : Sink (µg/l)
CSO₄ : Antropogent sulfat (mg SO₄/l)
NO₃ : Nitrat (mg N/l)

Tab. 14. Nedbørhøyde (RR) og midlere nedbørveid konsentrasjon av magnesium (Mg), antropogent sulfat (CSO₄) og sterk syre (ACID) i nedbør fra Mongstad-området før og etter driftstart ved oljeraffineriet. Verdiene lengst til høyre gir endring i sulfatkonsentrasjonen mellom de to periodene.

	TIDSROM: 1.4.1974 - 1.4.1975					TIDSROM: 1.4.1975 - 31.12.1976					CSO ₄ -endring
	RR (mm)	Mg (mg/l)	CSO ₄ (mgSO ₄ /l)	ACID µekv/l	pH	RR (mm)	Mg (mg/l)	CSO ₄ (mgSO ₄ /l)	ACID µekv/l	pH	
03 Fønnes	1808	0.55	1.27	36.1	4.44	2817	0.46	1.36	24.8	4.60	+0.09
04/05 Kolås/Lindås	1940	0.45	1.32	25.5	4.59	2866	0.41	1.26	26.6	4.57	-0.06
06 Hodneland	2245	0.44 ^{b)}	1.06 ^{b)}	27.9 ^{b)}	4.55 ^{b)}	3598	0.36	1.20	25.5	4.59	+0.14
11 Sandebygda	1780	0.60	1.26	27.3	4.56	2637	0.59	1.44	26.6	4.57	+0.18
02 Årås a)	1658	0.50	1.26	35.2	4.45	2600	0.53	1.40	29.9	4.52	+0.14
08 Hundvin a)	1992	0.43	1.33	24.8	4.60	3010	0.41	1.28	26.0	4.58	-0.05
09 Seim a)	2027	0.38	1.37	26.6	4.57	2934	0.39	1.34	22.1	4.65	-0.03
12 Frøyset a)	2266	0.47	1.30	30.7	4.51	3786	0.43	1.32	24.3	4.61	+0.02
13 Haveland a)	2778	0.40	1.07	16.6	4.77	4513	0.44	1.23	18.7	4.72	+0.16
14 Knarvik-N a)	1847	0.47	1.27	24.3	4.61	2855	0.43	1.26	24.3	4.61	-0.06
"NORDHORDLAND" c)	2034	0.47	1.25	27.5	4.56	3162	0.45	1.31	24.9	4.60	+0.06

a) Stasjoner med ukentlig prøvetaking. Konsentrasjonsverdiene er nedjustert med 10% (se Kap. 4.1.)
b) Ikke prøvetaking ved Hodneland i tiden 1.4.1974 - 20.8.1974. Ionekonsentrasjonene for denne perioden er interpolert fra Fønnes-verdiene.
c) Aritmetisk middel for de ti stasjonene (pH beregnet fra ACID).

nedbør (16. og 18. februar 1974), antropogent sulfat ~ 16 mg SO_4 /l ved 10.5 mm nedbør (16.2.74), ikke-maritimt kalsium ~ 2 mg/l ved 18 mm (11.11.74) og magnesium ~ 5 mg/l ved døgnlig nedbørhøyde på 11 mm (1.3.76).

57 % av den døgnlige nedbør som ble innsamlet ved Fønnes i årene 1973-76 hadde pH-verdi i intervallet 4.30 - 5.19 (fig.6), mens ca. 5% av nedbøren hadde pH-verdi lavere enn 4.0 (fig.7). Den kumulative fordeling av pH i nedbør fra Fitjar på Stord og Birkenes på Sørlandet for tidsrommet 1.7.72- 30.6.75 (fra Dovland et.al., 1976 fig. 8) er gjengitt i fig. 7, sammen med tilsvarende verdier fra Fønnes for tidsrommet 20.1.73 - 31.12.76. Frekvensfordelingene for Fønnes og Fitjar viser bare små avvik, med en svak tendens til større hyppighet av høye pH-verdier på Fønnes enn på Fitjar. Fig. 7 understreker at nedbøren på Sørlandet gjennomgående er betydelig surere enn på Vestlandet. Ved Birkenes har f.eks. nesten 70 % av nedbøren pH-verdi lavere enn 4.5, mens tilsvarende tall for Fitjar og Fønnes er ca. 30 %. Fig. 7 tyder imidlertid på at hyppigheten av svært sur nedbør ($\text{pH} < 4.0$) er omlag den samme i de to landsdeler.

4.2.4. Ionekonsentrasjon i nedbør før og etter driftsstart ved oljeraffineriet på Mongstad

Tab. 14 viser nedbørhøyde og konsentrasjon av magnesium, antropogent sulfat og sterk syre (pH) i nedbør fra området omkring Mongstad før og etter driftsstart ved oljeraffineriet. (Isolinjer for nedbørhøyde og ionekonsentrasjon for perioden 1.4.74 - 1.4.75 er vist i en tidligere rapport (Førland, 1976, fig.5).

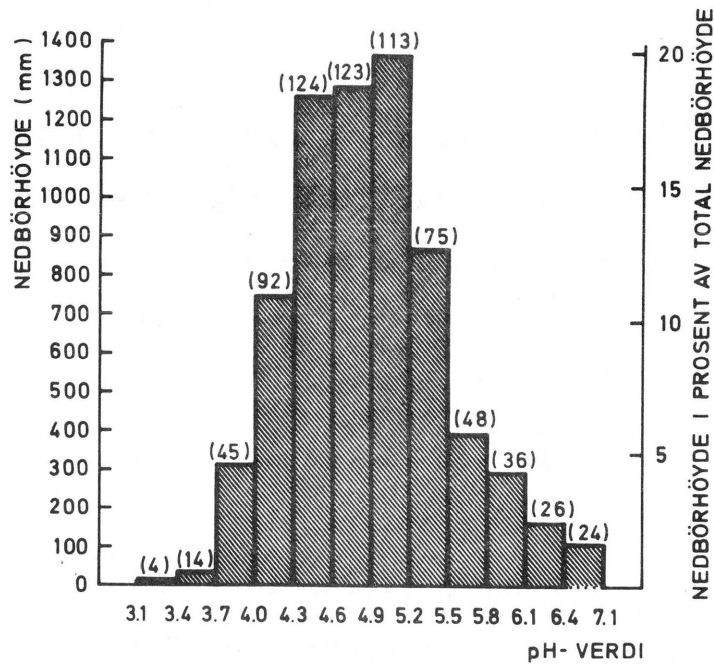
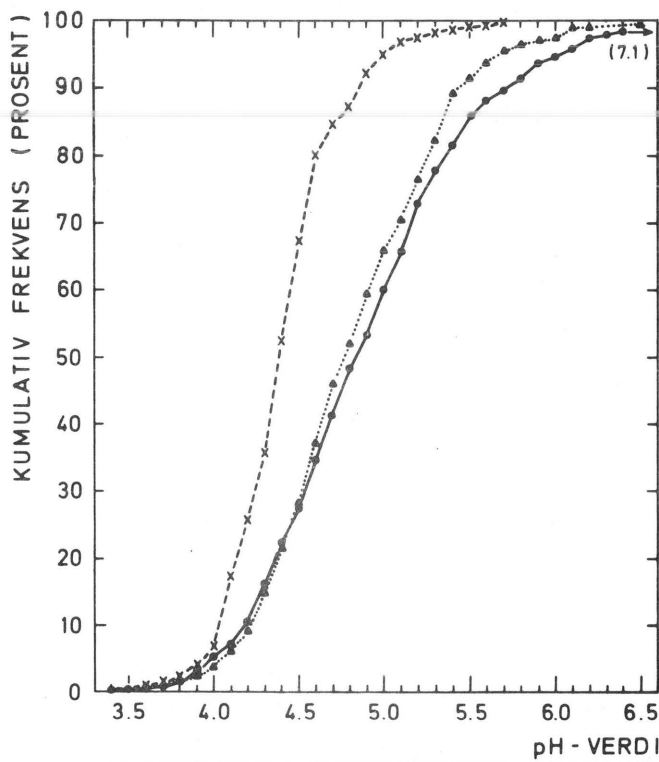


Fig. 6. Nedbørhøyde i ulike pH-intervaller. Fønnes 20.1.1973 - 31.12.1976. Total nedbørhøyde for nedbørprøver der pH er analysert: 6865 mm.



LOKALITET	TIDSROM	NEDBÖR-HÖYDE
●—● FØNNES	20.01.73 - 31.12.76	6865 mm
▲.....▲ FITJAR	01.07.72 - 30.06.75	5262 mm
x---x BIRKENES	01.07.72 - 30.06.75	3920 mm

Fig. 7. Prosent av totalnedbør med pH-verdi lavere enn verdiene gitt på abscissen. (Data for Fitjar og Birkenes er fra Brække, 1976 (Fig. 8, s. 23)).

Ved kvalitetskontroll av data er det senere foretatt korreksjon av noen få verdier, slik at det for enkelte komponenter er (ubetydelige) avvik mellom tab. 14 og de tidligere presenterte verdier. De kvalitative trekk i isolinjeforløpet er dog de samme).

Det fremgår (tab 14) at "områdemidlet" ("Nordhordland") er omlag det samme (~ 1.3 mg SO_4 /l) i de to periodene. Ved stasjonene syd for Mongstad (Knarvik, Kolås/Lindås, Hundvin og Seim) synes det som om sulfatkonsentrasjonen er lavere enn før driftsstarten ved raffineriet, mens det ved stasjonene nord og nordøst for Mongstad (Sandebygda, Frøyset og Haveland) er høyere sulfatkonsentrasjon enn før driftsstarten.

Disse tendensene er imidlertid ikke statistisk signifikante (standard-avvikene for sulfatkonsentrasjonen i de to periodene er for de fleste stasjonene av samme størrelses-orden som middel-konsentrasjonen, dvs. ca. 1.5 mg SO_4 /l). At den tilsynelatende økning i sulfatkonsentrasjon ved Sandebygda og Haveland ikke uten videre kan tilskrives svovelutslipp ved oljeraffineriet understrekes av at det ved Fønnes og Årås, som sjelden får nedbør når vinden blåser i retning fra Mongstad- også tilsynelatende har vært en økning i sulfatkonsentrasjonen.

4.3. Nedfall

De høyeste årsverdier for nedbørhøyde og ionenedfall forekom i 1975 på de fleste målestasjonene (tab. 15). Ved Haveland var det i 1975 et kloridnedfall på over 17 g Cl/m^2 (dvs. 17 tonn Cl/km^2), nedfallet av nitrat var 1.4 g N/m^2 , antropogent sulfat 4.0 g SO_4/m^2 og sterk syre 68 mekv/ m^2 (som svarer til ca. 3.3 g svovelsyre / m^2).

Tab. 15. Nedbørhøyde (RR) og normalisert nedfall av magnesium (Mg), klorid (Cl), ikke-maritimt kalsium (Exc-Ca), sterk syre (ACID), antropogent sulfat (CSO₄), nitrat (NO₃) og sink (Zn) ved Lindås-prosjektets nedbør-kjemiske stasjoner, og ved NILU's stasjoner på Birkenes, Fitjar og Skei i Jølster. Nedfallsverdiene fra stasjonene med ukentlig prøvetaking (U) er nedjustert med 10% (se Kap. 4.1.). Årssommene for 1973 og 1974 omfatter bare den del av året da de respektive stasjoner var i drift (se tab. 4).

Lokalitet	RR (mm)					Mg (g/m ²)					Cl c) (g/m ²)					Exc Ca (g/m ²)				
	1973	1974	1975	1976	1974-d)	1973	1974	1975	1976	1976-d)	1973	1974	1975	1976	1976-d)	1973	1974	1975	1976	1976-d)
03 Fonnes	2147	1745	2030	1197	4624	1.28	0.86	0.96	0.64	2.30	19.1	9.4	10.9	8.7	27.6	0.23	0.31	0.29	0.17	0.72
04/05 Kolås/ Lindås a)	1347	1927	2189	1099	4807	0.38	0.72	1.02	0.55	2.12	5.7	8.0	13.2	6.9	26.4	0.10	0.24	0.20	0.10	0.49
06 Hodneland ^{b)}	-	1142	2641	1490	5843	-	0.47	0.90	0.68	2.27	-	5.6	11.3	9.1	28.3	-	0.14	0.21	0.14	0.57
11 Sandebygda	595	1743	1966	1083	4417	0.35	0.97	1.25	0.68	2.64	5.2	11.2	15.4	9.0	32.4	0.05	0.35	0.22	0.11	0.56
02 Årås ^{b)} (U)	-	1231	1886	1141	4258	-	0.54	0.90	0.76	2.20	-	6.0	11.1	7.9	24.9	-	0.40	0.22	0.17	0.66
08 Hundvin (U)	-	1928	2159	1270	5003	-	0.74	0.85	0.62	2.09	-	8.5	10.5	8.3	25.7	-	0.37	0.18	0.13	0.62
09 Seim (U)	-	1895	2108	1224	4960	-	0.64	0.73	0.63	1.93	-	7.5	9.5	8.4	24.3	-	0.31	0.17	0.20	0.64
12 Frøyset (U)	-	2156	2735	1569	6047	-	0.82	1.25	0.78	2.68	-	9.4	14.1	10.2	31.9	-	0.44	0.27	0.29	0.92
13 Haveland (U)	-	2675	3246	1965	7291	-	0.89	1.41	0.96	3.09	-	10.8	17.5	11.8	37.5	-	0.33	0.26	0.26	0.78
14 Knarvik N ^{b)} (U)	-	1402	2082	1218	4702	-	0.61	0.91	0.58	2.10	-	6.7	11.2	7.9	26.8	-	0.23	0.15	0.09	0.47
Birkenes	1072	1564	1341	1434	3873	-	-	-	0.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.21	-
Fitjar	1821	1740	1772	1060	4247	-	0.65	0.61	0.50	1.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Skei i Jølster	2228	1523	2112	1370	4736	-	-	-	0.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Lokalitet	ACID (mekv/m ²)					CSO ₄ (g SO ₄ /m ²)					NO ₃ (mg/m ²)					Zn (mg/m ²)				
	1973	1974	1975	1976	1976-d)	1973	1974	1975	1976	1976-d)	1973	1974	1975	1976	1976-d)	1973	1974	1975	1976	1976-d)
03 Fonnes	40	86	51	33	137	3.18	2.27	2.70	1.82	6.17	-	265	310	274	796	128	26	29	15	68
04/05 Kolås/ Lindås a)	54	58	58	31	126	1.72	2.45	2.60	1.58	6.06	-	218	331	194	696	50	31	28	12	60
06 Hodneland	-	20	64	44	155	-	1.06	2.83	2.13	6.70	-	144	443	264	960	-	14	35	17	78
11 Sandebygda	18	50	50	33	118	0.25	2.12	2.71	1.69	6.01	-	273	376	204	796	10	24	47	17	84
02 Årås (U)	-	43	56	37	137	-	1.46	2.46	1.79	5.71	-	140	331	216	687	-	15	24	15	54
08 Hundvin (U)	-	53	57	34	128	-	2.54	2.47	1.89	6.50	-	254	285	201	693	-	26	24	13	59
09 Seim (U)	-	63	45	27	118	-	2.61	2.60	1.81	6.70	-	314	274	186	730	-	29	31	19	72
12 Frøyset (U)	-	71	69	42	162	-	2.47	3.37	2.53	7.94	-	351	355	257	896	-	24	42	18	78
13 Haveland (U)	-	57	66	35	130	-	2.48	4.00	2.60	8.52	-	330	378	265	899	-	35	44	23	95
14 Knarvik-N(U)	-	32	53	29	114	-	1.70	2.55	1.72	5.96	-	231	345	210	786	-	13	25	12	50
Birkenes	63	93	80	97	237	3.43	5.19	4.08	5.08	12.37	-	-	608	899	-	-	-	-	-	-
Fitjar	46	49	62	28	124	3.36	2.77	3.68	2.40	8.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Skei i Jølster	-25	-6	-15	-22	-37	2.10	2.08	1.94	1.36	4.78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

a) Lindås 25.6.1973 - 25.4.1975. Kolås 26.4.1975 - 31.12.1976.

c) Klorid i prøver innsamlet før august 1974 er estimert fra magnesium.

d) Tidsrommet 1.4.1974 - 31.12.1976. Nedfallsverdiene for Hodneland 1.4.1974-20.8.1974 er interpolert fra Fonnes-verdiene.

b) Prøvetakingen ved Årås og Knarvik-N startet 1.4.1974 og ved Hodneland 20.8.1974.

I tidsrommet 1.4.1974 - 31.12. 1976 (11 kvartal) fikk området et nedfall av antropogent sulfat på 6 - 9 tonn SO_4/km^2 , og et kloridnedfall på 25-38 tonn Cl/km^2 . Fra nedfallsverdiene for dette tidsrommet (DEP_{74-76}) er det beregnet midlere, "årsekvivalenter" for nedfall ($\text{DEP}_{\text{år}} = \frac{4}{11} \text{DEP}_{74-76}$) (fig.8). Den midlere årlige nedbørhøyde øker fra 1550 mm på de vestligste stasjoner til ca. 2650 mm i Haveland-området, (fig.8). Denne sterke økning i nedbørmengde med avstand fra kysten fører til at det er de østligste stasjoner som får det største årlige ione-nedfall med nedbøren (tab. 15, fig. 8 b-d). Dette til tross for at ione-konsentrasjonen er høyest på de vestligste stasjonene.

Nedbørhøydene ved Fitjar og Skei i Jølster var for perioden 1974-76 omlag som i ytre strøk av Nordhordland (tab. 15). Nedfallet av antropogent sulfat ved Fitjar var større enn ved de fleste av Lindåsprosjektets nedbørkjemiske stasjoner, mens sulfatnedfallet ved Skei i Jølster var noe mindre enn i Nordhordland. Til tross for det relativt store sulfatnedfall ved Fitjar, var nedfallet av sterk syre ved flere av Lindåsprosjektets stasjoner vesentlig høyere enn ved Fitjar. En mulig årsak er at for nedbør fra Fitjar er innholdet av sterk syre bestemt ved titrering (Schjoldager, 1973), mens sterk syre i nedbørprøver fra Nordhordland er beregnet ut fra pH-verdien (tab. 5).

De negative verdier for nedfall av sterk syre ved Skei i Jølster innebærer at innholdet av sure komponenter (svovelsyre og salpetersyre) er mindre enn innholdet av basiske

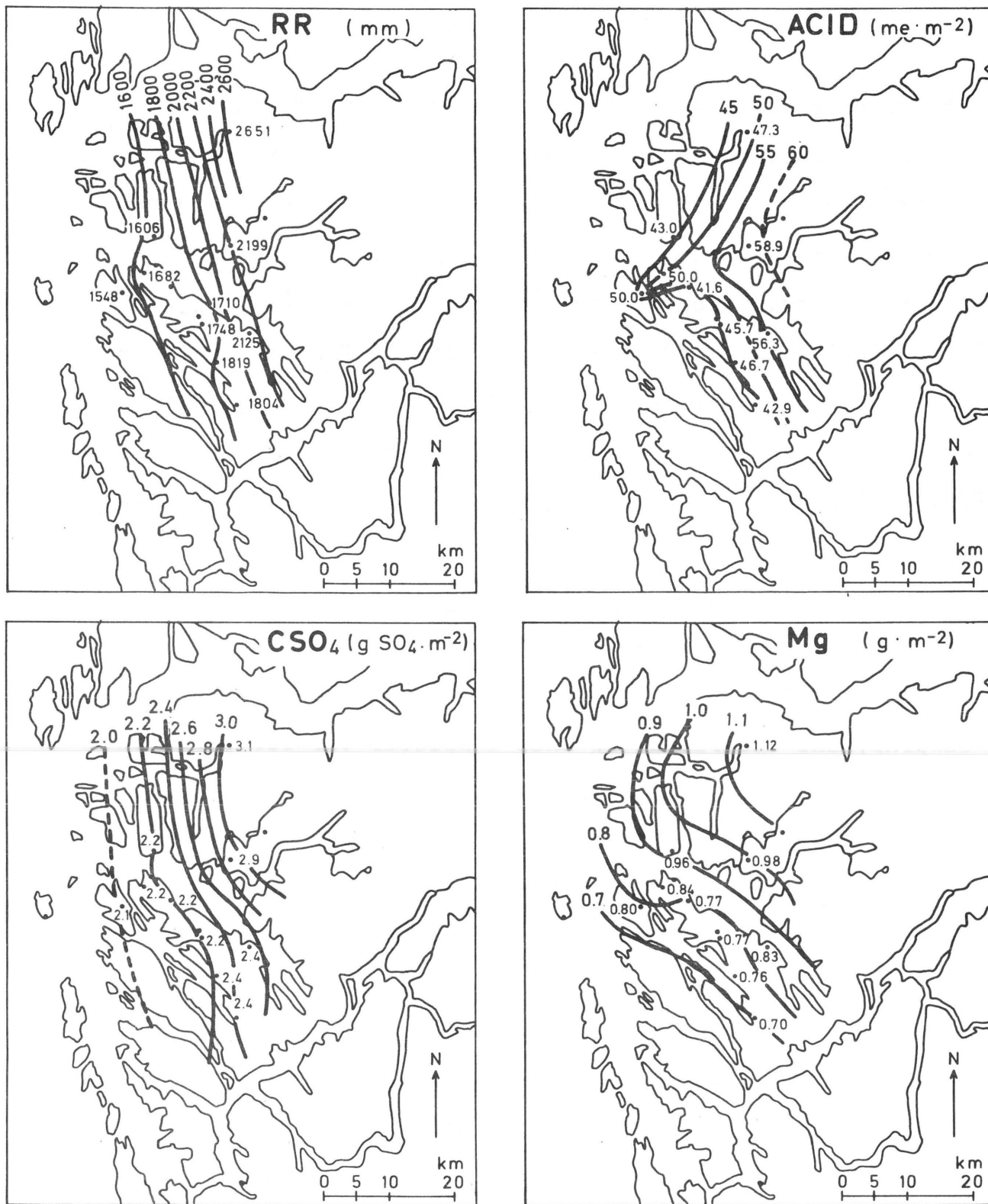


Fig. 8. Årlig* nedbørhøyde (RR) og årlig* nedfall av sterk syre (ACID), antropogent sulfat (CSO_4) og magnesium (Mg), i Nordhordland/Ytre Sogn i tiden 1.4.1974 - 31.12.1976.

(* Årsekvivalenter (ÅR) beregnet fra tab. 15 ved $\text{ÅR} = \frac{4}{11} \cdot \sum \text{Nedfall (1.4.1974 - 31.12.1976)}$).

komponenter (ammoniakk), og at stasjonen på årsbasis hadde et overskudd av den svake basen bikarbonat (dannet av karbondioksyd fra luften) (Schaug & Joranger, 1978).

Til tross for mindre nedbørmengder, var nedfallet av både sterk syre, antropogent sulfat og nitrat vesentlig større ved Birkenes på Sørlandet enn i Vest-Norge, (tab. 15).

Det er store tidsvariasjoner i nedfall av sterk syre og antropogent sulfat i Nordhordland/Ytre Sogn (se f.eks. Førland, 1976 (fig. 8)). Ved stasjonene med ukentlig prøvetaking er det enkelte uker registrert nedfall av antropogent sulfat på over $0.3 \text{ g SO}_4/\text{m}^2$, og nedfall av sterk syre som tilsvarer over $0.3 \text{ g svovelsyre}/\text{m}^2$ (dvs. $0.3 \text{ tonn svovelsyre}/\text{km}^2$). Periodene med stort nedfall av sterk syre og antropogent sulfat inntreffer stort sett samtidig på alle målestasjonene i området (Førland, op.cit.).

Til tross for de store tidsvariasjonene i nedfall gjennom året, er det forholdsvis små forskjeller fra år til år i frekvensfordelingen av døgnlig nedfall av sterk syre, antropogent sulfat, nitrat og magnesium (tab.16).

Tab. 16 viser at i halvparten av nedbørdøgnene var nedfallet av sterk syre mindre enn $0.1 \text{ mekv}/\text{m}^2$ (tilsvarer ca. $5 \text{ mg svovelsyre}/\text{m}^2$), nedfallet av antropogent sulfat mindre enn ca $7 \text{ mg SO}_4/\text{m}^2$, nedfallet av nitrat mindre enn $1 \text{ mg N}/\text{m}^2$, magnesiumnedfallet mindre enn $3 \text{ mg}/\text{m}^2$ og nedbørhøyden mindre enn 8 mm . Bare i ca. 5% av nedbørdøgnene var nedfallet av antropogent sulfat større enn $50 \text{ mg SO}_4/\text{m}^2$ eller nedfallet av sterk syre

Tab. 16. Frekvensfordeling (prosentil-verdier) av døgnlig nedbørshøyde (RR) og døgnlig nedfall av sterk syre (ACID), antropogent sulfat (CSO₄), nitrat (NO₃) og magnesium (Mg).

a) Fønnes (20.1.1973 - 31.12.1976)

	RR (mm)				ACID (mekv/m ²)				CSO ₄ (mg SO ₄ /m ²)				NO ₃ (mgN/m ²)				Mg (mg/m ²)							
	1973	1974	1975	1976	1973-1976	1973	1974	1975	1976	1973-1976	1973	1974	1975	1976	1973-1976	1973	1974	1975	1976	1973-1976	1973	1974	1975	1976
MIN	0.3	0.5	0.3	0.3	0.3	-1.4	-0.1	-0.3	-0.1	-1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
5%	1.0	0.5	0.5	0.5	0.6	-0.4	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	0.0	0.5	0.0	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.2
10%	1.9	1.0	1.0	0.5	1.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	1.2	0.5	0.7	0.8	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.3	0.2	0.3	0.3
20%	3.4	2.0	2.0	1.5	2.2	-0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	2.1	2.0	1.6	2.1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5
35%	5.2	4.5	4.0	3.0	4.2	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	5.7	4.0	3.6	2.9	4.1	0.6	0.5	0.3	0.5	1.2	1.1	1.0	0.7	1.0
50%	7.8	7.0	6.0	4.5	6.3	0.0	0.2	0.1	0.1	0.1	8.2	6.4	5.7	4.9	6.3	1.0	0.8	0.7	0.8	2.1	2.4	2.0	1.3	2.0
65%	10.6	9.0	9.0	7.0	8.9	0.1	0.3	0.2	0.1	0.2	15.7	9.5	11.4	9.9	11.6	2.0	1.4	1.6	1.7	3.3	4.5	3.5	3.1	3.6
80%	17.3	14.0	13.9	12.0	14.3	0.4	0.7	0.4	0.3	0.4	24.9	17.7	19.8	17.9	20.1	2.5	2.6	2.8	2.6	5.1	7.6	7.5	5.5	6.4
90%	24.6	22.0	22.0	15.5	21.0	0.6	1.0	0.6	0.5	0.7	40.7	28.6	34.1	30.1	33.4	3.1	4.3	4.4	3.9	9.7	12.0	11.6	9.7	10.8
95%	34.5	25.0	26.0	19.0	26.1	0.9	2.0	1.0	0.8	1.2	67.3	48.7	48.9	43.7	52.2	6.2	6.3	6.9	7.1	14.5	17.3	14.9	15.6	15.6
MAKS	86.5	40.0	86.0	35.0	86.5	2.4	5.3	2.7	2.0	5.3	139.0	167.8	126.4	100.1	167.8	13.5	12.0	23.1	23.1	70.4	46.0	70.0	56.1	70.4
Dato ^{a)}	16/12	27/8	17/9	17/4	-	5/11	16/2	21/2	11/5	-	3/7	16/2	21/2	11/5	-	17/9	21/2	17/4	-	7/2	12/11	5/10	1/3	-
Antall prøver	189	192	217	170	768	189	170	202	161	722	178	169	193	146	686	75	147	136	358					

b) Kolås/Lindås (25.6.1973 - 31.12.1976) (Usikre verdier for 1974 og 1975, da en del av prøvene ble eksponert i mer enn ett døgn.)

	RR (mm)				ACID (mekv/m ²)				CSO ₄ (mg SO ₄ /m ²)				NO ₃ (mgN/m ²)				Mg (mg/m ²)							
	1973	1974	1975	1976	1973-1976	1973	1974	1975	1976	1973-1976	1973	1974	1975	1976	1973-1976	1973	1974	1975	1976	1973-1976	1973	1974	1975	1976
MIN	1.0	0.5	0.1	0.2	-	-0.3	-1.0	-0.0	-0.4	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.1	0.0	-	0.0	0.1	0.0	0.0	-
5%	1.0	1.0	0.5	0.3	-	0.0	-0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.4	0.5	0.3	-	0.0	0.1	0.0	-	0.1	0.2	0.1	0.1	-
10%	2.0	2.0	0.5	0.5	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	2.4	1.4	0.7	-	0.1	0.2	0.1	-	0.2	0.3	0.3	0.1	-
20%	5.0	3.0	2.6	1.0	-	0.0	0.1	0.1	0.0	-	0.4	4.2	3.2	1.2	-	0.3	0.5	0.2	-	0.4	0.5	0.4	0.2	-
35%	7.0	7.0	4.5	2.0	-	0.1	0.2	0.2	0.0	-	2.1	7.1	5.8	3.3	-	0.8	0.9	0.3	-	0.9	1.4	0.6	0.5	-
50%	12.0	11.0	7.5	4.0	-	0.2	0.3	0.2	0.1	-	6.0	10.3	11.0	4.8	-	1.9	1.4	0.7	-	1.7	2.2	1.0	0.8	-
65%	16.5	15.0	11.5	6.0	-	0.3	0.5	0.4	0.2	-	12.1	15.1	21.7	8.7	-	2.3	2.0	0.9	-	3.0	4.2	2.1	1.8	-
80%	25.0	34.0	20.5	11.0	-	0.7	1.0	0.6	0.3	-	25.6	36.5	28.6	14.4	-	3.4	4.0	1.6	-	4.2	7.4	4.7	4.0	-
90%	37.1	47.5	38.0	15.0	-	1.6	1.5	1.0	0.4	-	66.4	65.6	55.5	20.5	-	8.5	5.2	3.1	-	8.1	20.6	11.5	7.4	-
95%	46.5	55.0	54.5	17.0	-	2.0	2.0	1.8	0.6	-	113.8	76.1	71.7	27.7	-	10.3	8.8	4.5	-	16.5	35.0	26.8	14.1	-
MAKS	84.5	90.0	135.0	46.0	-	3.3	4.3	2.8	2.1	-	212.6	361.2	122.1	117.9	-	12.9	34.5	12.9	-	56.7	61.3	144.4	80.4	-
Dato ^{a)}	22/11	-	-	17/4	-	5/11	-	-	11/5	-	3/7	-	-	11/5	-	-	-	8/5	-	11/12	-	-	1/3	-
Antall prøver	189	105	123	178	486	79	97	88	166	430	79	99	88	151	417	44	86	143		79	100	88	154	421

c) Hodneland (20.8.1974 - 31.12.1976)

	RR (mm)				ACID (mekv/m ²)				CSO ₄ (mg SO ₄ /m ²)				NO ₃ (mgN/m ²)				Mg (mg/m ²)							
	1973	1974	1975	1976	1973-1976	1973	1974	1975	1976	1973-1976	1973	1974	1975	1976	1973-1976	1973	1974	1975	1976	1973-1976	1973	1974	1975	1976
MIN	0.5	0.2	0.5	0.2	-	-0.0	-0.2	-0.0	-0.2	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5%	1.0	0.5	1.0	0.8	-	-0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.4	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
10%	1.5	1.0	1.5	1.3	-	-0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.1	0.4	1.2	0.6	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.2	0.2	0.3	0.3
20%	3.5	2.0	2.0	2.5	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	1.7	1.3	2.1	1.7	-	0.4	0.3	0.3	0.3	0.6	0.4	0.3	0.4	0.4
35%	7.2	4.0	4.0	5.1	-	0.0	0.1	0.1	0.1	-	3.8	3.3	4.2	3.8	-	0.7	0.6	0.5	0.6	2.2	0.8	0.6	1.2	1.2
50%	10.5	8.0	6.0	8.2	-	0.1	0.1	0.1	0.1	-	6.3	6.1	7.1	6.5	-	1.2	0.9	0.8	1.0	4.0	1.4	1.2	2.2	2.2
65%	15.0	11.5	9.0	11.8	-	0.2	0.2	0.2	0.2	-	9.3	12.7	12.6	11.5	-	2.0	1.8	1.3	1.7	6.2	3.1	2.5	3.9	3.9
80%	21.0	20.0	15.0	18.7	-	0.3	0.5	0.4	0.4	-	17.9	29.4	17.3	19.9	-	2.6	3.5	2.1	2.7	9.2	6.6	5.5	7.1	7.1
90%	28.5	29.0	20.0	25.8	-	0.5	0.8	0.6	0.6	-	21.5	37.9	29.7	29.7	-	3.9	5.5	3.3	4.2	11.7	12.0	11.3	11.7	11.7
95%	32.0	37.0	24.0	31.0	-	0.7	1.0	1.1	0.9	-	35.4	49.7	41.3	42.1	-	5.2	7.0	6.4	6.2	21.4	16.9	16.1	18.1	18.1
MAKS	74.5	93.0	40.0	93.0	-	4.5	3.2	2.1	4.5	-	274.7	78.7	118.6	74.7	-	28.7	37.8	16.1	37.8	26.9	43.3	64.2	64.2	64.2
Dato ^{a)}	17/9	17/9	17/4	-	-	17/9	1/10	11/5	-	-	17/9	21/6	11/5	-	-	17/9	16/9	8/5	-	10/12	7/10	1/3	-	-
Antall prøver	85	222	168	475		83	213	160	456		84	206	158	448		69	149	154	372	85	207	158	450	

d) Sandebygda (28.10.1973 - 31.12.1976)

	RR (mm)				ACID (mekv/m ²)				CSO ₄ (mg SO ₄ /m ²)				NO ₃ (mgN/m ²)				Mg (mg/m ²)							
	1973	1974	1975	1976	1973-1976	1973	1974	1975	1976	1973-1976	1973	1974	1975	1976	1973-1976	1973	1974	1975	1976	1973-1976	1973	1974	1975	1976
MIN	1.5	0.2	0.2	0.5	0.2	-0.0	-0.5	-0.5	-0.0	-0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
5%	2.0	0.5	0.5	0.5	0.9	0.0	-0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2
10%	2.5	1.5	1.0	1.0	1.5	0.0	-0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.2	0.7	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.9	0.4	0.2	0.2	0.4
20%	4.0	1.5	2.0	1.5	2.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	1.4	1.8	1.3	0.2	0.2	0.3	0.2	2.1	0.8	0.6	0.4	1.0
35%	5.5	4.5	4.5	3.0	4.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	4.2	3.6	2.9	0.4	0.6	0.5	0.5	3.0	1.7	1.6	0.7	1.8
50%	11.0	7.0	7.0	4.0	7.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	7.5	6.9	6.3	5.2	0.7	0.9	0.8	0.8	4.8	3.0	2.7	1.6	3.0
65%	16.0	10.5	10.0	7.0	10.9	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	1.3	11.7	14.4	10.4	9.5	1.3	1.8	1.2	1.4	6.7	5.0	5.2	3.3	5.1
80%	22.0	15.5	16.5	11.0	16.3	0.6	0.5	0.4	0.3	0.5	6.2	17.5	26.8	18.1	17.2	3.0	3.7	2.2	3.0	10.6	10.3	12.0	6.1	9.8
90%	29.5	22.0	22.5	16.0	22.5	1.2	0.9	0.8	0.6	0.9	11.6	31.3	46.0	25.9	28.7	4.5	6.0	3.3	4.6	17.6	16.3	22.5	12.6	17.3
95%	35.0	25.5	32.0	18.8	27.8	1.8	1.1	1.2	0.7	1.2	37.5	46.1	67.6	35.1	46.6	7.2	7.7	4.4	6.4	29.1	20.3	28.0	20.6	24.5
MAKS	42.0	43.0	78.5	35.0	78.5	2.0	2.4	2.1	1.6	2.4	78.2	105.5	85.8	79.1	105.5	16.0	17.8	13.9	17.8					

større enn 1 mekv/m². Men nettopp i disse relativt få døgnene med stort nedfall fikk området tilført en vesentlig del av totalnedfallet av de ulike ioner (fig. 9).

Også observasjoner fra Sørlandet viser at nedbørnedfall av forurensninger kan være meget stort i løpet av begrensede tidsrom, såkalte "episoder" (Dovland et.al., 1976). I treårsperioden juli 1972 - juni 1975 ble det registrert sulfatnedfall i nedbøren på Birkenes i 362 døgn. Totalnedfallet var på 12.5 g SO₄/m². Halvparten av dette nedfallet kom i løpet av mindre enn 50 døgn, og 25% ble registrert i løpet av bare 15 døgn. Nedbørmengden i løpet av de samme døgn utgjorde h.h.v. 35 og 15 % av totalen. Dvs. 25 % av sulfatnedfallet kom i løpet av 4.1. % av nedbørdøgnene, eller i løpet av 1.4% av totalt antall døgn i denne treårsperioden.

Ved Fønnes var det i årene 1973 - 1976 686 nedbørdøgn der nedfallet av antropogent sulfat ble bestemt (tab. 17). Av nedfallet av antropogent sulfat i denne perioden (9.5 g SO₄/m²), kom 38 % i løpet av de 50 døgn med størst sulfatnedfall (fig.9), 25 % av nedfallet kom i løpet av 25 døgn, dvs. i løpet av 3.6 % av nedbørdøgene, eller i løpet av 1.7 % av totalt antall døgn i fireårsperioden. I disse 25 døgn med stort sulfatnedfall kom bare ca. 8 % av den totale nedbørmengde (fig.9). I likhet med Sørlandet er således også sulfatnedfallet på Vestlandet sterkt episodepreget.

Akkumuleringskurven for nedfall av sterk syre i døgnene med stort sulfatnedfall, har meget nær samme forløp som akkumulerings-

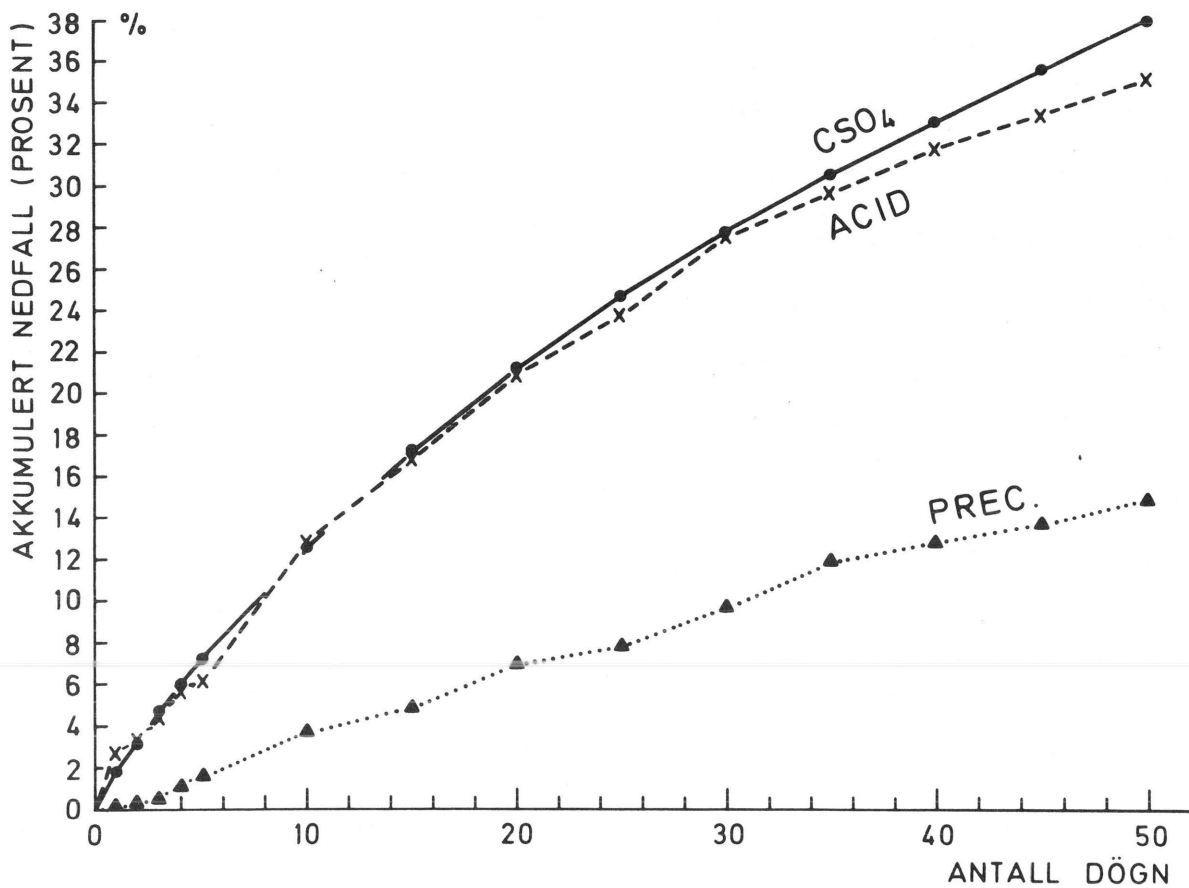


Fig. 9. Akkumulert nedfall av antropogent sulfat (CSO_4), sterk syre (ACID) og nedbørhøyde (PREC) - sortert etter fallende verdier av døgnlige sulfatnedfall - for døgnlige nedbørprøver innsamlet ved Fønnes i tiden 20.1.1973 - 31.12.1976. (Totalnedfall = 100% : $\text{CSO}_4 = 9.5 \text{ g SO}_4 \cdot \text{m}^{-2}$, $\text{ACID} = 200 \text{ me} \cdot \text{m}^{-2}$, $\text{PREC} = 6800 \text{ mm}$. Totalt antall nedbørdøgn der sulfat er analysert: 686 døgn).

Tab. 17. Episodisk nedfall av antropogent sulfat (CSO₄), sterk syre (ACID) og nedbør (RR) ved Fønnes (20.1.1973 - 31.12.1976).

Ar	RR (mm)	N _{CSO₄}	CSO ₄	ACID	CSO ₄ (MAX)	(dato)	CSO ₄ (MAX)/CSO ₄ (%)	N ₁₀	N ₂₅	N ₅₀	P _{ACID} (%)	P _{RR} (%)
			mgSO ₄ /m ²	mekv/m ²	mgSO ₄ /m ²							
1973	2100	178	3111	40.1	139.0	(3/7)	4.5	3	8	23	45.9	15.5
1974	1658	169	2160	81.7	167.8	(16/2)	7.8	2	5	18	47.5	23.6
1975	1918	193	2541	47.1	126.4	(21/2)	5.0	3	9	26	46.7	27.5
1976	1114	146	1697	30.7	100.1	(11/5)	5.9	2	7	19	47.2	22.8
1973-1976	6790	686	9509	199.6	167.8	(16/2-74)	1.8	8	25			

CSO₄, ACID : Ikke-normalisert nedfall av h.h.v. CSO₄ og ACID i døgn der CSO₄ er analysert.

N_{CSO₄} : Antall nedbørprøver der CSO₄ er analysert.

CSO₄ (MAX) : Maksimalt døgnlig nedfall av CSO₄.

N₁₀, N₂₅, N₅₀ : Antall døgn (ordnet etter fallende verdier av døgnlig CSO₄-nedfall) som gir minst 10, 25 og 50 prosent av total nedfall av CSO₄.

P_{ACID} : Nedfall av sterk syre - i løpet av de døgn som ga minst 50% av nedfall av CSO₄ - i prosent av total nedfall av sterk syre.

P_{RR} : Nedbørhøyde - i løpet av de døgn som ga minst 50% av nedfall av CSO₄ - i prosent av total nedbørhøyde.

Tab. 18. EPISODER 1975 - 1976: Nedbørhøyde og nedfall av antropogent sulfat (CSO₄), nitrat (NO₃) og sterk syre ved Fønnes (FO), Kolås/Lindås (KO/LI), Hodneland (HO) og Sandebygda (SA) for de 10 døgn med høyest døgnlig nedfall av CSO₄ på Fønnes.

Episode nr.	Prøvetakingsdato	CSO ₄ mgSO ₄ /m ²				NO ₃ mgN/m ²				STERK SYRE mekv/m ²				NEDBØRHØYDE (mm)			
		FO	KO/LI	HO	SA	FO	KO/LI	HO	SA	FO	KO/LI	HO	SA	FO	KO/LI	HO	Sa
1	21/2 -75	126.4	94.8	48.1	75.0	-	-	-	-	2.7	2.3	1.5	2.1	43.0	37.0	37.0	45.0
2	11/5-76	100.1	117.9	118.6	79.1	10.1	8.4	9.1	10.4	2.0	2.1	2.1	1.6	16.0	17.0	19.0	16.0
3	25/9-75	89.7	49.1	25.6	26.7	8.0	4.2	3.1	3.7	1.6	1.0	0.5	0.8	38.0	26.5	33.0	41.0
4	27/6-76	84.2	87.8	93.4	48.4	8.4	6.6	7.1	4.4	1.6	1.7	1.7	1.0	11.0	14.0	12.0	8.0
5	29/2-76	74.9	103.4	102.3	77.2	8.2	9.7	8.8	5.9	1.2	1.6	2.1	1.3	25.0	26.0	34.0	30.5
6	23/9-75	69.7	72.0	65.5	73.3	0.7	5.2	6.2	6.0	0.8	1.7	1.6	2.0	69.5	58.0	78.0	60.5
7	15/8-75	66.2	-	-	30.5	3.5	-	-	1.6	0.1	-	-	0.4	4.0	-	-	2.0
8	1/10-75	59.6	41.8	75.5	54.0	3.7	4.4	22.3	4.0	1.1	1.0	3.2	1.1	35.0	24.0	31.0	28.5
9	20/6-75	56.6	52.6	64.7	8.9	12.0	9.2	9.5	1.2	1.1	1.1	1.1	0	7.0	7.5	7.0	7.0
10	16/9-75	53.8	4.8	0.4	1.3	0.6	1.1	37.8	0.6	0.3	0.4	3.0	0.1	60.0	57.0	63.0	62.0
A = SUM EPISODER		781.2	624.2	594.1	474.4	55.2	48.8	103.9	37.8	12.5	12.9	16.8	10.4	308.5	267.0	314.0	300.5
B = SUM* 1975-76		4238	4061	4878	4387	492	424	601	482	77.8	70.0	105.8	80.7	3227	3288	4131	3049
A/B (%)		18.4	15.4	12.2	10.8	11.2	11.5	17.3	7.8	16.1	18.4	15.9	12.9	9.6	8.1	7.6	9.9

* Registrert nedfall (ikke normalisert)

kurven for sulfat (fig. 9), og understreker at døgnene med stort nedfall av antropogent sulfat også gir de største døgnlige nedfall av sterk syre. Akkumuleringskurven for nedbørhøyde i døgnene med stort sulfatnedfall, ligger derimot betydelig lavere enn akkumuleringskurvene for sulfat og sterk syre. Det er således ikke primært døgn med store nedbørhøyder som gir de største nedfall av sterk syre og sulfat.

Tab. 17 viser at døgnet med størst døgnlig sulfatnedfall ga 5 - 8 % av årlig nedfall av sulfat i årene 1973 - 1976. 10% av det årlige nedfall av sulfat kom i løpet av 2-3 døgn, 25% i løpet av 5-9 døgn. Halvparten av det årlige sulfatnedfall kom i løpet av 18-26 døgn (dvs. i løpet av 11-13 % av antall nedbørdøgn i året der sulfat-nedfallet var bestemt). I løpet av døgnene som ga 50 % av årlig sulfatnedfall, fikk Fønnes 46-48 % av det årlige nedfall av sterk syre, men bare 16-28 % av total årlig nedbørhøyde.

I døgn med stort nedfall av antropogent sulfat på én stasjon er det oftest stort nedfall av både antropogent sulfat, nitrat og sterk syre på de fleste stasjonene i området (tab. 18).

To av nedbørdøgnene i tab. 18 er markerte unntak:

15.8.1975 ble det ikke registrert målbare nedbørmengder på Kolås eller Hodneland, og ved Fønnes var nedfallet av sterk syre lite i forhold til nedfallet av sulfat.

16.9.1975 var det lite nedfall av nitrat og sterk syre på Fønnes, og lite nedfall både av sulfat, nitrat og sterk syre på de øvrige stasjonene. (For døgn med store nedbørmengder kan små analysefeil gi store feil i nedfallsverdiene).

I de ti døgnene med størst nedfall av antropogent sulfat ved Fønnes i 1975-1976, fikk døgnstasjonene 11-18 % av totalt sulfatnedfall, 8-17 % av nitratnedfallet, 13-18 % av nedfallet av sterk syre og 8-10 % av total nedbørhøyde (tab.18). (Andelen av nitratnedfall på Sande var således mindre enn andelen av nedbørhøyde, dvs. nedbørdøgene med stort sulfatnedfall på Fønnes bidrar relativt lite til nitratnedfallet på Sande).

Luftmassetransporten i de ti døgn som ga størst sulfatnedfall på Fønnes er beskrevet i kap. 4.4.4.

4.4. Ionekonsentrasjon og nedfall som funksjon av vind- og trajektorieretning

4.4.1. Beregning av døgnlig vind- og trajektorieretning for nedbørepisoder. (Disse beregningene er gjort i samarbeid med forsker A. Skartveit, Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen)

a) Vindretning.

Ved Mongstad foretok NILU en del meteorologiske målinger for RAFINOR A/S & Co. Bl.a. ble vind (retning og hastighet) i 10 m nivået og nedbørhøyde registrert. Fra de timevise verdier av vindretning og nedbørhøyde er det beregnet et nedbørveid middel av den døgnlige (kl. 08-08) vindretning. NILU's målestasjon på Mongstad var forholdsvis fritt eksponert, og den beregnede vindretning gir trolig et godt estimat av den storstilte bakkevindretning i området.

b) Trajektorieretning. (TR).

Meteorologisk Institutt/NILU har beregnet banene

(trajektoriene) til luftpakker som ankommer til Fitjar på Stord og Skei i Jølster. Slike trajektorier blir beregnet for 850 mb-flaten (ca. 1500 m.o.h.) og med ankomsttider til Fitjar og Skei kl 00, 06, 12 og 18 GMT. Nordhordland ligger omtrent midtveis mellom Fitjar og Skei, og koordinatene for trajektoriene til Nordhordland er beregnet som aritmetisk middel av koordinatene for trajektoriene til Fitjar og Skei. Av de fire døgnlige trajektorier for Nordhordland er det beregnet en midlere nedbørveid (basert på nedbørdata for Mongstad) døgnlige (kl. 08-08) trajektorie. I det følgende betegner "trajektorieretning" (TR) retningen langs en storsirkel til skjæringspunkt mellom denne døgnlige trajektorien og en sirkel med Nordhordland som sentrum og med radius 750 km. Trajektorien er fulgt i 48 timer, og trajektorieretningen er kun bestemt i de tilfellene der 2-døgnstrajektorien har skjæring med 750 km sirkelen.

4.4.2. Ionekonsentrasjon som funksjon av bakkevindretning

De nedbørkjemiske data fra stasjoner med døgnlige prøvetaking er gruppert etter midlere (nedbørveid) døgnlige vindretning i 10 m nivået ved Mongstad. Materialet er inndelt i to sett: 1). nedbørprøver innsamlet før, og 2). nedbørprøver innsamlet etter driftsstart ved oljeraffineriet på Mongstad. (Prøver innsamlet mens raffineriet var ute av drift i tiden 1.12.75-1.2.76, er behandlet sammen med prøver innsamlet før driftsstarten 1.4.1974).

Midlere ionekonsentrasjon (tab. 19) av antropogent sulfat,

nitrat og sterk syre var høyest ved vind fra sektor 109-216° (ESE-SSW) ved samtlige stasjoner, - både før og etter driftsstart ved raffineriet. Konsentrasjonen av magnesium var derimot høyest ved vind fra sektor 217°- 360°, (SSW-N). Størst midlere nedbørhøyde forekom når bakkevinden blåste fra sektor 181-216° (S-SSW).

Midlere ionekonsentrasjon for nedbørprøver innsamlet i perioder med svoveldioksyd-utslipp på Mongstad er vist i fig. 10, der også retningen fra Mongstad til de fire prøvetakingsstedene er markert. Fig. 10 viser at forløpet av ionekonsentrasjon som funksjon av vindretning i store trekk er det samme ved alle de fire stasjonene. Den største spredning i ionekonsentrasjon forekommer for vindretningssektorer med få observasjoner, og skyldes trolig tilfeldige feil (kontaminering, analysefeil o.l.), og at middelveidene for de ulike stasjoner til dels ikke er basert på de samme nedbør-episoder.

Sandebygda ligger i en sektor der det ofte faller nedbør når bakkevinden blåser fra Mongstad (cfr. tab. 1 og tab.21). Fig. 11 viser at både 20,50 og 80 persentilene for konsentrasjonen av både antropogent sulfat og sterk syre var noe høyere i perioden etter at oljeraffineriet på Mongstad var kommet i drift, enn før driftsstart. Fig. 11 kan tyde på at bakgrunnskonsentrasjonen er blitt høyere, ettersom konsentrasjonen har øket for nesten samtlige vindretningssektorer. Et interessant trekk er at økningen ikke er spesielt stor når vinden blåser fra Mongstad. Forløpet av persentilverdiene for nedbørhøyde som funksjon av bakkevindretning

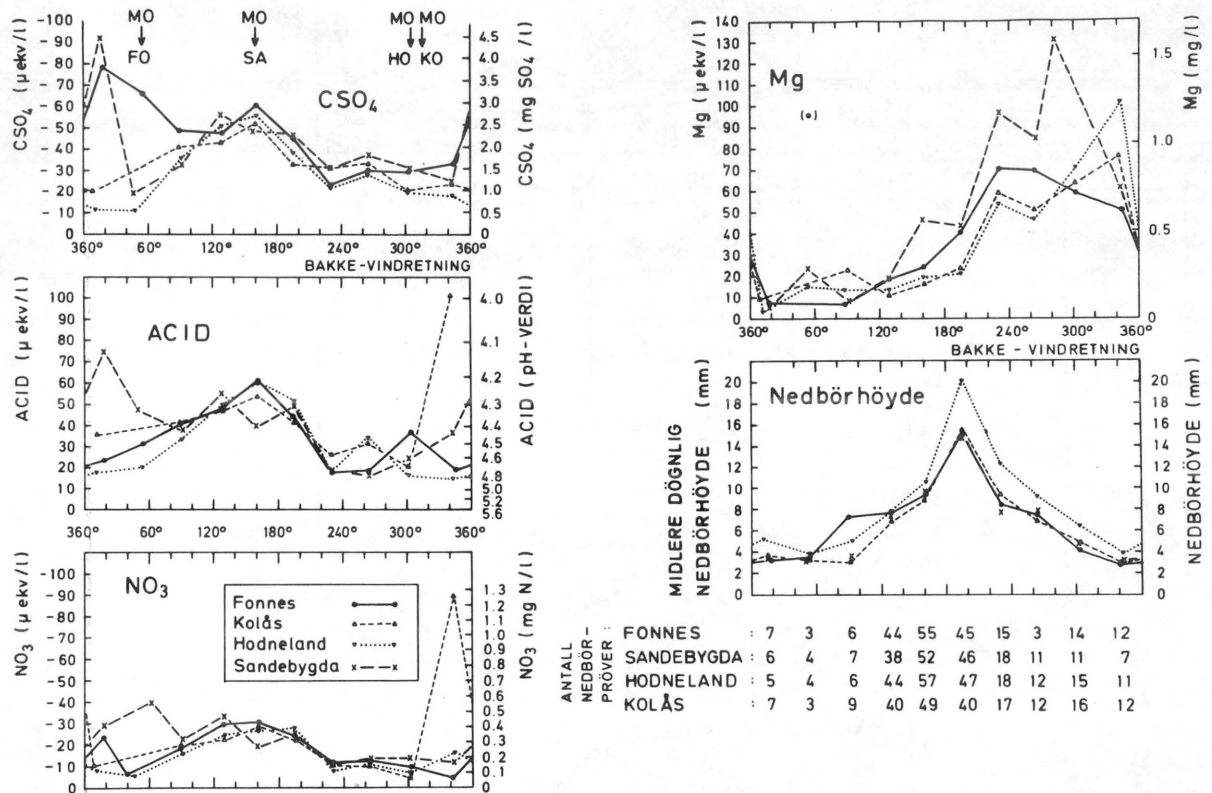


Fig. 10. Aritmetiske middelværdier av nedbørshøyde og konsentrasjon av antropogent sulfat (CSO_4), sterk syre (ACID), nitrat (NO_3) og magnesium (Mg) som funksjon av midlere (nedbørveid) døgnlig vindretning, målt 10 m over bakken ved Mongstad. Figuren er basert på døgnlige nedbørprøver innsamlet ved Fannes, Kollås, Hodneland og Sandebygda etter at oljeraffineriet på Mongstad var satt i drift (tiden 1.4.1975 - 31.12.1976, ekskl. des. 75 og jan. 76). Pilene øverst til venstre markerer retningen fra raffineriet (MO) til h.h.v. Fannes (FO), Kollås (KO), Hodneland (HO) og Sandebygda (SA).

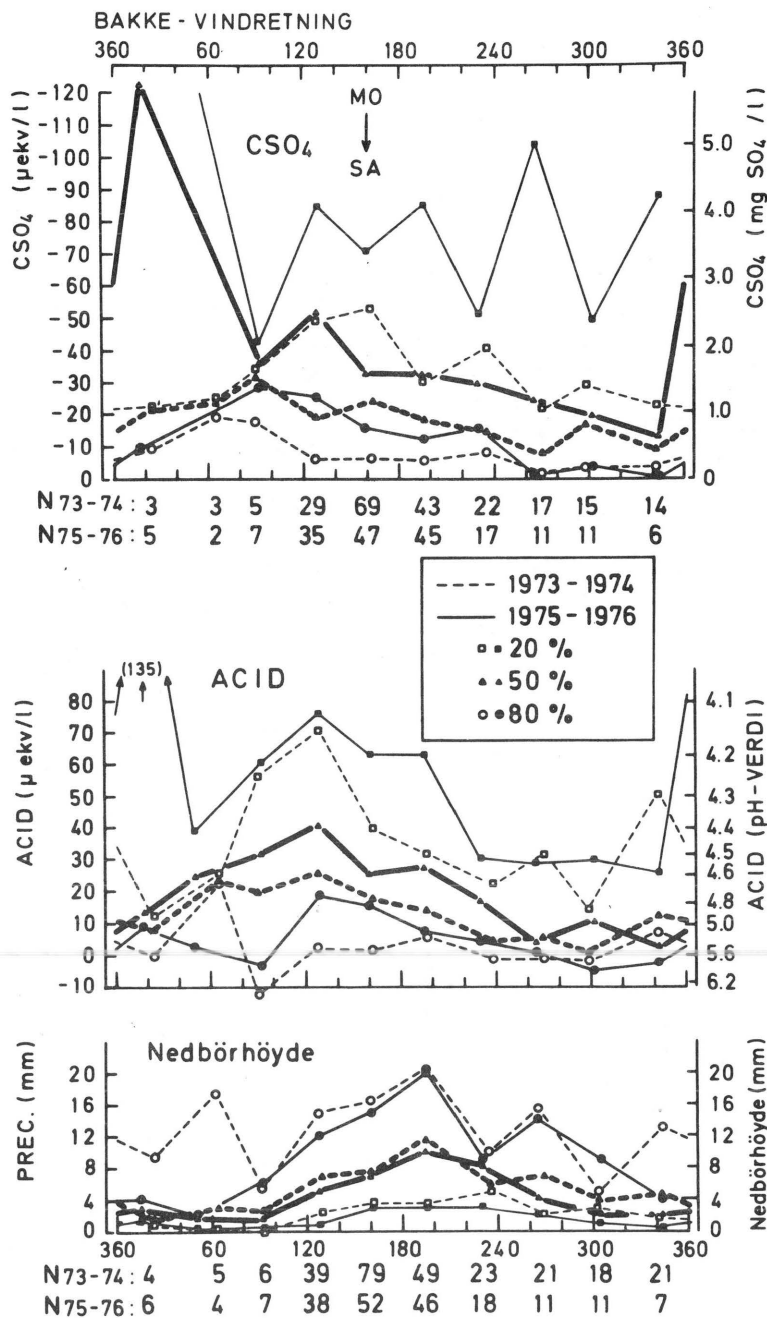


Fig. 11. Prosentilverdier (20,50 og 80%) av konsentrasjonen av antropogent sulfat (CSO₄) og sterk syre (ACID) og nedbørhøyde (PREC) ved Sandebygda, som funksjon av vindretning 10 m over bakken ved Mongstad. Prosentilverdier er gitt både for tiden før (28.10.73 - 1.4.75, samt des. 75 og jan. 76 ("73-74") og tiden etter (1.4.75 - 31.12.76 ekskl. des. 75 og jan. 76 ("75-76")) at oljeraffineriet ble satt i drift. For CSO₄ og PREC er antall nedbørprøver (N) angitt. Retningen fra Mongstad (MO) til Sandebygda (SA) er angitt med pil øverst i figuren.

er omlag det samme i de to periodene, - dog med en svak tendens til større nedbørhøyder i tiden før driftsstart. Ettersom det er en tendens til økende ionekonsentrasjon ved små nedbørhøyder, kan den tilsynelatende økning i ionekonsentrasjon fra tiden før til tiden etter driftsstart sannsynligvis skyldes denne forskjellen i nedbørhøydefordeling.

75-80 prosent av nedbøren i området falt ved bakkevind fra sektor $109-216^{\circ}$ (ESE-SW) (tab. 2 og tab. 21). Ved bakkevind fra denne sektor fikk området 80-90 prosent av det totale nedfall av antropogent sulfat, nitrat og sterk syre, og ca. 60 prosent av nedfallet av magnesium (tab. 21 og fig. 12). "Nedbør-vindrosen" (fig. 12e) er nesten identisk for Fonnes og Sandebygda. For de ulike ioneslag er det også små forskjeller i "nedfalls-vindrosene" for Fonnes og Sandebygda (fig. 12 a-d), - dog med en tendens til at Fonnes får en større del av totalnedfallet av antropogent sulfat, nitrat og sterk syre enn Sandebygda ved vind fra SSE, mens Sandebygda for disse ioner får en større belastning enn Fonnes ved vind fra SSW. Av magnesium får Fonnes og Sandebygda 35 - 40 % av nedfallet ved vind fra SSW, men bidraget ved vind fra sektor WSW-NNW er av vesentlig større betydning enn for antropogent sulfat, nitrat og sterk syre. Det relativt høye magnesiumnedfall ved Sandebygda ved vind fra SSE kan skyldes sjøsprøyt fra brenningene når vinden blåser langs Fensfjorden.

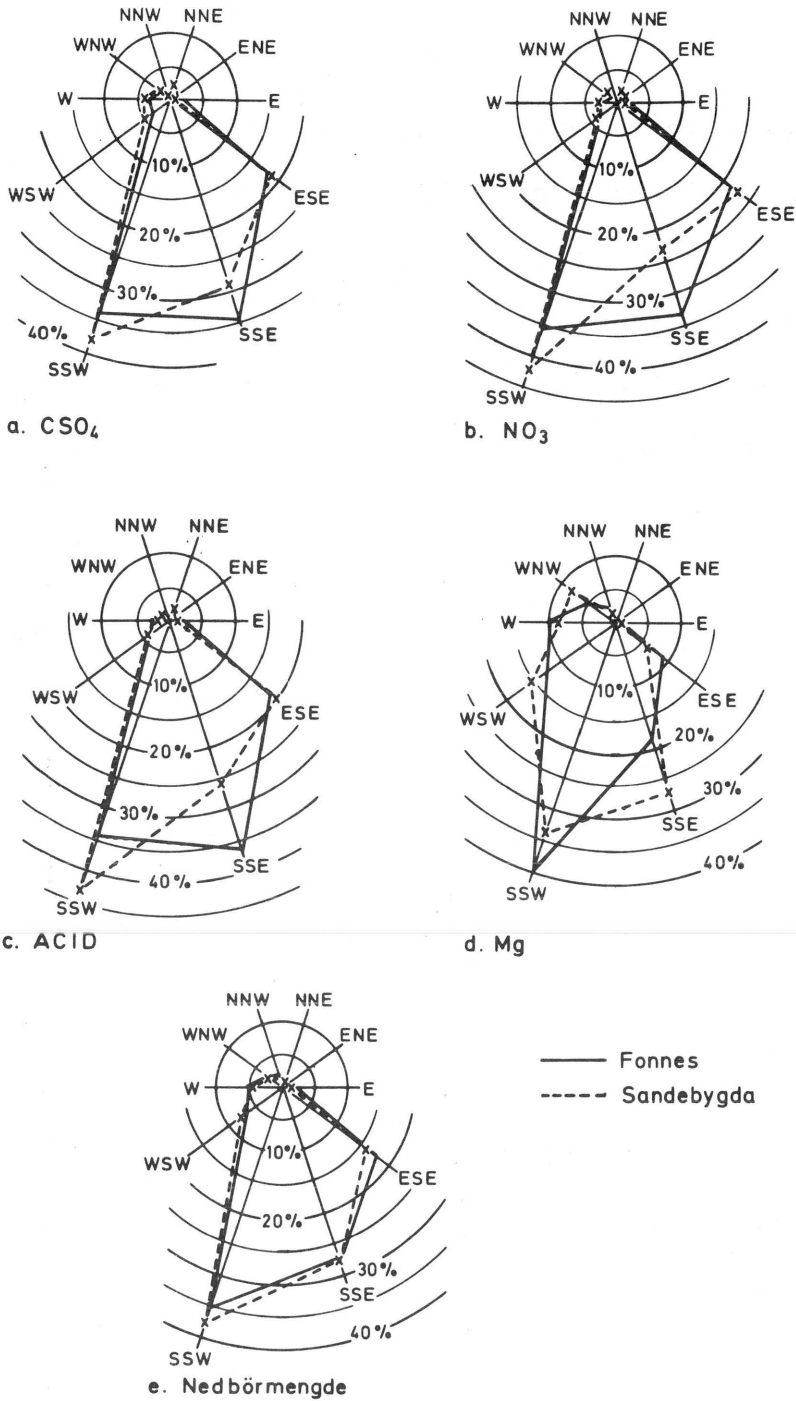


Fig. 12. Nedfall av antropogent sulfat (CSO_4), nitrat (NO_3), sterk syre (ACID), magnesium (Mg) og nedbørmengde (i prosent av totalnedfall) ved Fannes og Sandebygda i tiden med drift ved oljeraffineriet på Mongstad (1.4.75 - 31.12.76, ekskl. des. 75 og jan. 76), som funksjon av midlere nedbørveid bakkevindretning (10 m) ved Mongstad. Retning fra Mongstad til Fannes: 055° (ENE) og fra Mongstad til Sandebygda: 160° (SSE).

4.4.3. Ionekonsentrasjon som funksjon av trajektorieretning

De nedbørkjemiske data fra stasjoner med døgnlign prøvetaking er gruppert etter midlere (nedbørveid) døgnlign trajektorieretning i 850 mb nivået. Ettersom utslippene ved oljeraffineriet synes å ha liten betydning for nedbørkvalitet som funksjon av bakkevindretning, er hele prøvetakingsperioden 1973-1976 behandlet under ett for to av stasjonene med størst datatilfang (Fonnes og Sandebygda).

For trajektoriesektorene med mer enn to tilfeller er ionekonsentrasjonen av antropogent sulfat, nitrat og sterk syre (pH) høyest ved luftmassetransport fra sektor 109-252° (ESE-WSW) (tab. 22 og fig. 13), dvs. for luftmasser som har passert over Kontinentet eller Storbritannia. Ved trajektorier fra sektor 145 - 252° (SE-WSW) var midlere konsentrasjon av antropogent sulfat 2-3 mg SO₄/l, midlere nitratkonsentrasjon 0,3-0,5 mg N/l, og midlere pH-verdi 4.0-4.3. Størst konsentrasjon av sterk syre og antropogent sulfat forekommer ved luftmassetransport fra sektor 145-180°. Konsentrasjonen av både antropogent sulfat, nitrat og sterk syre er betydelig lavere (h.h.v. 1 mg SO₄/l, 0,1 mg N/l og pH ~ 4.8) når luftmassene kommer inn fra Atlanterhavet eller Norskehavet (sektor 253 - 360°). Konsentrasjonen av magnesium er høyest ved luftmassetransport fra sektor 217-036°. Midlere nedbørhøyde er størst for luftmasser som kommer inn fra vest. (sektor 217-288°).

Fig. 13 viser at konsentrasjonen av sterk syre (pH) som funksjon av trajektorieretning er omlag den samme i Nordhordland

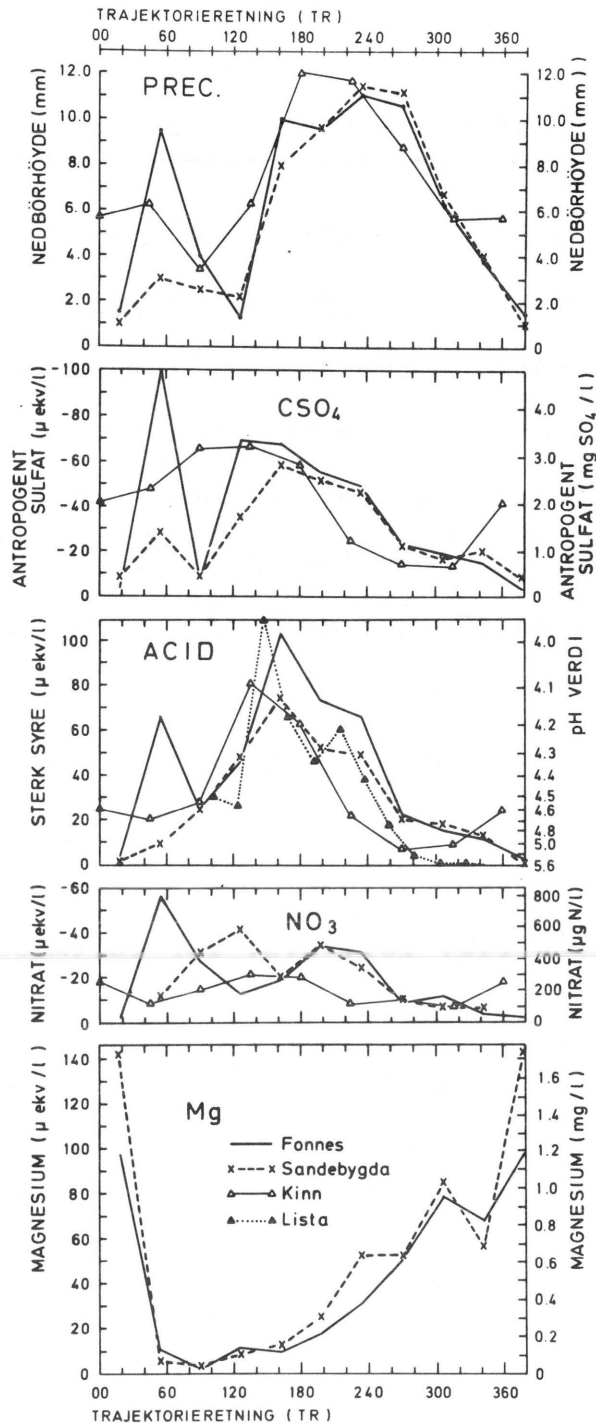


Fig. 13. Aritmetiske middelværdier av nedbørshøyde (PREC) og konsentrasjon av antropogent sulfat (CSO_4), sterk syre (ACID), nitrat (NO_3) og magnesium (Mg) i døgnlige nedbørprøver innsamlet ved Fannes og Sandebygda i tiden 1973-1976, som funksjon av midlere nedbørveid trajectorieretning i 850 mb-nivået. For CSO_4 , ACID, NO_3 og PREC er det tatt med data fra Kinn (26.6.1971 - 1.7.1972 (Fjeld, 1975)) og for ACID også fra Lista (10.12.1969 - 1.1.1972 (Førland, 1973)).

Tab. 22. Antall nedbørprøver, midlere nedbørhøyde og midlere ^{a)} konsentrasjon av antropogent sulfat (CSO₄), nitrat (NO₃), sterk syre (pH-verdi) og magnesium (Mg) som funksjon av trajektorieretning (TR) i 850 mb (1500m)-nivået. Lokalteter: Fønnes (FO) og Sandebygda (SA). Tidsrom: 4.11.1973 - 31.12.1976.

TR-sektor	Antall nedbør-prøver		Nedbør-høyde (mm)		CSO ₄ (mgSO ₄ /l)		NO ₃ (mgN/l)		pH-verdi		Mg ^{b)} (mg/l)	
	FO	SA	FO	SA	FO	SA	FO	SA	FO	SA	FO	SA
001-036 NNE	2	1	1.5	1.0	0.19	0.42	0.03	-	5.32	5.49	0.19	1.73
037-072 ENE	1	1	9.5	3.0	4.81	1.36	0.79	0.17	4.18	5.00	0.13	0.07
073-108 E	1	1	4.0	2.5	0.39	0.42	0.38	0.44	4.60	4.60	0.03	0.04
109-144 ESE	5	5	1.3	2.2	3.33	1.69	0.18	0.58	4.33	4.31	0.14	0.11
145-180 SSE	16	16	10.0	8.0	3.26	2.80	0.26	0.29	3.99	4.12	0.12	0.16
181-216 SSW	62	57	9.6	9.7	2.68	2.49	0.48	0.48	4.13	4.28	0.21	0.31
217-252 WSW	146	144	11.1	11.5	2.38	2.22	0.44	0.34	4.18	4.31	0.38	0.64
253-288 W	191	178	10.6	11.2	1.14	1.13	0.13	0.14	4.64	4.67	0.61	0.64
289-324 WNW	81	75	6.3	6.8	0.94	0.82	0.16	0.09	4.80	4.73	0.96	1.04
325-360 NNW	31	21	3.8	4.0	0.75	0.97	0.05	0.10	4.90	4.86	0.83	0.69

a) Aritmetisk middelverdi

b) Mg er justert med en faktor på 0.76 i 1973 og 1974, og med 0.87 i 1975 og 1976.

Tab. 23. Fordeling av nedbørhøyde og nedfall ^{a)} av antropogent sulfat (CSO₄), nitrat (NO₃), sterk syre (ACID) og magnesium (Mg) fordelt på ulike trajektorieretnings (TR)-sektorer. Verdiene (i prosent) av totalnedfall innenfor hver sektor. Lokalteter: Fønnes (FO) og Sandebygda (SA). Tidsrom: 4.11.1973 - 31.12.1976.

TR-sektor	Nedbør-høyde		CSO ₄ -SO ₄		NO ₃ -N		ACID		Mg	
	FO	SA	FO	SA	FO	SA	FO	SA	FO	SA
001-036 NNE	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.1	0.1
037-072 ENE	0.2	0.1	0.5	0.1	0.5	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0
073-108 E	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
109-144 ESE	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.5	0.1	0.3	0.0	0.0
145-180 SSE	3.2	2.6	5.9	4.4	3.0	3.1	7.4	5.6	0.7	0.7
181-216 SSW	11.8	11.1	17.9	16.8	20.5	22.0	19.6	16.7	4.9	5.4
217-252 WSW	32.1	33.5	43.2	44.9	51.4	46.7	48.0	47.2	23.7	34.2
253-288 W	39.9	40.4	25.9	27.5	18.1	23.1	20.4	24.2	47.8	40.9
289-324 WNW	10.2	10.3	5.4	5.1	5.9	3.8	3.6	5.4	19.0	16.9
325-360 NNW	2.3	1.7	1.0	1.0	1.0	0.7	0.6	0.6	3.7	1.8
Totalnedfall (g/m ²)			8.9	8.2	1.4	1.2	-	-	2.6	3.1
Totalnedfall (5045mm)(4943mm)										
Totalnedfall (mekv/m ²)			-185,5	-170,0	-99,3	-86,5	224,0	172,7	212,2	255,1

a) Nedfall beregnet som produkt av nedbørhøyde og aritmetisk middel av ionekonsentrasjon (tab. 22).

1973-1976, som for nedbørprøver innsamlet ved Lista (310 km SE for Fønnes) i tiden 10.12.1969 - 1.1.1971 (Førland, 1973, fig.5).

Ionekonsentrasjon i nedbørprøver innsamlet ved Kinn, ca. 85 km NNW for Fønnes i tiden 25.6.1971 - 1.7.1972 er gruppert etter retningen til gradientvinden over Vest-Norge (Fjeld, 1975).

Midlere nedbørhøyde, og medianverdier for konsentrasjon av antropogent sulfat, sterk syre (pH) og nitrat for gradientvind fra ulike sektorer (Fjeld, op.cit. tab2) er plottet inn på fig. 13. Fordelingen av nedbørhøyde og ionekonsentrasjon som funksjon av transportretning er omlag den samme ved Kinn som i Nordhordland og på Lista. Tendensen til at konsentrasjonsmaksimum for nedbørprøver fra Lista og Kinn er forskjøvet litt mot øst i forhold til fordelingen av ionekonsentrasjon for Nordhordland, skyldes trolig at trajektoriene for Nordhordland er beregnet i 850 mb-nivået (ca. 1500 m), mens transportretningen ved Lista og Kinn er basert på isobarer i havsnivå (representerer vindfeltet 600 - 1000 m.o.h.).

Det er verdt å merke seg at fordelingen av ionekonsentrasjon som funksjon av transportretning i hovedtrekk er den samme ved målesteder med såvidt stor geografisk spredning som Lista, Nordhordland og Kinn. Dette understreker at nedbørkvaliteten i VestNorge i hovedtrekk bare i ubetydelig grad er påvirket av lokale (nasjonale) kilder, og at de store nedfall av antropogene forurensningskomponenter skyldes luftutslipp på Kontinentet og i Storbritannia.

I ytre strøk av Nordhordland falt 70-75% av nedbøren ved

850 mb trajektorier fra sektor 217-288° (SSW-WNW) (fig.14). Bare 5-6 % av nedbøren falt ved luftmassetransport fra sektor 325-180° (NW-S). En sammenligning med fig.12 viser at "nedbør-trajektorierosen" i 850 mb nivået er dreid ca. 70° mot vest i forhold til "nedbør-vindrosen" i bakkenivået.

Også "nedfalls-trajektorierosen" for antropogent sulfat, nitrat, sterk syre og magnesium (fig. 14) er dreid med urviseren i forhold til "nedfalls-vindrosen" i bakkenivået (fig. 12). "Nedfalls-trajektorierosen" viser de samme hovedtrekk for både Fønnes og Sandebygda. Fig. 14 viser at mens ca. 33% av total nedbørmengde faller ved 850 mb-trajektorier fra sektor 217-252° (Nord-England, Skotland, fig.15) forekommer 45-50 % av nedfallet av antropogent sulfat, nitrat og sterk syre og 25-30 % av magnesiumnedfallet ved trajektorier fra denne sektor. Det største magnesiumnedfall (ca. 45% av totalnedfallet) skjer ved trajektorieretninger fra sektor 253-288°.

En vesentlig del av de antropogene luftforurensninger finnes i luftsjiktet under 850 mb-nivået. Disse forurensningene vil transporteres i en bane som er forskjøvet mot urviseren i forhold til banen i 850 mb-nivået. Over hav (Nordsjøen) fører friksjonseffekten til en dreining mot utviseren på 20-25° fra 1000 m-nivået til havoverflaten. Over land kan dreiningen være opptil 45° (Petterssen, 1958 s.156). Det sannsynlige kildeområdet for de nedbørforurensninger som faller i Nordhordland ved luftmassetransport (850 mb) fra sektor 217-252° er derfor England.

Fig. 12 viser at en del av sulfatnedfallet ved Fønnes og

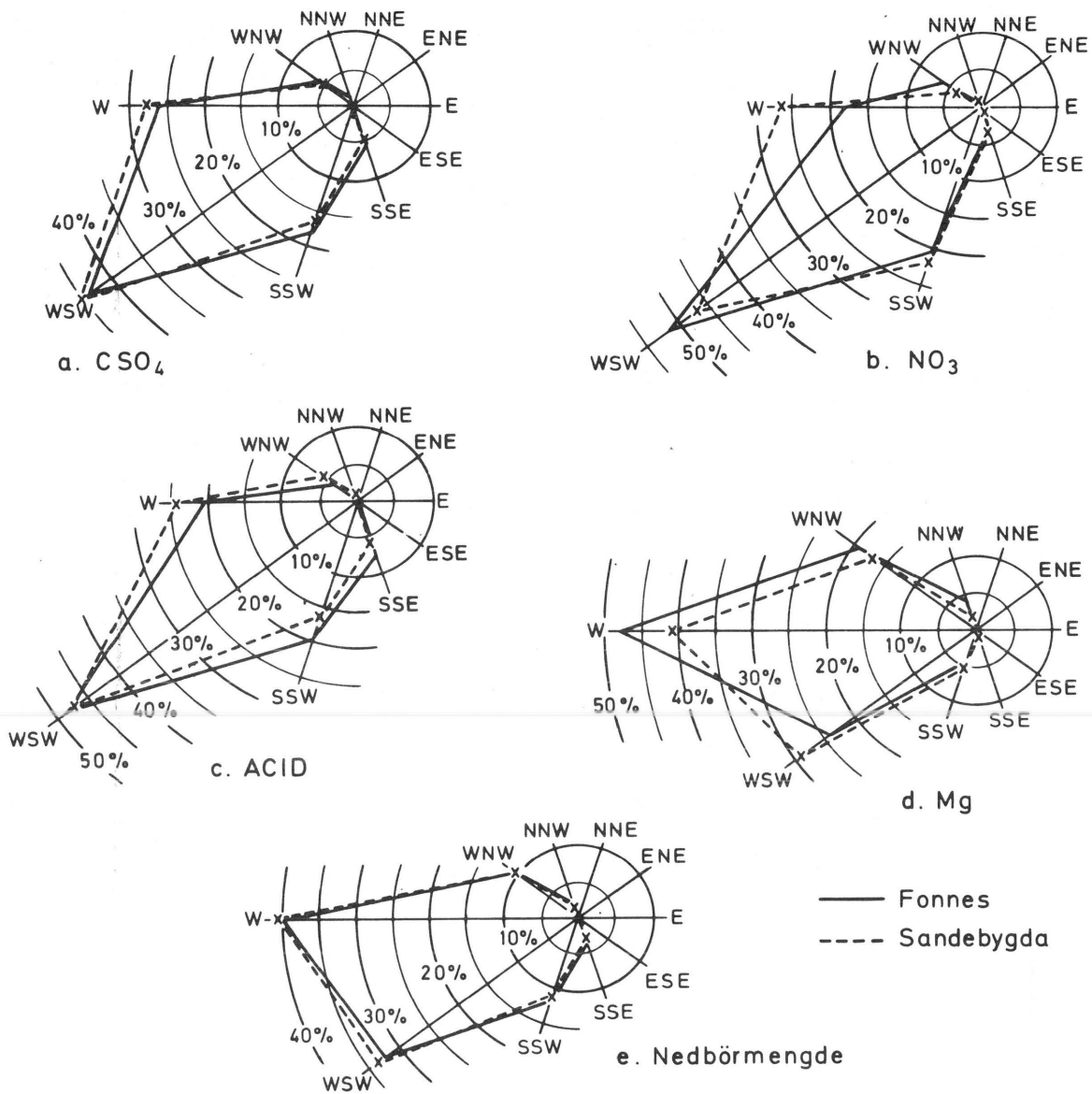


Fig. 14. Nedfall av antropogent sulfat (CSO_4), nitrat (NO_3), sterk syre (ACID), magnesium (Mg) og nedbørmengde (i prosent av totalnedfall) ved Fannes og Sandebygda i årene 1973-1976; som funksjon av midlere (nedbørveid) døgnlige trajektorieretning. Retning fra Mongstad til Fannes: 055° (ENE) og fra Mongstad til Sandebygda: 160° (SSE).

Sandebygda skjer ved bakkevind fra SSE, dvs. når luftmassene i bakkenivået har passert over Bergen. En del av nedfallet ved luftmassetransport fra SSE i 850 mb-nivået, kan pga. friksjonsdreiningen henge sammen med transport i lave nivåer av forurensninger fra lokale kilder i Bergensområdet. Men et slikt bidrag fra lokale kilder er trolig av liten betydning i Nordhordland: Fig. 13 viser at fordelingen av antropogent sulfat, nitrat og sterk syre som funksjon av transportretning er omlag den samme, både i Nordhordland og ved Lista, og fig. 3 viser at de nedbørveide månedsmidler av konsentrasjon av antropogent sulfat ved Fitjar (syd for Bergen) er betydelig høyere enn ved Fønnes (nord for Bergen).

Retningen fra Mongstad til Fønnes er 55° og til Sandebygda 160° (fig. 1). Av tab. 23 fremgår det at bare 0,2 % av nedbøren ved Fønnes faller ved trajektorieretning (TR) fra sektor $037-072^{\circ}$, og ved Sande faller bare ca. 2.5 % av nedbøren ved TR fra sektor $145-180^{\circ}$. Også nedfallet av antropogent sulfat er ubetydelig ved luftmassetransport fra denne sektoren. Dette forteller imidlertid lite om eventuelt bidrag fra svovelutslippene ved Mongstad, idet trajektorieretningen i 850 mb-nivået er lite representativ for retningen til røykfanen fra oljeraffineriet.

4.4.4. Trajektorieretning i noen episoder med høy sulfat-konsentrasjon og stort sulfatnedfall

I tab. 13 og tab. 18 er det gitt nedbørkjemiske data for endel episoder med høy konsentrasjon og stort nedfall av antropogent

sulfat. Medianverdiene (tab. 24a) for episodene med høy konsentrasjon av antropogent sulfat, viser at aritmetisk og nedbørveid vindretning (10 m nivået) var hhv. 186° og 164° , mens nedbørveid gradientvindretning (850mb) over Nordhordland (DDORR) var 237° . Nedbørveid trajektorieretning (850 mb) (langs storsirkel) til skjæring med sirkler med radius på hhv. 750 og 1500 km var ca. 230° .

Medianverdiene av vind- og trajektorieretninger for episoder med stort sulfatnedfall (tab. 24b) er omlag de samme som i episodene med høy sulfatkonsentrasjon. Medianverdien av midlere hastighet langs trajektorien (AVESP) er litt høyere for "nedfallsepisodene", mens medianverdien av vindhastighet i 850 mb nivået ved ankomst Nordhordland (ARRSP) er betydelig høyere for "nedfallsepisodene" enn for "konsentrasjons-episodene". Dette kan tyde på at store sulfatnedfall særlig forekommer når vindfeltet skjerpes over Vest-Norge. Slik vindøkning kan føre til øket nedbørutløsning (konvergensnedbør, orografisk nedbør) og dermed til øket utfelling (både ved "wash-out" og "rain-out") av forurensninger.

Avstanden fra Nordhordland til industriområdene i Midt-England er ca. 1000 km (fig. 15). Med en hastighet på 10 m/s (tab. 24a) vil en luftpakke tilbakelegge denne strekning på ca. 27 timer.

I storparten av episodene er trajektorieretningen fra sektor $181-252^{\circ}$ (fig. 15). Mens trajektoriene i hhv 12 og 27 % av samtlige nedbørdøgn ved Fønnes i årene 1973-76 kom fra sektor $181-216^{\circ}$ og $217-252^{\circ}$, kom hhv 30 og 50 % av trajek-

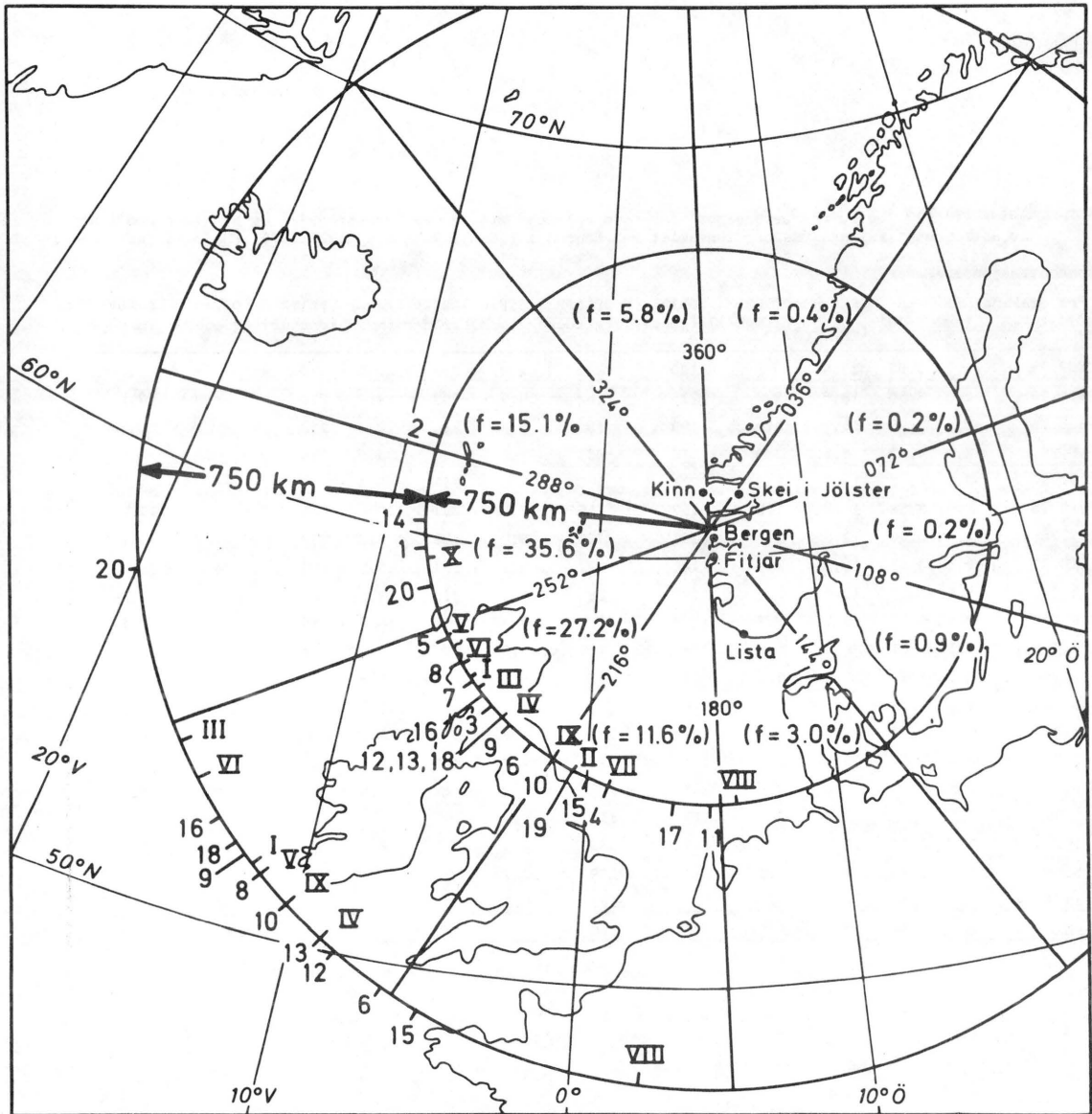


Fig. 15. Skjæringspunkt mellom midlere (nedbørveide) døgnlige trajektorier og sirkler med Nordhordland som sentrum og radius på h.h.v. 750 og 1500 km. Slike skjæringspunkt er gitt for tyve døgn med høy konsentrasjon av sterk syre og antropogent sulfat (arabiske tall), og for 10 døgn med stort nedfall av sterk syre og antropogent sulfat (romertall). (NB! Noen av trajektoriene skjærer ikke den ytre sirkel i løpet av de 48 timene de er fulgt.) Oversikt over prøvetakingsdato, nedbørkvalitet og luftmassetransport i disse døgn er gitt i tab. 24 (med samme nummerering som i fig. 15). I figuren er også angitt frekvens (f) (i prosent av totalt antall nedbørdøgn ved Fønnes) av trajektorier fra ulike sektorer.

Tab. 24. Ionekonsentrasjon og luftmasstransport for noen episoder med a) høy konsentrasjon og b) stort nedfall av antropogent sulfat i nedbør innsamlet ved Fonnes i tiden 1.1.1975 - 31.12.1976. (Se også tab. 13 og tab.18.)

a) Konsentrasjonsepisoder.

Episode nr.	Prøvetaking dato	RR (mm)	pH-verdi	CSO ₄ (mgSO ₄ /l)	NO ₃ (mgN/l)	DD10 (grader)	DD10RR (grader)	FF10 (m/s)	DD0RR (grader)	ARRSP (m/s)	DD1RR (grader)	DD2RR (grader)	AVESP (m/s)
1.	28.2.75	1.2	3.52	23.4	-	133	128	2.9	291	10.9	268	-	7.6
2	26.8.76	2.0	3.50	18.6	3.0	215	163	4.7	309	9.3	291	-	7.5
3	8.5.76	2.5	3.48	16.7	3.4	190	192	5.4	236	10.1	232	-	6.8
4	15.8.75	4.0	4.53	16.6	0.9	316	033	2.5	294	5.5	204	-	4.3
5	12.6.75	2.0	3.72	14.2	1.2	211	166	3.9	262	9.3	249	-	4.7
6	25.10.75	2.5	3.58	13.7	1.8	167	159	7.4	227	13.4	221	217	12.0
7	2.7.76	1.5	3.70	13.6	1.7	196	130	3.0	268	9.2	238	-	9.1
8	26.10.75	3.1	3.65	12.2	1.8	185	192	8.6	257	16.7	243	234	15.5
9	21.6.75	4.5	3.70	10.9	2.2	192	190	4.3	233	9.6	227	236	12.0
10	20.6.75	7.0	3.80	8.1	1.7	169	169	8.4	208	16.3	216	230	12.6
11	11.6.76	4.5	4.21	8.0	0.8	162	175	5.3	196	9.6	182	-	12.9
12	24.6.76	6.0	3.87	7.9	0.9	-	-	-	243	7.6	229	223	10.6
13	27.6.76	11.0	3.84	7.7	0.8	-	-	-	237	11.3	229	225	10.9
14	31.8.76	4.0	3.97	7.7	0.4	297	259	4.6	245	8.9	274	-	8.4
15	4.3.75	2.5	3.65	7.4	1.6	171	174	4.7	211	6.8	208	213	12.2
16	23.5.76	2.5	3.82	7.4	1.5	206	186	5.2	236	10.4	235	241	10.3
17	22.2.76	2.5	3.51	7.2	2.8	119	119	3.2	188	9.7	189	-	7.6
18	10.10.76	3.5	3.90	7.0	1.8	148	153	4.9	217	8.2	229	238	8.4
19	11.5.76	16.0	3.90	6.3	0.6	177	159	2.7	203	9.1	211	-	7.0
20	15.11.75	7.5	3.76	4.2	0.4	187	181	5.1	254	11.7	260	268	11.2
Median verdi		3.3	3.74	8.1	1.5	186	164	4.7	237	9.6	229	232	9.7

b) Nedfalls-episoder.

Episode nr.	Prøvetaking dato	RR mm	ACID mekv/m ²	CSO ₄ mgSO ₄ /m ²	NO ₃ mg N/m ²	DD10 grader	DD10RR grader	FF10 m/s	DD0RR grader	ARRSP m/s	DD1RR grader	DD2RR grader	AVESP m/s
I	21.2.75	43.0	2.7	126.4	-	185	185	8.1	234	14.8	239	235	11.4
II	11.5.76	16.0	2.0	100.1	10.1	177	159	2.7	203	9.1	211	-	7.0
III	25.9.75	38.0	1.6	89.7	8.0	184	168	8.2	224	15.6	237	250	16.2
IV	27.6.76	11.0	1.6	84.2	8.4	-	-	-	237	11.3	229	225	10.9
V	29.2.76	25.0	1.2	74.9	8.2	208	212	6.0	254	11.6	250	234	10.3
VI	23.9.75	69.5	0.8	69.7	0.7	181	183	10.4	239	19.6	243	246	12.9
VII	15.8.75	4.0	0.1	66.2	3.5	316	033	2.5	294	5.5	204	-	4.3
VIII	1.10.75	35.0	1.1	59.6	3.7	130	138	4.7	173	16.6	177	190	12.6
IX	20.6.75	7.0	1.1	56.6	12.0	169	169	8.4	208	16.3	216	230	12.6
X	16.9.75	60.0	0.3	53.8	0.6	215	188	7.3	268	15.6	266	-	12.1
Median verdi		30.0	1.2	72.3	8.0	184	168	7.3	234	15.2	233	234	11.8

RR, pH, ACID, CSO₄, NO₃ : nedbørhøyde og konsentrasjon (nedfall) av sterk syre, antropogent sulfat og nitrat ved Fonnes.

DD10, FF10 : Aritmetisk middel av vindretning og vindhastighet i 10 m-nivået ved Mongstad i det aktuelle nedbørdøgn.

DD10RR, DD0RR, DD1RR, DD2RR : Nedbørveid middel av h.h.v. vindretning i 10 m nivået, og trajektorieretning (850 mb) over Nordhordland, i 750 km og 1500 km sone rundt Nordhordland.

ARRSP, AVESP : Luftpakkehastighet (850 mb) siste to timer før ankomst til Nordhordland, og i middel langs trajektorien.

toriene i "konsentrasjons"- og "nedfallsepisodene" fra disse to sektorer.

Når det tas hensyn til at en betydelig del av de antropogene luftforurensninger trolig transporteres i en bane forskjøvet mot urviseren i forhold til trajektorien i 850 m nivået, tyder fig. 15 på at Storbritannia og Kontinentet er kildeområde for de fleste antropogene ioner i både "konsentrasjons"- og "nedfalls-episodene" i Nordhordland. Et mulig unntak er episode 2 (26.8.1976) som har en trajektorieretning på 291° .

4.4.5. Tonesammensetning ved ulike vind- og trajektorieretninger

Ved beregning av sjøsaltbidraget til sulfat- og kalsiuminnholdet i nedbøren, er det antatt at alt magnesium i nedbøren er av maritim opprinnelse, og at blandingsforholdet mellom maritime ioner er det samme som i sjøvann (kap.3.3). Fig. 16 og tab. 26 tyder imidlertid på at forholdstallet Cl/Mg varierer med vind- og trajektorieretning. Cl/Mg-forholdet er lavest når luftmassetransporten i 850 mb nivået er fra ENE-SSE. Det er for få tilfeller med luftmassetransport fra denne sektor til at det kan trekkes sikre konklusjoner, men en mulig forklaring på trenden i Cl/Mg-forholdet kan være bidrag av magnesium fra jordstøv eller industri-utslipp når luftmassene passerer over Kontinentet/Øst-Europa.

I nedbørprøver innsamlet ved Lista i perioden juli-august 1972 samsvarte imidlertid forholdet mellom magnesium og natrium

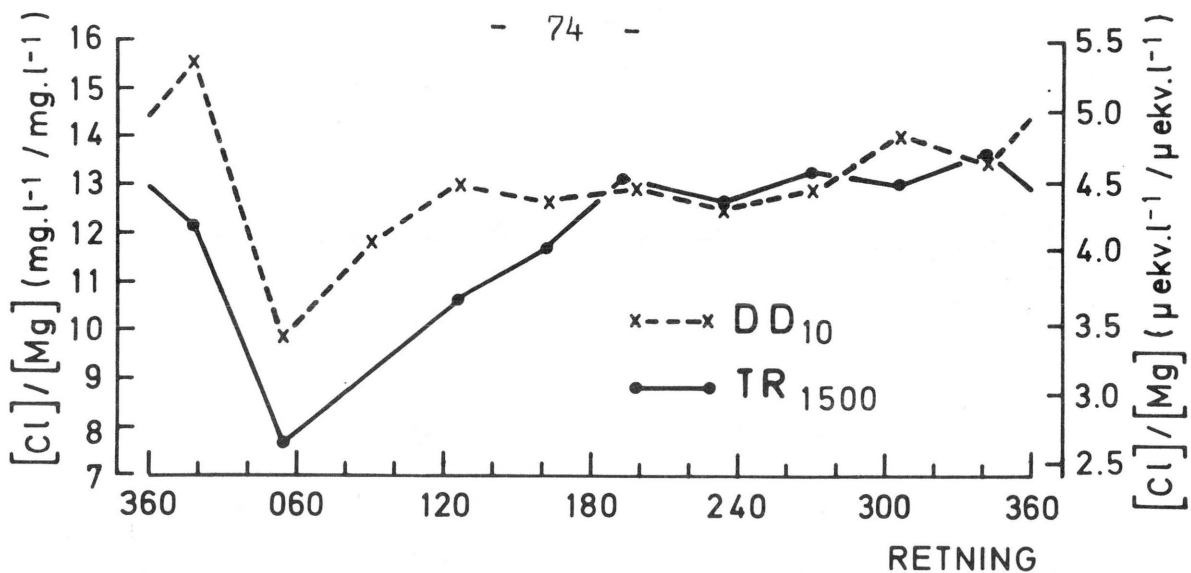


Fig. 16. Forholdstallet (Cl)/(Mg) som funksjon av vindretning (DD_{10}) 10 m over bakken og trajektorieretning (TR_{1500}) i 850 mb-nivået. Figuren er basert på døgnlige nedbørprøver innsamlet ved Fønnes, Kolås, Hødneland og Sandebygda i tidsrommet 1.4.1975 - 31.12.1976.

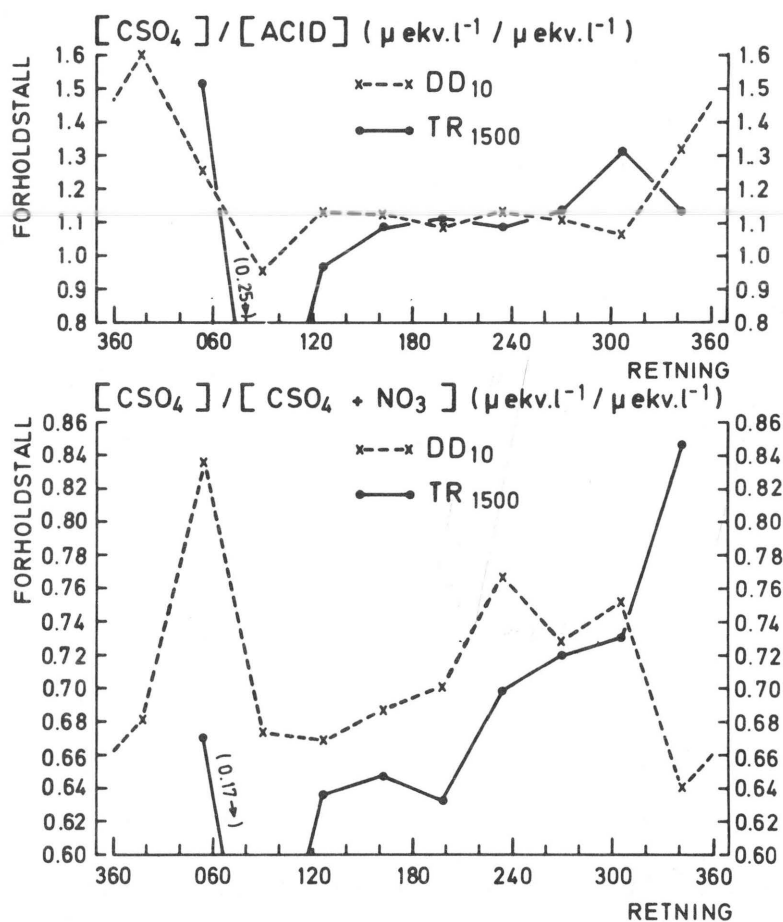


Fig. 17. Forholdstallene $(CSO_4)/(ACID)$ og $(CSO_4)/(CSO_4 + NO_3)$ som funksjon av vindretning (DD_{10}) 10 m over bakken og trajektorieretning (TR_{1500}) i 850 mb-nivået. Figurene er basert på døgnlige nedbørprøver innsamlet ved Fønnes, Kolås, Hødneland og Sandebygda i tiden 1.4.1975 - 31.12.1976.

Tab. 25. Forholdstallene (%) (CSO₄)/(ACID) og (CSO₄)/(NO₃+CSO₄) for ulike vind- og trajektorie-retninger. (CSO₄), (NO₃) og (ACID) er konsentrasjon (µekv/l) av h.h.v. antropogent sulfat, nitrat og sterk syre. Tabellen omfatter kun nedbørprøver der nevnerne (ACID) og (CSO₄ + NO₃) er større enn h.h.v. 10 og 25 µekv/l. Forholdstallene er middelverdier for døgnlige nedbørprøver innsamlet i tidsrommet 1.4.1975 - 31.12.1976 ved Fønnes, Kolås, Hodneland og Sandebygda.

Vind- og trajektorie-retning	FORHOLDSTALLET (CSO ₄)/(ACID)				FORHOLDSTALLET (CSO ₄)/(NO ₃ + CSO ₄)			
	Vindretning (10 M)		Trajektorieretn. (850 mb)		Vindretn. (10 m)		Trajektorieretn. (850 mb)	
	Antall prøver	(CSO ₄)/(ACID)	Antall prøver	(CSO ₄)/(ACID)	Antall prøver	(CSO ₄)/(NO ₃ +CSO ₄)	Antall prøver	(CSO ₄)/(NO ₃ +CSO ₄)
001-036 ^o NNE	13	160.2	0	-	8	68.1	0	-
037-072 ENE	5	125.6	1	151.7	1	83.6	2	67.0
073-108 E	19	95.5	4	24.7	19	67.4	4	16.6
109-144 ESE	128	113.5	13	96.9	107	66.9	9	63.6
145-180 SSE	162	112.6	26	108.0	131	68.7	22	64.7
181-216 SSW	117	108.9	86	111.5	96	70.5	78	63.2
217-252 WSW	44	113.7	218	108.0	39	76.7	196	69.8
253-288 W	20	111.1	187	114.2	20	72.9	143	72.0
289-324 WNW	32	106.4	42	131.9	25	75.2	27	73.0
325-360 NNW	20	131.9	26	113.4	15	64.1	17	84.6
TOTALT	560	113.0	603	111.5	461	69.7	498	69.3

Tab. 26. Forholdstallet (%) (Cl)/(Mg) for ulike vind- og trajektorieretninger (Cl) og (Mg) er konsentrasjon (µekv/l) av h.h.v. klorid og magnesium. Tabellen omfatter kun nedbørprøver der nevneren (Mg) er større enn 10 µekv/l. Forholdstallene er middelverdier for døgnlige nedbørprøver innsamlet i tidsrommet 1.4.1975 - 31.12.1976 ved Fønnes, Kolås, Hodneland og Sandebygda.

VIND- OG TRAJEKTORIE-RETNING	VINDRETNING (10m)		TRAJEKTORIERETNING (850 mb)	
	Antall prøver	(Cl)/(Mg)	Antall prøver	(Cl)/(Mg)
001-036 NNE	3	532.7	1	417.0
037-072 ENE	5	337.6	1	264.0
073-108 E	9	406.9	0	-
109-144 ESE	55	446.9	5	365.6
145-180 SSE	103	435.1	9	404.0
181-216 SSW	105	446.0	27	453.0
217-252 WSW	49	431.1	138	437.0
253-288 W	26	444.3	190	458.5
289-324 WNW	27	483.2	70	446.7
325-360 NNW	12	465.4	26	471.9
TOTALT	394	442.8	467	448.2

$$\frac{(Cl)}{(Mg)} \text{ målt} / \frac{(Cl)}{(Mg)} \text{ Sjø} = \frac{(Cl)}{(Mg)} \text{ målt} / 512,0 = 0.865 \quad - \quad 0.875$$

meget nær til sjøvannsammensetning (OECD, 1977 s. 3.13). For sjøsaltpartikler innsamlet på filter en rekke steder i Nord-Europa, var det derimot et underskudd på klorid, og det ble antydnet at dette kunne forklares ved at sure aerosoler hadde utskilt hydrogenklorid (gass) fra sjøsaltpartikler. (op.cit. s.3.28).

Et interessant trekk er at Cl/Mg-forholdet er det samme ved fralandsvind (SE) som ved pålandvind (W) ved bakken.

Ekvivalentforholdet $CSO_4/ACID$ viser hvor stor del av sterk syre-innholdet i nedbøren som kan forklares ved svovelsyre. Dersom forholdtallet $CSO_4/ACID$ er mindre enn 1.0, skyldes en del av syreinnholdet andre sterke syrer enn svovelsyre- og da hovedsakelig salpetersyre. Ved forholdstall større enn 1.0 er syren helt eller delvis nøytralisert av sterke eller svake baser. Den vesentligste syrenøytraliserende komponent er ammoniakk (Schjoldager, 1975). Fig. 17 og tab. 25 tyder på en svak tendens til høyere forholdstall $CSO_4/ACID$ for luftmasser med trajektorier (850 mb) over Nordsjøen/ Norskehavet enn for luftmasser som har passert over Storbritannia eller Kontinentet. To mulige forklaringer på denne trenden er:

- a) Forholdet mellom svovelsyre og salpetersyre varierer med trajektorieretningen (fig. 17).
- b) Ved luftmassetransport fra W og NW har eventuelle antropogene svovelforbindelser som regel hatt lenger oppholdstid i atmosfæren enn ved transport fra S og SW. Ved økende oppholdstid vil en økende andel av de sure sulfater nøytraliseres.

Fig. 17 og tab. 25 viser at det bare er ved luftmasse-transport (850 mb) fra sektor 073-144° (E-ESE) at syreinnholdet i nedbøren er større enn det som kan forklares som svovelsyre dersom all antropogent sulfat forelå som svovelsyre (dvs. at ingen nøytralisering har funnet sted).

Aritmetisk middel av forholdstallet $CSO_4/ACID$ for ca. 600 nedbør-prøver for Nordhordland var 1.12 (tab.25).

Men all sterk syre i nedbøren i Nordhordland skyldes neppe sure sulfater. Tab. 25 viser at forholdstallet $CSO_4/(CSO_4 + N O_3)$ i middel er ca. 0.70 for nedbørsprøver fra Nordhordland. Dersom nøytraliseringshastigheten for svovel- og nitrogenforbindelser er den samme, og nedbøren ikke inneholder andre sterke syrer, - svarer dette til at ca. 70 % av sterk syreinnholdet i nedbør fra Nordhordland skyldes sure sulfater (svovelsyre) og 30 % sure nitrater (salpetersyre). Dette er i overensstemmelse med Skartveit & Førland (1976) som både for Sørlandet og Vestlandet fant at ca. 1/3 av de sure kationer i nedbøren syntes å foreligge som nitrater, mens 2/3 syntes å foreligge som sulfater. Datagrunnlaget i Skartveit & Førlands (op.cit.) undersøkelse ga ikke holdepunkter for hva tidsvariasjonene i nitrat/sulfat-forholdet i nedbør skyldes.

Fig. 17 og tab. 25 tyder på at forholdet mellom sulfat og nitrat varierer med transportretningen til de nedbørgivende luftmasser. Forholdstallet $CSO_4/(CSO_4 + NO_3)$ øker fra ca. 0.67

ved bakkevind fra $073-144^{\circ}$, til ca. 0.75 ved bakkevind fra $217-324^{\circ}$, mens det ved vind fra $325-036^{\circ}$ faller til ca. 0.66. Forholdstallet $CSO_4/(CSO_4+NO_3)$ som funksjon av trajektorieretning (850 mb) viser en enda tydeligere trend, - lavest forholdstall (0.17) ved luftmassetransport fra sektor $073-108^{\circ}$, forholdstall på ca. 0.64 ved luftmasser fra sektor $109-216^{\circ}$, ca. 0.70 fra sektor $217-324^{\circ}$, og $CSO_4/(CSO_4+NO_3) \sim 0.85$ ved luftmassetransport fra $325-360^{\circ}$.

Den lave $CSO_4/(CSO_4+NO_3)$ verdi for sektor $073-108^{\circ}$ er i overensstemmelse med det lave $CSO_4/ACID$ forholdstall for denne sektor, og kan tyde på at en relativt stor andel av sterk syre-innholdet skyldes salpetersyre ved luftmassetransport (850 mb) fra øst. Men det bør ikke legges for stor vekt på data for denne sektor som bare er representert ved fire nedbørsprøver.

For de syv sektorene mellom 109 og 360° er det større data-grunnlag å bygge på. Trenden i fig. 17 kan tyde på at salpetersyrebidraget er av større betydning ved luftmassetransport (850 mb) fra Kontinentet/Øst-Europa enn for luftmasser som har passert over Storbritannia, og minst for luftmasser som kommer fra Norskehavet. Fig. 17 og tab.25 viser at trenden i forholdstallet $CSO_4/(CSO_4+NO_3)$ ikke skyldes økende konsentrasjon av antropogent sulfat ettersom trajektoriene dreier (med urviseren) mot nord, men at nitrat-konsentrasjonen avtar raskere enn konsentrasjonen av antropogent sulfat.

4.4.6. Sammenheng mellom ionekonsentrasjon og nedbørhøyde

De fleste episoder med høye ionekonsentrasjoner forekommer ved små nedbørhøyder (fig. 5). Nedbørprøvene fra Fønnes er gruppert etter nedbørhøyde. Aritmetiske midler av antropogent sulfat, sterk syre og magnesium (tab. 27 og fig. 18), understreker at de største ionekonsentrasjoner forekommer ved små nedbørhøyder (< 1.0 mm). Konsentrasjonen av antropogent sulfat faller fra ca. 6.5 mg SO₄/l ved nedbørhøyder mindre enn 1 mm, til ca. 2.7 mg SO₄/l ved nedbørhøyder i intervallet 1.0-2.9 mm, og til 1.0 mg SO₄/l ved større nedbørhøyder enn 25 mm. Konsentrasjonen av sterk syre avtar fra 120 µekv/l for nedbørhøyder mindre enn 1.0 mm, til 26 µekv/l ved nedbørhøyder i intervallet 4.0-5.0 mm. For større nedbørhøyder enn 5 mm er sterk syre konsentrasjonen relativt stabil på ca. 30±5 µekv/l.

Fig. 18 tyder på at magnesiumkonsentrasjonen avtar langsommere med økende nedbørhøyde (særlig utpreget ved nedbørhøyder mindre enn 10 mm) enn antropogent sulfat og sterk syre. Etter som fig. 18 er basert på nedbørprøver fra luftmasser med ulike kildeområder, er det vanskelig å avgjøre om trenden i fig. 18 kun skyldes variasjonen i nedbørhøyde, eller at nedbørhøyde og ionekonsentrasjon varierer ulikt med trajektorieretningen.

I tab. 27 og fig. 19 er derfor sammenhengen mellom ionekonsentrasjon og nedbørhøyde fremstilt for ulike trajektorieretninger. Konsentrasjonen av antropogent sulfat avtar med økende nedbørhøyde for alle trajektoriesektorene. Stort sett er det luftmasser fra sektor 145-216^o som har de høyeste

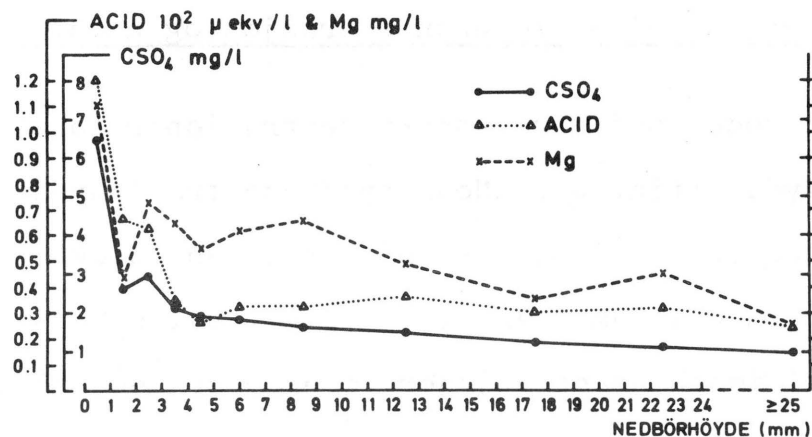


Fig. 18. Konsentrasjon av antropogent sulfat (CSO_4), sterk syre (ACID) og magnesium (Mg) som funksjon av nedbørhøyde. Figuren er basert på døgnlige nedbørprøver innsamlet ved Fønnes i tiden 1.5.1973 - 31.12.1976.

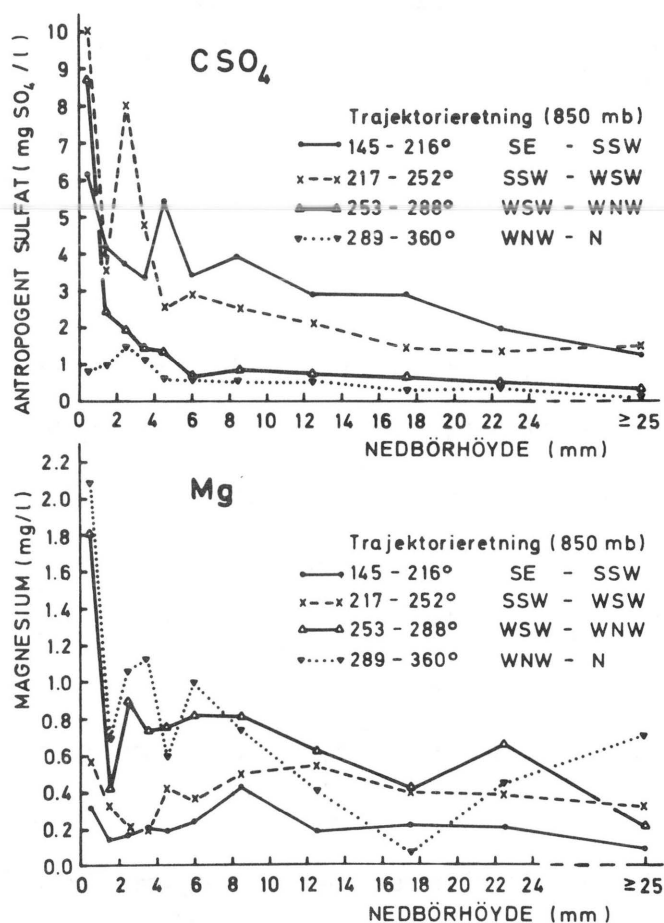


Fig. 19. Konsentrasjon (gruppe-middelverdier) av antropogent sulfat (CSO_4) og magnesium (Mg) som funksjon av nedbørhøyde for ulike trajektorieretninger (850 mb). Figuren er basert på døgnlige nedbørprøver innsamlet ved Fønnes i tiden 1.5.1973 - 31.12.1976.

Tab. 27. Konsentrasjon (gruppemiddelverdier) av antropogent sulfat (CSO₄), sterk syre (ACID) og magnesium (Mg) som funksjon av nedbørhøyde (RR) for ulike trajektorieretninger (TR) (850 mb). I parentes: Antall observasjoner. Tabellen er basert på døgnlige nedbørprøver innsamlet ved Fønnes i tiden 1.5.1973 - 31.12.1976.

a) CSO₄ (mg SO₄/l)

TR	RR(mm)	<1.0	1.0-1.9	2.0-2.9	3.0-3.9	4.0-4.9	5.0-6.9	7.0-9.9	10.0-14.9	15.0-19.9	20.0-24.9	≥25.0
001-036	NNE	- (0)	0.4 (1)	0.0 (1)	- (0)	- (0)	- (0)	0.6 (1)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)
037-072	ENE	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	4.8 (1)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)
073-108	E	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	0.4 (1)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)
109-144	ESE	- (0)	4.0 (3)	1.3 (1)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)
145-180	SSE	- (0)	3.4 (3)	1.7 (2)	8.5 (1)	- (0)	2.2 (3)	5.6 (1)	4.9 (6)	1.3 (1)	- (0)	1.1 (3)
181-216	SSW	6.2 (3)	5.3 (2)	4.3 (7)	2.6 (7)	5.4 (6)	3.9 (8)	3.7 (6)	1.7 (10)	3.1 (6)	2.0 (6)	1.4 (4)
217-252	WSW	10.0 (4)	3.5 (7)	8.0 (8)	4.9 (4)	2.6 (9)	2.9(24)	2.5(30)	2.1 (26)	1.5 (17)	1.4(14)	1.5(19)
253-288	W	8.7 (4)	2.4 (8)	1.9 (12)	1.4 (19)	1.4(17)	1.7(22)	0.9(36)	0.7 (35)	1.7 (23)	1.5(11)	0.4(17)
289-324	WNW	0.4 (1)	1.1 (4)	1.9 (14)	1.3 (7)	0.6(10)	0.6(10)	0.6(11)	0.6 (11)	0.3 (2)	0.4 (2)	0.1 (2)
325-360	NNW	0.9 (3)	0.9 (6)	0.9 (8)	0.2 (1)	0.6 (2)	0.8 (6)	0.4 (5)	- (0)	- (0)	0.5 (1)	- (0)
Totalt		6.5 (15)	2.6 (34)	2.9 (53)	2.1 (59)	1.9 (45)	1.8 (73)	1.6 (91)	1.5 (88)	1.3 (49)	1.1 (34)	1.0 (45)
Standard-avvik		7.9	2.8	4.3	2.0	3.1	3.1	2.1	2.2	1.6	1.1	0.9

Tab. 27 b) ACID (µekv/l)

TR	RR(mm)	1.0	1.0-1.9	2.0-2.9	3.0-3.9	4.0-4.9	5.0-6.9	7.0-9.9	10.0-14.9	15.0-19.9	20.0-24.9	≥25.0
001-036	NNE	- (0)	5 (1)	2 (1)	- (0)	- (0)	- (0)	16 (1)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)
037-072	ENE	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	66 (1)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)
073-108	E	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	25 (1)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)
109-144	ESE	- (0)	53 (4)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)
145-180	SSE	- (0)	110 (3)	36 (3)	76 (1)	- (0)	61 (3)	141 (1)	180 (6)	31 (1)	- (0)	31 (3)
181-216	SSW	167 (4)	13 (2)	176 (7)	63 (7)	32 (6)	51 (8)	78 (6)	38 (10)	83 (6)	46 (6)	51 (4)
217-252	WSW	203 (7)	125 (11)	157 (8)	56 (5)	55 (9)	60 (24)	50 (30)	45 (26)	35 (17)	43 (14)	32 (19)
253-288	W	108 (6)	66 (10)	25 (14)	21 (18)	17 (17)	9 (21)	19 (37)	14 (35)	16 (23)	16 (12)	11 (17)
289-324	WNW	0 (3)	32 (7)	30 (14)	23 (7)	18 (9)	9 (12)	8 (11)	9 (11)	7 (2)	6 (2)	25 (2)
325-360	NNW	12 (3)	17 (6)	8 (8)	45 (1)	2 (2)	12 (6)	5 (5)	- (0)	- (0)	31 (1)	- (0)
Totalt		121(23)	67 (44)	62 (55)	35 (39)	26 (44)	33 (74)	32 (92)	37 (88)	31 (49)	32 (35)	25 (45)
Standard-avvik		138	103	97	41	36	43	43	70	34	42	25

Tab. 27 c) Mg (mg/l)

TR	RR(mm)	<1.0	1.0-1.9	2.0-2.9	3.0-3.9	4.0-4.9	5.0-6.9	7.0-9.9	10.0-14.9	15.0-19.9	20.0-24.9	≥25.0
001-036	NNE	- (0)	0.58 (1)	1.80 (1)	- (0)	- (0)	- (0)	0.54 (1)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)
037-072	ENE	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	0.13 (1)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)
073-108	E	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	0.03 (1)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)
109-144	ESE	- (0)	0.17 (3)	0.05 (1)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)
145-180	SSE	0.28 (1)	0.15 (3)	0.08 (2)	0.08(1)	- (0)	0.07 (3)	0.12 (1)	0.12(6)	0.02 (1)	- (0)	0.04 (3)
181-216	SSW	0.32 (5)	0.12 (2)	0.20 (7)	0.23(7)	0.19 (6)	0.40 (8)	0.48 (6)	0.21(10)	0.24 (6)	0.20(6)	0.11 (4)
217-252	WSW	0.57 (4)	0.33 (7)	0.20 (8)	0.19(4)	0.42 (9)	0.36(25)	0.50(30)	0.54(25)	0.40 (17)	0.39(14)	0.32 (19)
253-288	W	1.81 (3)	0.42 (9)	0.90(12)	0.74(19)	0.75 (17)	0.82(21)	0.81(37)	0.62(36)	0.41 (23)	0.66(11)	0.21 (16)
289-324	WNW	2.77 (2)	0.72 (6)	1.15(13)	1.21 (7)	0.54 (8)	0.98(11)	0.71(11)	0.40(11)	0.07 (2)	0.49 (2)	0.70 (2)
325-360	NNW	1.64 (3)	0.66 (6)	0.89 (8)	0.46 (1)	0.78 (2)	1.00 (6)	0.76 (5)	- (0)	- (0)	0.34 (1)	- (0)
Totalt		1.11(18)	0.44 (37)	0.73(52)	0.65(39)	0.55(43)	0.62(74)	0.66(92)	0.49(88)	0.36 (49)	0.45(34)	0.26 (44)
Standard-avvik		1.44	0.46	0.86	0.84	0.61	0.75	0.69	0.69	0.39	0.64	0.29

konsentrasjoner, fulgt av sektor 217-252^o og sektor 253-288^o, og med lavest konsentrasjoner ved trajektorier fra sektor 289-360^o. Selv ved nedbørhøyder på 15-20 mm er konsentrasjonen av antropogent sulfat over 3 mg SO₄/l ved luftmasser fra sektor 145-216^o. For luftmasser fra sektor 253-288^o faller konsentrasjonen av antropogent sulfat raskt ved økende nedbørhøyder, - fra 9 mg SO₄/l ved nedbørhøyde mindre enn 1 mm til mindre enn 1 mg SO₄/l ved nedbørhøyder større enn 5 mm. I luftmasser fra Norskehavet (289-360^o) er konsentrasjonen av antropogent sulfat lavere enn 1.5 mg SO₄/l selv ved små nedbørhøyder.

Tab. 22 viste at konsentrasjonen av antropogent sulfat var større enn 1.0 mg SO₄/l selv i nedbør fra luftmasser som tilsynelatende ikke hadde passert over industri-områdene på Kontinentet eller Storbritannia. Fig. 19 viser at det særlig er ved små nedbørhøyder det finnes antropogent sulfat når luftmassene (850 mb) kommer fra Atlanterhavet eller Norskehavet. Ved nedbørhøyder større enn 15-20 mm er konsentrasjonen av antropogent sulfat mindre enn 0,5 mg SO₄/l både for sektor 253-288^o, 289-324^o og 325-360^o.

Det er verdt å merke seg at det finnes antropogent sulfat i nedbør ved luftmassestransport (850 mb) fra Norskehavet. En mulig forklaring er at reduksjonen av sjøsulfat (se kap.3.3) underestimerer sjøsaltbidraget til sulfatinholdet i nedbøren. Denne forklaring motsies av to forhold.

- 1) Fig. 19 viser en tendens til at konsentrasjonen av antropogent sulfat avtar asymptotisk mot null ved store nedbørhøyder.
- 2) Tab. 22 viser at luftmasser fra Norskehavet også har et overskudd av sterke syrer ($[ACID] > 0$):

Ettersom nedbørprøvene ved Fønnes ble innsamlet i (kjemisk inerte) plastposer som ble skiftet hver dag, skyldes overskuddet av sterk syre og antropogent sulfat neppe tørravsetninger i nedbørsamlerne i periodene forut for nedbørepisodene. Mer sannsynlige årsaker er at luftmassetransporten i lavere nivåer stundom kommer fra områder sydvest for trajektoriene fra Norskehavet, eller av at sure sulfater kan ha relativt lang oppholdstid i atmosfæren.

De store ionekonsentrasjoner ved små nedbørhøyder kan skyldes en mer effektiv utvasking av sulfatpartikler ved liten nedbørintensitet (kap. 2.3), og at fordampning (og dermed oppkonsentrering av ioneinnhold) av fallende regndråper er av større betydning ved små nedbørhøyder enn ved store.

Magnesiumkonsentrasjonen som funksjon av nedbørhøyde viser et noe annet forløp enn antropogent sulfat (fig. 19). Bare for luftmasser fra sektor $253-288^{\circ}$ og $289-360^{\circ}$ er konsentrasjonen markert større ved små nedbørhøyder enn ved store. For samtlige trajektoriesektorer har magnesium-konsentrasjonen et sekundært maksimum for nedbørhøyder på 6-12 mm.

De forskjellige forløp for magnesium og antropogent sulfat kan skyldes at utfellingshastigheten som funksjon av nedbør-intensitet er forskjellig for de store partikler av maritim opprinnelse (magnesium) enn for små antropogene partikler (sulfater). En annen forklaring på de relativt høye magnesium-konsentrasjoner ved middels store nedbørhøyder, kan være at orografisk nedbørutløsning øker med økende vindstyrke, og at den økende vindstyrke fører til økende sjøsprøytbidrag fra brenninger og bølger.

5. SAMMENDRAG

I regi av Lindåsprosjektet (NAVF) ble det på døgnet- og ukebasis samlet inn nedbørprøver ved opptil 10 lokaliteter i Nordhordland/Ytre Sogn i tiden 20.1.1973 - 31.12.1976 . Nedbørprøvene ble analysert for surhetsgrad (pH), konduktivitet (κ 20) og konsentrasjon av sulfat, nitrat, kalsium, magnesium, klorid og sink.

Det er store tidsvariasjoner i nedbørens ionekonsentrasjon. På døgnetbasis er det målt pH-verdier i intervallet 3.3-7.1, antropogent sulfat: 0-25 mg SO_4 /l, nitrat: 0.0-3.4 mg N/l, og ikke-maritimt kalsium: 0.0-2,6 mg/l. Midlere konsentrasjon var for antropogent sulfat \sim 1.3 mg SO_4 /l, nitrat \sim 0.16 mg N/l, ikke-maritimt kalsium \sim 0.13 mg/l, sink \sim 0.01 mg/l, magnesium \sim 0.5 mg/l, klorid \sim 5.5 mg/l og midlere pH-verdi \sim 4.6.

For samtlige ioneslag var middel-konsentrasjonen størst ytterst ved kysten, med avtakende verdier mot øst. Denne geografiske fordeling av ionekonsentrasjonen er trolig en kombinert effekt av utvasking av ioner og konsentrasjonsfortynning p.g.a. at nedbørmengden øker inn mot de østlige deler av området.

Over Nordhordland/Ytre Sogn faller det stundom store mengder antropogene forurensninger (sulfat, nitrat, sterk syre) i løpet av kort tid. I ca. 5% av nedbørdøgnene er nedfallet av sterk syre høyere enn 1 mekv/m^2 (tilsvarer ca. $50 \text{ kg svovelsyre / km}^2$), nedfallet av antropogent sulfat større enn $50 \text{ kg SO}_4/\text{km}^2$ og nitratnedfallet større enn 6 kg N/km^2 . Også nedfallet av maritime ioner kan være stort på døgnbasis, - i 5% av nedbørdøgnene var magnesiumnedfallet på over 15 kg/km^2 og kloridnedfallet på over 180 kg/km^2 .

Av totalnedfallet av antropogent sulfat ($9.5 \text{ t SO}_4/\text{km}^2$) ved Fønnes i årene 1973-1976 falt 38% i løpet av de 50 døgn som hadde størst døgnlig sulfatnedfall. Det vil si at 38% av nedfallet kom i løpet av 7% av nedbørdøgnene, eller i løpet av 3.5 % av totalt antall døgn i fire-års perioden.

Nedbørhøydene og nedfallet av de fleste ioneslag var størst i de østlige deler av området, og minst ved kysten. På årsbasis (1974-1976) økte nedbørhøyden fra ca. 1550 mm ved kysten til over 2600 mm i Haveland-området. Fra vest til øst økte nedfallet av antropogent sulfat fra 2 til $3 \text{ t SO}_4/\text{km}^2$ og magnesiumnedfallet fra 0.7 til 1.1 t/km^2 .

Nedfallet av sterk syre var relativt høyt ved Årås og Fonnes, men økte forøvrig fra ca. 40 mekv/m² i vest til ca. 60 mekv/m² i øst (tilsvarer h.h.v. 2 og 3 t svovelsyre/km²).

Ved oljeraffineriet på Mongstad er det tillatt å slippe ut opptil 2500 t svoveldioksyd/år. Utfelling av svovelforbindelser fra atmosfæren er en meget kompleks prosess, som avhenger av meteorologiske og atmosfærekjemiske forhold. Resultater oppnådd ved undersøkelser av svovelutfelling ved andre lokaliteter, kan derfor ikke uten videre anvendes til å estimere svovelutfellingen i Mongstad-området. Men resultater fra svenske undersøkelser kan tyde på at det årlige bidrag fra svoveldioksydutslippene fra raffineriet neppe vil overstige 5% av bakgrunnsnedfallet av sulfat i noen del av Nordhordland/Ytre Sogn.

Målestasjonen Sandebygda ligger i en sektor som er særlig utsatt for nedbørforurensninger fra oljeraffineriet. Sortering av nedbørprøver etter vindretning tyder på at konsentrasjonen av sterk syre og antropogent sulfat var høyere etter driftsstarten ved raffineriet enn før, for samtlige vindretningssektorer (fig. 11). Det er imidlertid intet som tyder på at økningen i sulfat- og syre-konsentrasjon er høyest når Sandebygda ligger i le av raffinertiet. Heller ikke ved de øvrige stasjoner med døgnlige nedbørprøvetaking er det noen ekstra høy sulfatkonsentrasjon når nedbøren faller mens vinden blåser fra raffineriet mot stasjonen. (fig. 10).

Det er dog mulig at sulfatbidraget fra røkfanen ved spesielle værforhold - lokalt og i korte perioder - kan påvirke nedbørens konsentrasjon av sulfat og sterk syre i noe sterkere grad enn antydnet ovenfor. For studier av slike detaljstrukturer i sulfatnedfallet rundt raffineriet må det eventuelt foretas episodestudier i et tett stasjonsnett som dekker området opptil 100 km fra raffineriet. En metode for undersøkelse av nedbørnedfall og tørravsetninger vinterstid er beskrevet av Førland & Gjessing (1975).

I Nordhordland/Ytre Sogn faller over 60% av nedbøren når bakkevinden blåser fra sektor 145-216°. Ved vind fra denne sektor får området ca. 67% av nedfallet av antropogent sulfat og ca. 70% av nedfallet av sterk syre og nitrat (fig.12).

De høyeste konsentrasjoner av antropogene forurensninger (sulfat, nitrat, sterk syre) forekommer når 850 mb-trajektorien har passert over Kontinentet eller Storbritannia, mens konsentrasjonene er betydelig lavere når luftmassene kommer fra Norskehavet (fig. 13). Konsentrasjonen av magnesium er derimot høyest når 850 mb-trajektorien kommer fra Atlanterhavet eller Norskehavet.

Ca. 33% av nedbøren faller ved 850 mb-trajektorier fra WSW (sektor 217-252°) fig. 14. Ved trajektorier fra denne sektor får området 45-50 % av nedfallet av antropogent sulfat, nitrat og sterk syre. Magnesiumnedfallet er størst (ca. 45% av totalnedfallet) ved trajektorier fra W (sektor 253-288°).

Forholdstallet mellom konsentrasjon av antropogent sulfat og sterk syre er høyere for luftmasser med 850-trajektorier over Nordsjøen/Norskehavet, enn for luftmasser som har passert over Storbritannia eller Kontinentet (fig. 17). Denne trenden kan skyldes variasjoner i forholdet mellom salpetersyre og svovelsyre, eller at andelen av sure sulfater som er nøytralisert er størst ved luftmassetransport fra Nordsjøen/Norskehavet.

Målingene tyder på at ca. 70% av innholdet av sterk syre i nedbøren i Nordhordland skyldes sure sulfater (svovelsyre) og ca. 30% sure nitrater (salpetersyre). Forholdstallet mellom salpetersyre og svovelsyre i nedbøren synes å være større ved luftmasse-transport (850 mb) fra Kontinentet/ØstEuropa enn for luftmasser over Storbritannia, og minst for luftmasser som kommer fra Norskehavet (fig. 17).

Ionekonsentrasjonen i døgnlige nedbørprøver fra Fønnes avtar med økende nedbørmengde (fig. 18). Ved 850 mb trajektorier over Kontinentet eller Storbritannia er konsentrasjonen av antropogent sulfat i nedbør over 3 mg SO_4 /l selv ved døgnlige nedbørhøyder på 15-20 mm (fig. 19). For luftmasser fra Atlanterhavet faller konsentrasjonen av antropogent sulfat raskt ved økende nedbørhøyder - fra 9 mg SO_4 /l ved nedbørhøyder mindre enn 1 mm, til 1 mg SO_4 /l ved nedbørhøyder større enn 5 mm. I luftmasser fra Norskehavet er konsentrasjonen av antropogent sulfat lavere enn 1.5 mg SO_4 /l selv ved små nedbørhøyder, og lavere enn ca. 0.3 mg SO_4 /l ved nedbørhøyder større enn 10 mm.

LITTERATUR

- Bolin, B.,
Granat, L. 1973 Local fallout and long-distance transport of sulfur. Ambio Vol. 2, No. 3: 87-90.
- Brosset, C. 1973 Air-borne acid. Ambio Vol. 2, No. 1-2: 2-9.
- Brosset, C.,
Andreasson, K.,
Ferm, M. 1975 The nature and possible origin of acid particles observed at the Swedish west coast. Atmos. Environ. 9: 631-642.
- Brække, F. (ed.) 1976 Impact of acid precipitation on forest and freshwater ecosystems in Norway. SNSF-prosjektet. FR 6/76. 111 s..
- Dana, M.T.,
Hales, J.M.,
Wolf, M.A. 1975 Rain scavenging of SO₂ and sulfate from power plant plumes. J.Geophys. Res.Vol. 80, No. 30: 4119-4129.
- Dovland, H. 1973-76 Meteorological measurement at Mongstad. NILU. Kvartalvise oppdragsrapporter.
- Dovland, H.,
Joranger, E.,
Semb, A. 1976 Deposition of air pollutants in Norway. S. 14-35 i Brække, F.H. (ed.): Impact of acid precipitation on forest and freshwater ecosystems in Norway. SNSF-prosjektet. FR 6/76. 111 s..
- Eliassen, A.,
Saltbones, J. 1975 Decay and transformation rates of SO₂, as estimated from emission data, trajectories and measured air concentrations. Atmos. Environ. 9: 425-429.
- Enger, L. 1977 A study of diffusion and wet deposition of sulfur from an oil fired power-plant. Met.Inst. Uppsala. Rapport no. 46. 52 s..
- Fjeld, O. 1975 Nedbørens kjemiske sammensetning og fordeling i Sogn og Sunnfjordområdet. SNSF-prosjektet IR 8/75, 25 s..
- Førland, E.J. 1973 A study of the acidity in the precipitation in southwestern Norway. Tellus 25: 291-298.

- Førland, E.J.,
Gjessing, Y.T. 1975 Snow contamination from washout-rainout
and dry deposition.
Atmos. Environ. 9: 339-352.
- Førland, E.J. 1974-77 Målinger av nedbørforurensninger omkring
Mongstad.
Lindås-prosjektet. Kvartalvise arbeids-
notater.
- Førland, E.J.,
Meisingset, E.,
Skartveit, A.,
Wefring, I. 1975 Hydrokjemiske data fra Nordhordland/
Ytre Sogn.
SNSF-prosjektet. TN 8/75, 45 s..
- Førland, E.J. 1976 Nedbørkjemiske målinger i Mongstad-
området 1.1.1974 - 1.4.1975.
Lindås-prosjektet. Rapport nr. 19. 55 s..
- Galbally, I.E. 1975 Emissions of oxides of nitrogen (NO_x)
and ammonia from the earth's surface
Tellus 17: 67-70.
- Granat, L.,
Rohde, H. 1973 A study of fallout by precipitation
around an oil-fired power plant.
Atmos. Environ. 7: 781-792.
- Hales, J.M.,
Thorp, J.M.,
Wolf, M.A. 1971 Field investigation of sulfur dioxide
washout from the plume of a large coal-
fired power plant by natural precipita-
tion.
Environmental Protection Agency, Air
Pollution Central Office contract No. CPA
22-69-150. 214 s..
- Hales, J.M. 1974 Sulfate washout from a coal-fired power
plant plume.
Atmos. Environ. 8: 773.
- Hutcheson,
Hall. 1974 Sulfate washout from a coal fired power
plant plume.
Atmos. Environ. 8: 23-28.
- Høgstrøm, U. 1973a Residence time of sulfurous air pollu-
tants from a local source during preci-
pitation.
Ambio Vol. 2, No. 1-2: 37-41.

- Høgstrøm, U. 1973b Comments on local fallout and long-distance transport of sulfur. *Ambio* Vol. 2, No. 3: 90-91.
- Høgstrøm, U. 1974 Wet fallout of sulfurous pollutants emitted from a city during rain or snow. *Atmos. Environ.* 8: 1291-1303.
- Høgstrøm, U. 1977 The characteristic scale of wet fallout of sulfur and the budget of atmospheric sulfur in Sweden. *Met.Inst. Uppsala. Rapport no. 48.* (Sitert etter Enger (1977).)
- Junge, C.E., 1958 A study of the SO₂ oxidation and its
Ryan, H.G. role in atmospheric chemistry. *Quart. J.R. Met. Soc.* 84: 46-55.
- OECD 1977 The OECD programme on long range transport of air pollutants. Measurements and findings. Organisation for economic co-operation and development. Paris.
- Ottar, B. 1973 The long range transport of air pollutants. *WMO - No. 368: 31-38.*
- Pettersen, S. 1958 Introduction to Meteorology. McGraw-Hill, New York, 327 s..
- Rasool, S.I. (ed.) 1973 Chemistry of the lower atmosphere. Academic Press. New York. 335 s..
- Rodhe, H. 1978 Budgets and turn-over times of atmospheric sulfur compounds. *Atmos. Environ.* 12: 671-680.
- Schaug, J. 1978 Nedbør- og luftkvalitet ved norske
Joranger, E. bakgrunnstasjoner i 1975. NILU. Teknisk notat nr. 13/77. 40 s.

- Schjoldager, J. 1973 Svovelforurensninger i luft og nedbør. Døgnmålinger 1973. NILU. Teknisk notat nr. 52/73. 79 s..
- Schjoldager, J. 1975 Svovelforurensninger i luft og nedbør ved norske bakgrunnsstasjoner. Døgnmålinger 1974. NILU. Teknisk notat nr. 9/75. 52 s..
- Semb, A. 1974 Luftforurensninger ved norske bakgrunnsstasjoner. SNSF-prosjektet. IR 2/74: 1-14.
- Skartveit, A., Førland, E. 1976 Ionesammensetning i nedbør fra Vest- og Sørlandet. SNSF-prosjektet. IR 16/74, 36 s..
- Skartveit, A., Meisingset, E., Wefring, I. 1976 Luft- og nedbørkjemiske data fra Vestlandet. Tilførsel og avrenning av løste stoffer i nedbørfeltet til Øvre Botnatjønn. SNSF-prosjektet. IR 20/76. 47 s..
- Skartveit, A. 1977a Luft-, nedbør- og vannkjemiske studier på Vestlandet i perioden juli 1975 - juni 1976. SNSF-prosjektet. TN 33/77. 52 s..
- Skartveit, A. 1977b Målinger av nedbørforurensninger omkring Mongstad. Rapport for første og andre kvartal 1977. Geofys. Inst. B, Univ. i Bergen. (Stensil), 14 s..
- Vollset, P. 1973 Rapport over målinger av luftforurensninger i Bergen 1969-1972. Bergen Helseråd. 17 s..

Appendiks: Nedbørhøyde og nedbørveide månedsmidler av konsentrasjonen av magnesium (Mg), antropogent sulfat (CSO₄) og sterk syre (ACID).

Nedbørhøyde	1973												1974											
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEPT	OKT	NOV	DES	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DES
03 Fønnes	60	255	239	114	113	158	64	185	157	212	284	308	154	178	16	20	44	57	217	216	339	50	177	279
04 Kolås	-	-	-	-	-	-	75	219	195	235	299	319	169	219	21	18	52	69	191	281	390	50	188	281
06 Hodneland	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	455	50	254	383
11 Sandebygda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
"Nordhordland" b)	-	-	-	-	-	-	70	202	176	224	282	310	153	197	16	18	45	58	207	246	383	50	199	297
Fitjar c)	105	224	172	112	125	90	57	127	101	178	307	223	154	143	28	8	49	85	153	153	434	38	184	290
(NILU-måler)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Skei c)	165	272	225	112	95	110	69	161	275	204	275	265	152	112	5	20	52	90	214	177	216	48	93	344

Mg (mg/l)	1973												1974											
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DES	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DES
03 Fønnes	221	78	112	86	71	80	106	118	496	184	194	287	132	131	53	172	69	115	98	39	51	123	152	64
04 Kolås	289	75	56	70	71	85	123	116	551	195	207	350	137	130	62	156	65	106	100	21	55	84	127	59
06 Hodneland	345	96	93124	123	90	118	118	627	206	260	443	179	193116	210	77	136	132	31	84	90	167	78	-	-
11 Sandebygda	208	106	99	66	70	75	109	113	474	178	205	266	111	125	44	168	69	99	92	28	44	113	135	58
"Nordhordland" b)	266	89	90	87	84	83	114	116	537	191	217	337	140	145	69	177	70	114	106	30	59	103	145	65
Fitjar c)	270	84	55	89	70	74	80	123	400	103	214	209	175	127	51	147	71	97	59	28	41	90	129	45
Skei c)	170	41	41	80	72	82	108	54	407	251	131	575	235	179152	142	41	110	103	75	126	61	181	58	

CSO ₄ (mg SO ₄ /l)	1973												1974												
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DES	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DES	
03 Fønnes	2.4	0.9	2.3	1.4	2.4	2.7	3.1	3.2	1.0	0.6	0.9	0.8	1.4	2.3	2.5	1.2	2.1	1.4	0.4	1.6	1.5	1.7	1.0	0.8	
04 Kolås a)	-	-	-	-	-	-	3.8	3.1	0.3	0.7	0.7	0.7	1.3	1.4	3.3	5.1	2.3	1.2	0.3	2.1	1.2	0.6	1.0	0.9	
06 Hodneland	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.4	1.4	0.6	0.5
11 Sandebygda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	0.4	1.6	1.4	2.5	1.0	2.7	1.9	0.4	1.2	1.6	x	1.3	0.5	
"Nordhordland" b)	-	-	-	-	-	-	3.5	3.2	0.7	0.7	0.7	0.7	1.4	1.7	2.8	2.4	2.4	1.5	0.4	1.6	1.4	1.2	1.0	0.7	
Fitjar c)	2.6	0.8	2.4	1.7	3.7	2.5	7.8	2.9	2.2	0.8	0.7	1.1	1.6	1.6	2.8	1.9	4.1	2.2	0.7	2.8	1.4	5.1	1.2	0.8	
Skei c)	0.4	0.8	1.6	0.5	1.7	0.6	3.9	2.0	0.4	0.4	0.5	1.0	1.0	1.072	632.8	1.9	1.1	0.4	0.9	0.7	0.5	0.8	0.3		

pH-verdi	1973												1974												
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DES	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DES	
03 Fønnes	4.92	5.04	4.87	5.29	4.65	4.63	4.51	4.60	4.69	4.76	4.55	4.61	4.24	3.95	3.80	4.86	4.04	4.19	4.41	4.11	4.434	4.554	4.664	4.90	
04 Kolås a)	-	-	-	-	-	-	4.39	4.42	4.48	4.65	4.21	4.61	4.42	4.13	3.98	4.02	3.99	4.35	4.76	4.55	4.864	4.784	4.604	4.92	
06 Hodneland	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.624	4.664	4.725	4.04
11 Sandebygda	4.68	4.18	4.39	4.84	4.45	4.82	4.68	4.70	4.63	4.30	4.46	5.18	4.95	4.50	4.71	4.58	4.09	4.36	4.60	4.594	4.914	4.404	4.574	4.64	
"Nordhordland" b)	-	-	-	-	-	-	4.45	4.51	4.59	4.71	4.53	4.51	4.34	4.12	4.02	4.71	4.41	4.18	4.53	4.39	4.634	4.664	4.665	4.03	
Fitjar c)	4.6	5.0	4.4	4.5	4.2	4.5	4.0	4.3	4.5	4.8	4.9	4.7	4.48	4.37	4.18	4.65	4.49	4.48	4.89	4.30	4.514	4.744	4.674	4.88	
Skei c)	5.3	5.1	4.8	5.6	4.7	5.3	4.3	4.6	5.2	5.1	5.4	5.9	5.7	5.2	3.3	3.5	4.8	5.1	5.2	4.8	5.0	5.4	5.2	5.4	

a) 05 Lindås 25.6.73 - 25.4.75, Kolås 25.4.75 - 31.12.76
 b) Aritmetisk middel for stasjon 03, 04, 06 og 11.
 c) Målinger foretatt av NILU.