

NILU OR : 40/92
REFERANSE : O-92004
DATO : JUNI 1992
ISBN : 82-425-0378-8

Beregning av disdannelse fra Norsk Hydro, Porsgrunn for 1985, 1988 og 1991

F. Gram og A. Semb

INNHold

	Side
SAMMENDRAG OG KONKLUSJON	2
1 INNLEDNING	6
2 UTSLIPP	7
3 BEREGNINGER	7
4 DISMÅLINGER	8
5 RESULTATER.....	11
5.1 Disdannelse i en typisk vintersituasjon	11
5.2 Disdannelse i sommersituasjon med land-sjøbris .	19
6 REFERANSER	21
VEDLEGG 1: Utslippstall fra Norsk Hydro for 1991. Enhet: kg/h	22

SAMMENDRAG OG KONKLUSJON

Utslippene fra Norsk Hydro, Porsgrunn Fabrikker av gassformige stoffer som svoveldioksid, klor, saltsyre, ammoniakk og salpetersyre samt faste partikler har alle stor betydning for dannelsen av synlig dis i Grenland. Utslippene av ammoniakk og klor, med stor andel fine partikler har størst betydning for disdannelsen.

Fra 1985 til 1988 har en nedgang i utslippene gitt en beregnet reduksjon i aerosolkonsentrasjonene på 35%, og for 1991 har videre reduksjoner av utslippene gitt en reduksjon på 61% i forhold til 1985. Disse tallene gjelder vintersituasjoner. I typiske sommersituasjoner med dis i sjøbrisfronten er reduksjonen ca. 50% fra 1985 til 1991.

Dette er i samsvar med resultater fra målingene av dis (b_{sp}) som NILU og SFT har utført i en årrekke. Beregningene fra 1988 viste at en halvering av NH_3 -utslippet vil resultere i 15% disreduksjon, mens en 50% reduksjon av både Cl_2 og NH_3 -utslippene ville gi en 40% reduksjon av disen i forhold til situasjon i 1988. Resten skyldes for en stor del utslipp av faste partikler fra ulike prosesser på Herøya. Begrensning av disse utslippene er derfor like viktig som begrensning av gass-utslippene. Nedgangen i utslippene har vært større for de gassformige stoffene enn for støvet, og dette gjør at den relative betydning av finstøv for disdannelsen er større nå enn tidligere.

Disdannelse skyldes små støv- eller aerosolpartikler som sprer lyset. I Grenland er det foruten utslipp av faste partikler, også utslipp av gasser som svoveldioksid (SO_2), saltsyre (HCl), salpetersyre (HNO_3), ammoniakk (NH_3) og klor (Cl_2) som alle har stor betydning for disdannelsen ved at det dannes ammoniumsalter (partikler). Dannelsen av ammoniumklorid (NH_4Cl) og ammoniumnitrat (NH_4NO_3) er bestemt av mengdeforholdene mellom ammoniakk, saltsyre og salpetersyre og forbindelsenes kjemiske stabilitet. Ved laboratorieforsøk er det funnet at reaksjonen

mellom SO_2 og Cl_2 er meget rask i nærvær av ammoniumsalt-aerosoler ved relativ luftfuktighet over 80%.

Disse resultatene er brukt til å lage en beregningsmodell for konsentrasjonen av de ulike ammoniumsaltene, og for den samlede aerosolkonsentrasjonen i røykfanen fra Herøya. Beregningsmodellen er brukt til å studere virkningen av utslippsendringer på aerosoldannelsen.

Beregninger er utført med utslippstall for 1985, 1988 og 1991. Det er også regnet med variasjon av NH_3 -utslippene for å se effekten på disdannelsen. Denne rapporten omhandler i første rekke beregningene for 1991-utslippene. For beregningsmetodikken etc. henvises til NILU OR 6/90. I dette sammendraget tas det allikevel med endel av hovedresultatene fra NILU OR 6/90.

Resultatene viser at for en typisk vintersituasjon med disdannelse er aerosolvolumet redusert med ca. 35%, og sikten tilsvarende forbedret fra 1985 til 1988. Beregningene for en sommersituasjon med stagnerende vindforhold og en sjøbrisfront viser en noe mindre reduksjon (ca. 25%). Målingene av den spesifikke lysspredningskoeffisienten $b_{s,p}$ som SFT og NILU har utført i en årrekke, viser for perioden en gjennomsnittlig reduksjon på ca. 50% for vinterhalvåret og ca. 20% for sommerhalvåret. Det er imidlertid klart at varierende meteorologiske forhold fra år til år kan være en vesentlig faktor når det gjelder endringene i måleresultatene. De målte $b_{s,p}$ -verdiene er også påvirket av langtransporterte forurensninger og av andre utslipp i området, blant annet sot og støv fra veitrafikk.

Beregningene viste videre at ammoniakk- og klorutslippene har størst betydning for aerosoldannelsen både sommer og vinter. En ensidig reduksjon av ammoniakktutslippene ville imidlertid øke konsentrasjonen av svovelsyre-aerosoler og gassformig saltsyre og salpetersyre i luften. Virkningen av utslippsendringer er også avhengig av måten utslippene spres og blandes på. Samtidige utslippsreduksjoner på 25-50% av klor og ammoniakk ble funnet å kunne endre aerosolkonsentrasjonen og lysspredningen i

dissituasjoner med opp til 20-30%. Det ble antatt at en slik endring kunne oppleves som en bedring av luftkvaliteten.

Tilsvarende reduksjoner av HCl-utslippet ga imidlertid små endringer i dismengden.

Direkte støvutslipp fra ulike deler av bedriften bidro med nesten 50% av den beregnede siktreduksjonen i vintersituasjonene, og med noe mindre i dissituasjoner om sommeren. Det er særlig utslipp av små partikler (diameter under 0,002 mm = 2 μ m) som er av betydning, og en halvering av dette finstøvutslippet ville resultere i 20% reduksjon av dismengden. Kalsinatorene (Mg40) sto for over halvparten av dette utslippet.

Disdannelsen kan være svært følsom overfor endringer i de geografiske lokaliseringene av utslippene eller i utslippsforholdene. I beregningsmodellen beregnes aerosolmengden ut fra konsentrasjonene av de enkelte gassene i hvert punkt. Konsentrasjonsfeltet er sammensatt av en rekke enkeltbidrag, og kan være meget komplisert, som vist i figurene 2 og 3. En liten forskyvning av en kilde kan føre til bedre overlapping av to konsentrasjonsfelt i en del av feltet, og dette kan forskyve aerosolsammensetningen i denne delen. Tilsvarende kan en forskyvning føre til at to røykfaner ikke lenger føres sammen og danner dis.

Det er også regnet på fotokjemiske reaksjoner som initieres av klor-utslippene, og beregningene viser reduksjon av dannelsen både av PAN og ozon som følge av utslippsreduksjoner fra 1985 til 1988. På grunn av ytterligere utslippsreduksjoner, er potensialet for oksidantdannelse ytterligere redusert etter 1988.

Vinylklorid-monomer (VCM) som også slippes ut fra Herøya, reagerer relativt langsomt med klor og med hydroksylradikaler. Dette utslippet påvirker ikke dannelsen av synlig dis.

De fotokjemiske reaksjonene gir økt konsentrasjon av OH-radikaler som oksiderer NO_2 til HNO_3 . Dette gir et mindre bidrag til dannelse av NH_4NO_3 og dis i sommersituasjonen.

I vinterdissituasjonen er oksidasjon av NO_2 til HNO_3 uten betydning.

Ut fra de forutsetninger som er gitt, er reduksjonen av disdannelse som følge av utslippene fra Herøya i 1991 beregnet til 61%, i forhold til situasjonen i 1985. Denne beregningen gjelder vinter-dissituasjonen. For sommersituasjonen med land-sjøbris viser beregningene en reduksjon på ca. 50%.

BEREGNING AV DISDANNELSE FRA NORSK HYDRO, PORSGRUNN FOR 1985, 1988 OG 1991

1 INNLEDNING

De mange ulike utslippene i Grenlandsområdet gir muligheter for fotokjemiske og andre reaksjoner i atmosfæren, som blant annet kan føre til disdannelse under ugunstige spredningsforhold. En undersøkelse foretatt i 1982-84 (Hov, 1984; Semb, 1984) viste at dis- og aerosoldannelsen i stor utstrekning var begrenset av ammoniakkutslippene fra Norsk Hydro, men at også utslippene av klor (Cl_2) hadde stor betydning for aerosoldannelsen og for fotokjemiske reaksjoner i utslippene fra Herøya.

I forbindelse med Miljøverndepartementets tiltakspakke for Grenland ønsket Norsk Hydro i 1989 beregninger med bakgrunn i utslippssituasjonen i 1985 og i 1988. Forutsetningen var at disse beregningene skulle gjennomføres på samme måte som ved undersøkelsen i 1984, som var basert på utslippstall fra 1980.

Resultatene av beregningene er beskrevet i NILU OR 6/90 (Gram, Knudsen og Semb, 1990). Norsk Hydro har foretatt ytterligere utslippsreduksjoner ved endel av anleggene og ønsket nye beregninger av disforholdene i Grenland på grunnlag av utslippstall for 1991. I denne rapporten beskrives resultatene av beregningene for 1991-utslipp sammen med tilsvarende tall for 1985 og 1988. Når det gjelder selve beregningsmodellen og bakgrunnen for denne henvises det til NILU OR 6/90.

2 UTSLIPP

Tabell 1 gir de samlede utslippene fra Norsk Hydro som er benyttet i beregningene. Disse er knyttet til en lang rekke enkeltutslipp. I tillegg er data for temperatur, gassmengder, skorsteinshøyde og beliggenhet brukt i spredningsberegningene. Vedlegg 1 viser utslippene fra hver enkelt kilde for 1991.

Tabell 1: Samlet utslipp fra Hydro, Porsgrunn 1985, 1988 og 1991.

Stoff Enhet År	SO ₂ kg S/h	NO+NO ₂ kg N/h	Cl ₂ kg Cl/h	HCl kg Cl/h	NH ₃ /NH ₄ kg N/h	HNO ₃ kg N/h	Støv < 2 µm kg/h	Støv > 2 µm kg/h
1985	32	80	37	12,5	32	4,5	48	71
1988	10	49	17	13,6	36	3,9	38	42
1991	28	73	10,2	11,4	23,8	2,7	19	36

Utslippstallene representerer årsmiddelverdier. De fleste er produksjonsavhengige, og vil på timesbasis kunne variere med ±50%. Totaltallene viser en nedgang for de fleste komponentene, for SO₂ og NO_x en økning i forhold til 1988.

Det er også regnet på dissitasjonen for forskjellige utslipp av NH₃ fra F61.

3 BEREGNINGER

For å beregne utslippenes virkninger på disdannelsen er det tatt utgangspunkt i to typer situasjoner med ugunstige spredningsforhold og disdannelse. Om vinteren forekommer slik disdannelse oftest ved svak vind ut over Frierfjorden mot Ås og Heistad, mens det om sommeren observeres disdannelse i forbindelse med stagnerende vind i sjøbrisfronten over Herøya ved

11-tiden på formiddagen. Begge disse situasjonene er typiske for området. Frekvensen vil imidlertid variere fra år til år.

Beregningene er basert på data for utslippstall og utslippsbetingelser som dels er stilt til rådighet fra Norsk Hydro, dels samlet inn fra andre kilder. Resultatene er direkte avhengige av utslippstallene.

Beregningene viser også at den fysiske blandingen av de ulike enkeltutslippene har stor betydning for disdannelsen. Denne blandingen er simulert på en måte som er mest mulig representativ for de "typiske" spredningssituasjonene for vinter og sommer. Andre vindretninger og situasjoner vil kunne gi andre resultater med hensyn til de ulike komponentenes bidrag til disdannelsen, men den valgte situasjonen antas likevel å være representativ for et flertall av dissituasjoner.

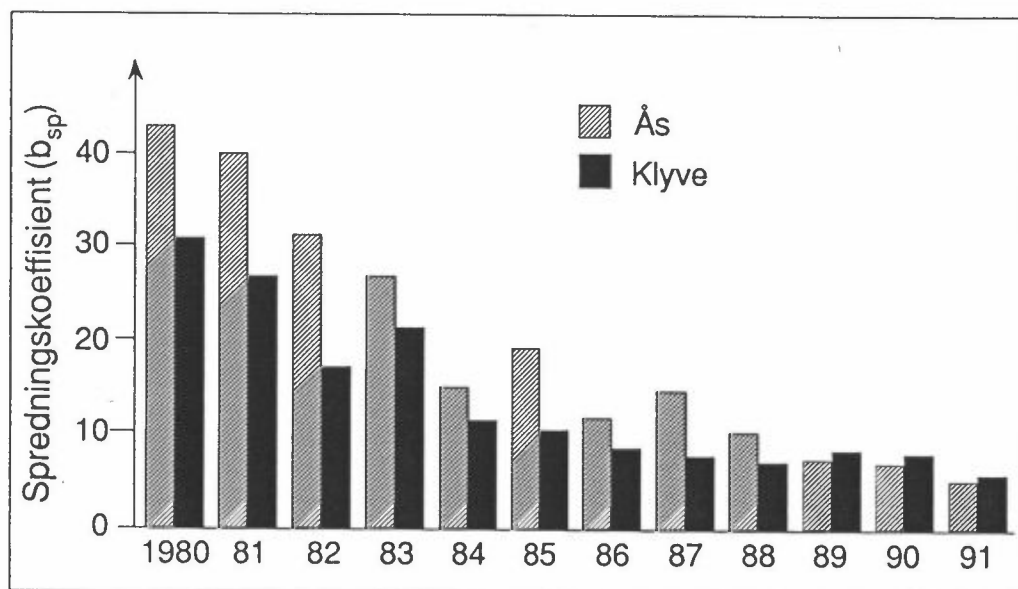
I tidligere rapporter (Semb, 1984; Hov, 1984) er det gjort utførlig rede for beregningsmetodene. Disse er ikke endret prinsipielt, men på grunn av mer detaljerte utslippstall har det vært nødvendig å endre de numeriske beregningsmodellene noe. Beskrivelsen av grunnlaget for beregningene er imidlertid den samme som i de ovenfor nevnte rapportene.

Med de begrensningene som ligger i forutsetningene mener vi en har kommet fram til et beregningsverktøy som på en tilfredsstillende måte kan benyttes til å studere virkningen av endringer i utslippene på aerosoldannelsen.

4 DISMÅLINGER

Et mål for disdannelse er spredningskoeffisienten b_{sp} , som angis med enheten (m^{-1}). Ved en $b_{sp} = 10^{-5} m^{-1}$, kan vi se dette som at en andel 1/100 000 av lyset spres ut til sidene av småpartikler for hver meter lysvei. Figur 1 viser resultater fra dismålinger som Statens forurensningstilsyn har utført i

samarbeid med NILU i en årrekke. I vintersesongen har måleinstrumentet stått på målestasjonen Ås, ca. 4 km sør-sørøst (SSØ) for Herøya, mens det i sommersesongen er flyttet til Klyve, ca. 3,5 km nord-nordvest (NNV) for Herøya. Siden høsten 1989 har det vært foretatt dismålinger både på Ås og Klyve.



Figur 1: Dismålinger i Grenland 1980-1991. Kilde: SFT.
Enhet: 10^{-5} m^{-1} .

Figuren viser en sterk nedgang i diskonsentrasjonen fra 1980 til 1984, og videre en reduksjon fra 1985 på 50% for vintersesongen 1988 og 20% for sommerhalvåret 1987.

Tabell 2 viser middelerverdier for dismålingene på Ås og Klyve. Tabellen viser også middelerverdier for de timene det har blåst i retning 330 (NNV) og 150 (SSØ), dvs. fra Herøya mot henholdsvis Ås og Klyve, og for vindstille. Det har vært en reduksjon for Ås på over 60% fra vinteren 84/85 til vinteren 87/88, og enda større når det gjelder verdiene for sektor 330. For Klyve har verdiene hele tiden vært lavere, og en kan ikke se noen slik reduksjon utover den normale variasjon i spredningsforholdene.

Tabell 2: Målinger av spredningskoeffisienten $b_{s,p}$ på Ås og Klyve 1984-88.
Enhet: 10^{-5} m^{-1} .

Periode	Ås			Klyve		
	Middel	Retning 330 150	Stille	Middel	Retn. 150	Stille
Des 84/feb 85	29	54	26	31		
Apr 85/sep 85				10	16	16
Des 85/feb 86	14	32	12	18		
Mai-sep 86				8	12	10
Des 86/feb 87	15	22	15	43		
Apr-sep 87				8	10	17
Des 87/feb 88	9	10	13	8		
Apr-sep 88				8	13	15
Jan-mar 88	10	16	14	28	6	15
Apr-jun 88	12	12	14	11	7	10

I tolkningen av disse resultatene er det viktig å være oppmerksom på at de målte $b_{s,p}$ -verdiene også er påvirket av luftens innhold av partikler som skriver seg fra andre kilder enn Herøya. Særlig gjelder dette lokale utslipp av partikler, som for eksempel sotpartikler fra biltrafikken, støv fra piggdekkslitasje, og lignende. Utslipp av sementstøv fra Norcem i Brevik er vurdert å være av mindre betydning. Et annet bidrag til lysspredningen er langtransporterte forurensninger. Målinger på Birkenes viser et innhold av sulfat i luft tilsvarende $3,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ som årsmiddel i 1987 og 1988. Dette svarer igjen for en $b_{s,p}$ -verdi på $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-1}$. Tatt i betraktning at partiklene i langtransporterte forurensninger også inneholder sot, flyveaske og andre stoffer, er det realistisk å anta at det reelle bidraget fra langtransporterte forurensninger til $b_{s,p}$ er mellom 2 og $4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ som årsgjennomsnitt. I episoder kan sulfatinnholdet gå opp til over $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tilsvarende en $b_{s,p}$ på ca. $10 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ under tørre forhold. Aerosolvolumet, og $b_{s,p}$, øker sterkt ved luftfuktighet over 70-80% r.h., og allerede ved 85% r.h. vil verdiene for $b_{s,p}$ med de her oppgitte konsentrasjonsverdiene for sulfat, være tredoblet.

Ut fra dette skyldes en vesentlig del av de målte middelverdiene av $b_{s,p}$ på Klyve andre kilder enn utslippene på Herøya. Dette medfører at en ikke kan vente reduksjoner av disse middelverdiene som direkte svarer til utslippsreduksjonene. Det samme gjelder måleresultatene fra Ås, fra og med 1988.

Etter Koschmieders formel (Middleton, 1952) vil sikten i horisontal retning være

$$V = 3,9/b_{s,p}$$

Der V er den avstanden der en svart gjenstand såvidt er synlig mot horisonten. Også for gjenstander som er nærmere iakttageren enn V vil kontrasten være merkbart redusert, men siden sikt-reduksjonen også er begrenset av de fysiske dimensjonene av disen, vil beregnede verdier av V over 20-50 km i praksis bety liten eller ubetydelig synlig dis.

5 RESULTATER

5.1 DISDANNELSE I EN TYPISK VINTERSITUASJON

Som mål på disdannelsen i vintersituasjonen er det brukt aerosolvolumet ved 85% relativ fuktighet og 5°C. Ammoniumsaltene som dannes tar opp vann ved en relativ fuktighet over ca. 70%, og dette øker disdannelsen. Høy luftfuktighet og svak vind er typisk for dissituasjonene om vinteren.

For detaljer i beregningsmodellen og bakgrunnen for denne henvises det til NILU OR 6/90.

Beregningene er utført for punkter i et vertikalsnitt med 50 m ruter i nett på 15x51 punkter i forskjellig avstand fra kildeområdet. Det er regnet med vind 1,5 m/s fra nord, og spredningsklasse lett stabilt. I beregningene regnes det først ut konsentrasjonene av gasser og partikler, gassene reagerer med

hverandre og det dannes en aerosolblanding av partikler og ammoniumsalter.

Ut fra konsentrasjonene av de respektive ammoniumsaltene beregnes det tilsvarende aerosolvolumet i nl/m^3 ($\text{nl} = \text{nanoliter} = 10^{-9}$ liter), idet det tas hensyn til vannopptaket ved 85% R.H.

For å kunne sammenligne disvirkningene av de enkelte utslippene, er det videre nødvendig å ta hensyn til den effektive lysspredningen for partikler med ulik størrelse.

Etter dette kan den optiske lysspredningskoeffisienten b_{sp} beregnes etter

$$b_{sp} = b_{sp}(\text{ren luft}) + (0,5 \cdot V_{\text{aerosol}} + 0,25 \cdot C_{\text{fint stov}} + 0,05 \cdot C_{\text{grovt stov}}) \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-1},$$

der V_{aerosol} er aerosolvolumet i nl/m^3 og C støvkonsentrasjoner i $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Som bakgrunnsverdi $b_{sp, \text{ren luft}}$ er valgt

$$1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-1}$$

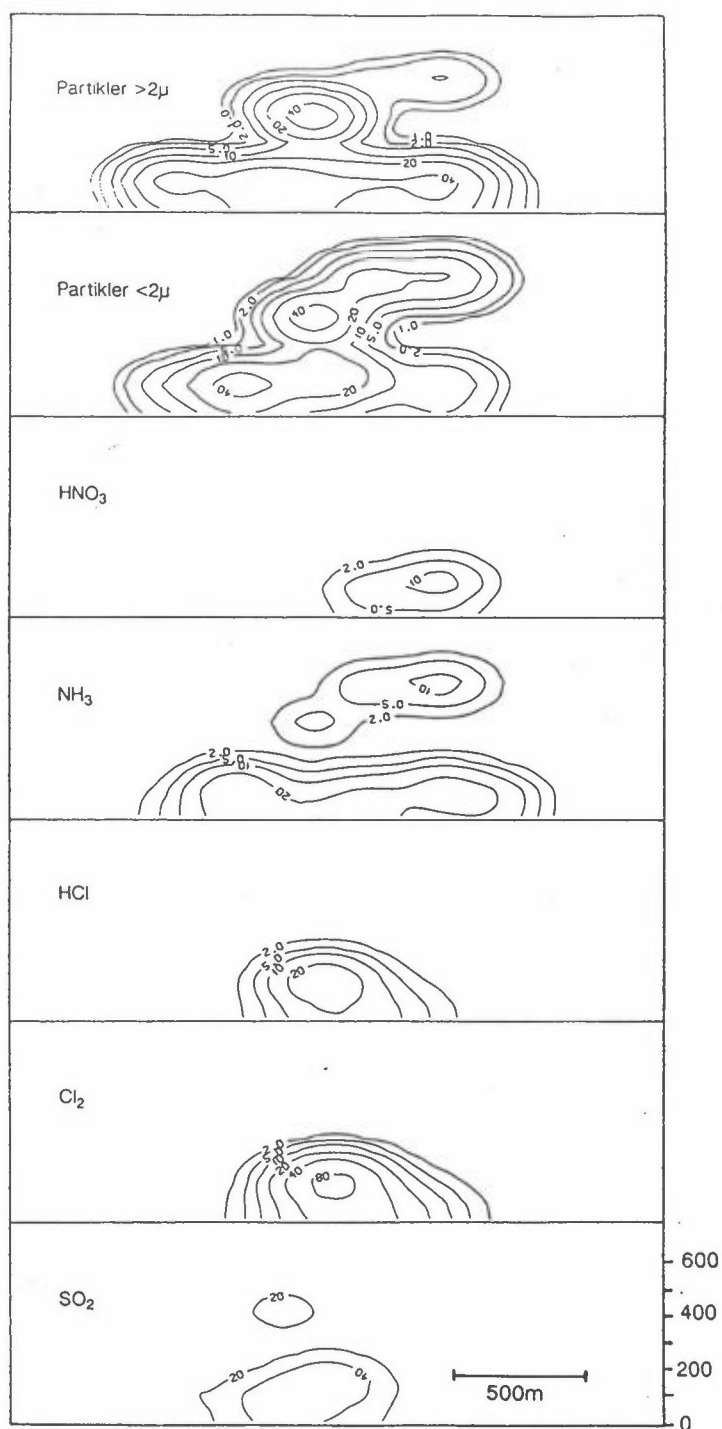
Beregningene gir tallverdier for punkter i et nett. Summen av tallverdiene gir et mål for mengden av forurensninger i vertikalsnittet, og er benyttet ved sammenlikning av forskjellige situasjoner.

Figur 2, 3 og 4 viser konsentrasjonene av SO_2 , Cl_2 , HCl , NH_3 , HNO_3 samt fint og grovt støv (partikler mindre og større enn $2 \mu\text{m}$) i et vertikalsnitt på $2500 \times 750 \text{ m}$, 2 km syd for Herøya, sett sydover, for henholdsvis 1985, 1988 og 1991. Figurene viser et sammensatt og komplisert konsentrasjonsfelt, som et resultat av kildenes beliggenhet innen Herøya-området. En del av utslippene fanges opp av bygningsturbulensen og gir høye konsentrasjoner nær bakken, mens de høye kildene får røykløft

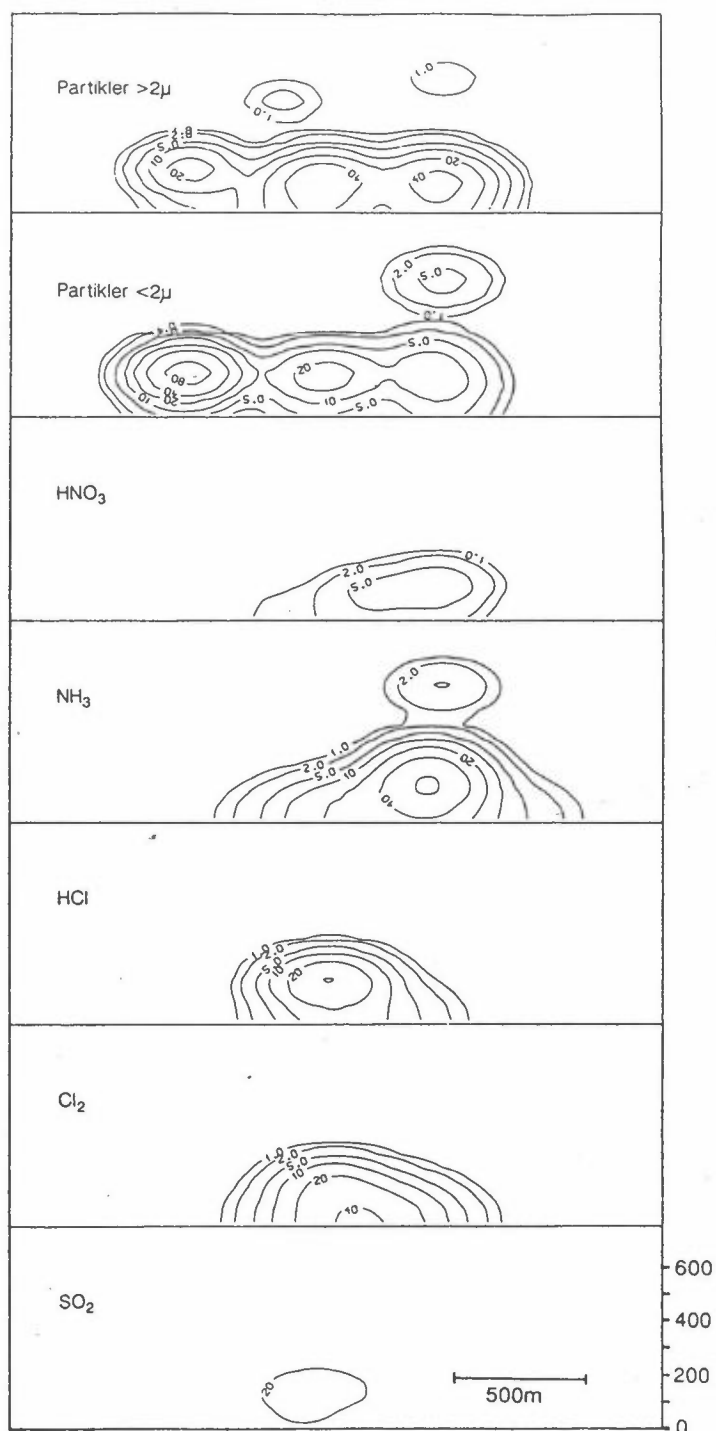
og gir maksimumskonsentrasjoner i 200-500 m høyde. Støvutslippet er fordelt over hele området, med både høye og lave kilder, likeledes NH_3 -utslippet. For de andre stoffene er utslippene mer samlet innen et mindre område. Tabell 3 viser mengden av aerosolkomponentene i varierende avstand fra Herøya-området. Tabellen viser sammen med de tilsvarende datautskrifter hvorledes røykfanene brer seg utover og med dem området med dis. Økningen i aerosolmengde med avstanden skyldes at de ulike utslippene må blandes fysisk for at Cl_2 skal reagere med SO_2 og for at HCl , HNO_3 og NH_3 skal danne NH_4Cl og NH_4NO_3 . Maksimumsverdiene avtar imidlertid med avstanden. På grunn av nedgangen i utslippet av SO_2 og Cl_2 har det skjedd en forskyvning i aerosolsammensetningen fra sure sulfater til ammoniumklorid. I tillegg til aerosolkomponentene har en restkonsentrasjoner av HCl og HNO_3 , men disse har mindre betydning for disdannelsen. De er imidlertid fortsatt reaktive gasser som kan gi miljøvirkninger i omgivelsene.

Tabell 4 viser aerosolvolumet av de ulike aerosolkomponentene gjennom et vertikalsnitt 2 km syd for Herøya for 1985, 1988 og 1991, samt ved en variasjon av NH_3 -utslippet fra F61.

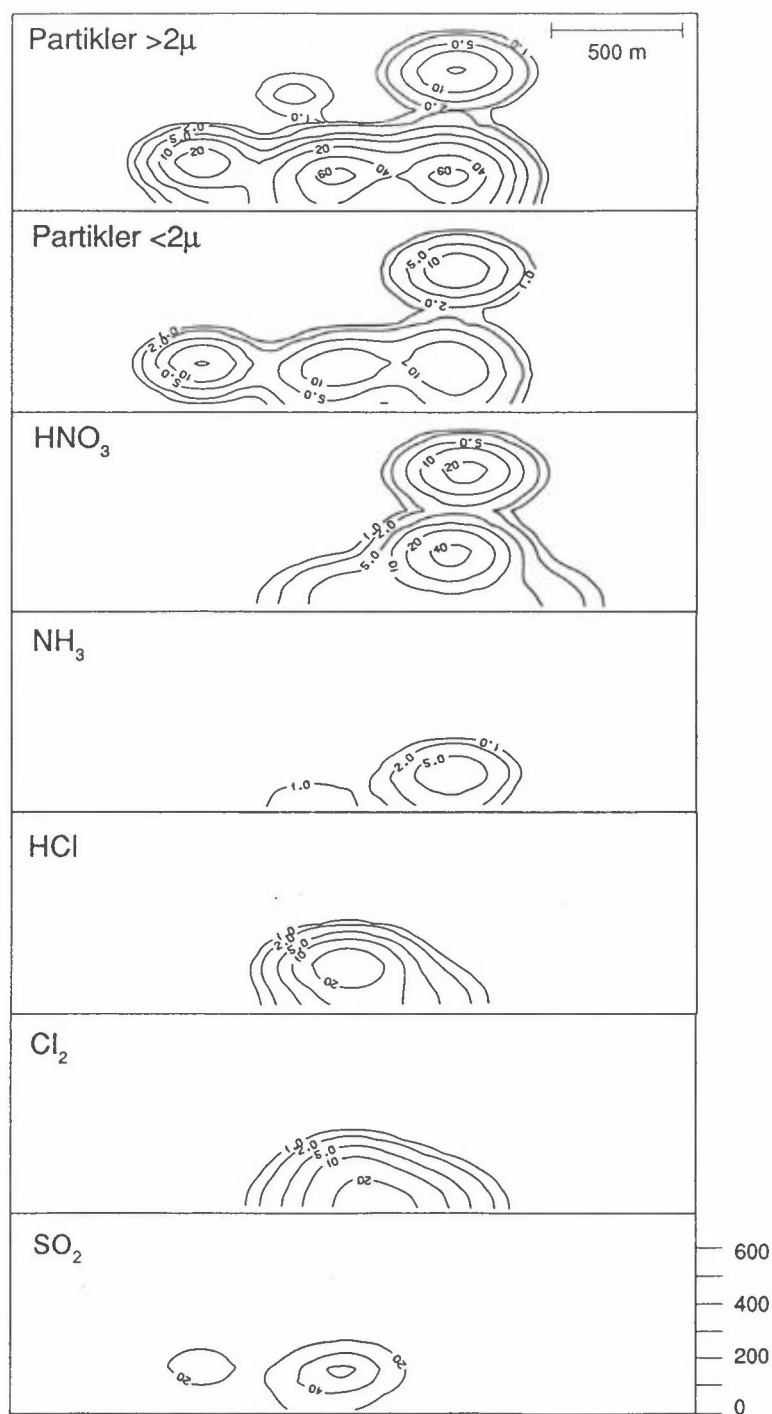
For hver beregningsrute passerer det en luftmengde på $50 \times 50 \times 1,5 \text{ m}^3/\text{s} = 3750 \text{ m}^3/\text{s}$. Nitrat, klorid-, og sulfataerosolene representerer et spredningstverrsnitt på $0,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{nl}$, og dette gir derfor grunnlag for å beregne bidraget til en fluks av optisk spredningstverrsnitt. I tillegg får en bidrag fra de små og store partiklene, hvor det er regnet med en tetthet på 2 g/cm^3 og et spredningstverrsnitt på henholdsvis $0,5 \times 10^{-5}$ og $0,1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{nl}$. Dette gir en fluks av optisk spredningstverrsnitt som er vist i de siste kolonnene i tabell 4. Denne gir et mål for mengden dis som dannes og kan benyttes til å vurdere disdannelsen ved forskjellige utslippsalternativer.



Figur 2: Konsentrasjoner 2 km syd for Herøya. Vintersituasjon 1985.
 Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figur 3: Konsentrasjoner 2 km syd for Herøya. Vintersituasjon 1988.
 Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figur 4: Konsentrasjoner 2 km syd for Herøya. Vintersituasjon 1991.
 Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabell 3: Aerosolkomponenter, sum for konsentrasjonsfeltene i forskjellig avstand fra Herøya. Utslipp 1985, 1988 og 1991.

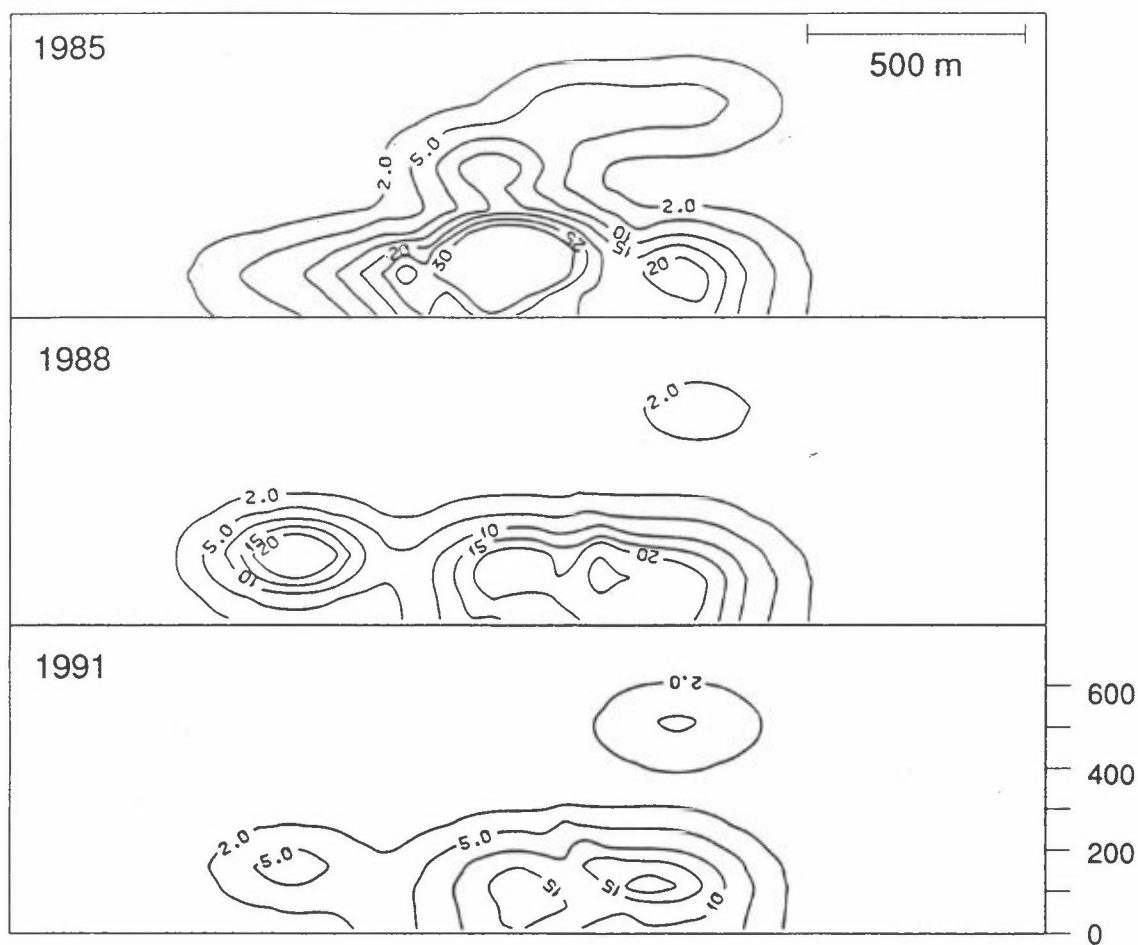
Avst.	H ₂ SO ₄ μmol/m ³	NH ₄ HSO ₄ μmol/m ³	(NH ₄) ₂ SO ₄ μmol/m ³	NH ₄ Cl μmol/m ³	NH ₄ NO ₃ μmol/m ³
1985					
0 km	33,2	5,7	13,9	16,5	18,3
1 km	28,7	15,0	19,6	13,9	16,0
2 km	22,7	24,3	23,6	18,5	14,2
3 km	16,8	32,3	26,9	22,6	12,5
1988					
0 km	7,0	2,9	9,3	17,5	17,7
1 km	4,0	5,8	16,2	23,9	17,4
2 km	2,1	8,5	20,3	28,4	17,6
3 km	1,0	9,9	23,5	34,0	17,6
1988					
0 km	5,9	4,5	3,6	3,5	11,6
1 km	3,4	10,0	6,0	3,9	10,7
2 km	2,1	13,0	7,7	8,0	10,0
3 km	1,0	13,3	10,0	12,0	9,9

Tabell 4: Aerosolvolumer og optisk fluks 2 km. syd for Herøya, for 1991 med varierende utslipp fra F61.
1991: 11,4 kg NH₃-N/h, NH₃+ : 20 kg/h, NH₃- : 5 kg/h.

	H ₂ SO ₄ nl/m ³	NH ₄ HSO ₄ nl/m ³	(NH ₄) ₂ SO ₄ nl/m ³	NH ₄ Cl nl/m ³	NH ₄ NO ₃ nl/m ³	Sum nl/m ³	Optisk fluks		
							aeros. m ² /s	støv m ² /s	sum m ² /s
1985	905	875	756	457	276	3270	61,3	44,7	106,0
1988	85	304	649	701	342	2082	39,0	32,9	71,9
1991	83	469	249	197	194	1191	22,3	19,1	41,4
NH ₃ +	71	449	275	254	205	1255	23,5	20,5	44,0
NH ₃ -	98	489	218	133	175	1113	20,9	18,1	39,0

De tre første linjene i tabellen viser beregningsresultater for utslippet i 1985, 1988 og 1991. Fra 1985 til 1988 har utslippsendringen resultert i en reduksjon i dismengden på 32%, fra 1985 til 1991 videre 65%.

Figur 5 viser beregnede b_{sp} -verdier for henholdsvis 1985-, 1988- og 1991-utslippene. Figuren gir et visuelt bilde av hvordan utslippsreduksjonen ved Hydro Porsgrunn virker på disdannelsen.



Figur 5: Beregnede verdier for den optiske lysspredningskoeffisienten b_{sp} 2 km syd for Herøya for 1985, 1988 og 1991.
Enhet: 10^{-5} m^{-1} .

Ved ensidig reduksjon av NH_3 -utslippet forskyves aerosolsammensetningen mot svovelsyre og sulfater, og det vil i tillegg bli

igjen gassformig saltsyre og salpetersyre. H_2SO_4 og NH_4HSO_4 er mer hygroskopiske enn de andre saltene, og gir større aerosolvolum.

Det er også beregnet effekten av endring av alle NH_3 -utslippene fra Hydro Porsgrunn. Samlet utslipp i 1991 var på 23,8 kg NH_3 /h, og alle utslippene av NH_3 og NH_4^+ i form av ammoniakk-salter er skalert opp eller ned. Resultatet er vist i tabell 5, og bekrefter konklusjonene fra tabell 4.

I dagens situasjon vil altså selv relativt store endringer av NH_3 -utslippene ha beskjeden virkning på disdannelsen.

Tabell 5: Disdannelse ved variasjon av NH_3 -utslippene fra Hydro Porsgrunn.

Sum NH_3 kg/h	Sum b_{sp} $10^{-5}/m$
4	17,6
8	18,0
12	18,2
15	18,3
23,8	18,7
30	18,9
40	19,4

5.2 DISDANNELSE I SOMMERSITUASJON MED LAND-SJØBRIS

I sommersituasjoner med land-sjøbris opptrer ugunstige spredningsforhold omkring Herøya gjerne i godværssituasjoner med solgangsvind. Særlig midt på dagen, når vinden "snur" inntreffer en periode med ustabil vind i sjøbrisfrontene, og høyere konsentrasjoner av forureningen ellers. Virkningene av klor i utslippet vil i slike situasjoner bli noe annerledes enn i en typisk vintersituasjon med dis. Klor (Cl_2) spaltes av sollys og dannere Cl-radikaler, som igjen reagerer med hydrokarboner og gir HCl og et hydrokarbon-radikal. Hov (1984) viste at dette

kunne gi betydelig dannelse av ozon og peroxyacetylnitrat (PAN) i sjøbrisfronten over Herøya-Klyve, men det vesentligste bidraget til disdannelsen vil være omdannelsen av Cl_2 til HCl . Samtidig vil det foregå en oksidasjon av NO til NO_2 og av NO_2 til HNO_3 .

Hov benyttet en egen boksmodell til å simulere spredningen og den fotokjemiske omdannelsen. Siden reaksjonene også omfatter hydrokarboner og nitrogenoksider, var det nødvendig også å ta med i beregningene også utslipp utenfor Herøya-området.

I NILU OR 6/90 (Gram et al., 1990), er det foretatt beregninger også av fotokjemiske oksidanter med Hovs modell. Disse beregningene viser en reduksjon av den fotokjemiske aktiviteten med vel 30%, på grunn av reduksjonen av utslipp av aktivt klor fra 1985 til 1988, fra 37 til 17 kg/time. Reduksjonen til et utslipp på 10,2 kg/h i 1991 har derfor ført til en videre reduksjon av den fotokjemiske aktiviteten, men dette er også avhengig av utslippene av reaktive hydrokarboner og nitrogenoksider fra biltrafikken i Grenlandsområdet.

Aerosol- og disdannelsen i sommersituasjonene vil vesentlig være styrt av utslippene av ammoniakk, klor og saltsyre, HNO_3 og støvutslippene, særlig av partikler mindre enn 2 μm . Beregningene av aerosolvolum, og lysspredningstverrsnitt, vil ikke bli vesentlig forskjellig fra tilsvarende beregning i en vinterdissituasjon, bortsett fra at det ikke vil skje noen vesentlig oksidasjon av SO_2 til svovelsyre og sulfat.

Beregningene av aerosoldannelsen i NILU OR 6/90 viste en reduksjon av aerosolvolumet på 20-30% fra 1985 til 1988, vesentlig på grunn av mindre utslipp av aktivt klor. Imidlertid viste beregningene også at disdannelsen er klart avhengig av hvordan utslippene fra ulike deler av anleggene på Herøya blander seg i en aktuell situasjon. Dette er ikke så godt beskrevet i boksmodellen som i den spredningsmodellen som er brukt til å beskrive vinterdissituasjonen i foregående kapittel. Dette, og det forhold at utslippssituasjonene også

har endret seg utenfor Herøya-området, gjør at en ikke har funnet det riktig å gjøre en detaljert beregning av disdannelsen om sommeren. En ekstrapolering av tidligere beregninger viser imidlertid at reduksjonen i aerosolvolum er av størrelsesorden 50% også for sommerdisdissituasjonen. Tabell 6 viser beregnede konsentrasjoner og tilsvarende b_{sp} -verdier av forskjellig luftfuktighet.

Tabell 6: Beregnede gjennomsnittskonsentrasjoner av ulike aerosolkomponenter, og tilsvarende spredningskoeffesienter i sjøbrisfronten under en sommerbrissituasjon. Sammenligning av utslippsituasjonen i 1985, 1988 og 1991.

	1985	1988	1991
NH_4Cl (nanomol/m ³)	603	530	417
NH_4NO_3 (nanomol/m ³)	796	498	322
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (nanomol/m ³)	40	23	20
-sum aerosolvolum av ammoniumsalter v 90% r.h. (nanol/m ³)	240	202	132
støv, fint (nanol/m ³)	40	30	16
grovt støv (nanol/m ³)	60	34	30
b_{sp} v. 90% r.h.	$143 \cdot 10^{-5} \text{m}^{-1}$	$117 \cdot 10^{-5} \text{m}^{-1}$	$77 \cdot 10^{-5}$
b_{sp} v. 85% r.h.	$118 \cdot 10^{-5} \text{m}^{-1}$	$88 \cdot 10^{-5} \text{m}^{-1}$	$62 \cdot 10^{-5}$
b_{sp} v. 70% r.h.	$69 \cdot 10^{-5} \text{m}^{-1}$	$50 \cdot 10^{-5} \text{m}^{-1}$	$33 \cdot 10^{-5}$

6 REFERANSER

Gram, F., Grønskei, K.E., Horntveth, K., Hov, Ø., Isaksen, I.S.A. og Schjoldager, J. (1980) Fotokjemiske oksydanter i Grenland, modellberegninger. Lillestrøm (NILU OR 1/80).

Gram, F., Knudsen, S. og Semb, A. (1990) Disdannende utslipp fra Hydro Porsgrunn 1985-1988. Lillestrøm (NILU OR 6/90).

Hov, Ø. (1984) Fotokjemiske oksydanter i nedre Telemark. Virkninger av klor. Lillestrøm (NILU OR 52/83).

Semb, A. (1984) Disdannelse i Grenland. Lillestrøm (NILU OR 51/84).

VEDLEGG 1

Utslippstall fra Norsk Hydro for 1991

Enhet: kg/h.

Start	Ikke "standard" stoffer										
N,	8,S02,CL2,HCL,NH3/4,N03,STØV,FINST,GROVST										
DISBEREGNINGER	PORSGRUNN FABRIKKER										
50,	Rutestørrelse										
0,0,	Nullpunkt for rutenettet										
0,	Nord-retning i grader										
2,1,	Utslipp i kg/h, temp i C										
(A10,8F6.2,I3,F6.1,I2,16X,7(F6.1,I2))											
DA 1	0.97 0.53 38.0 30.0 10.0 10.0	0.1	1.6								
F 1	0.64 0.73 59.0 1.5 20.0 10.0			1.3							
F 15	0.40 1.13 53.0 0.4 15.0 10.0										
F 17	0.38 1.12 50.0 1.6 40.0 16.0										
F 19	0.38 1.08 83.0 1.3 20.0 20.0			3.7							
F 2	0.64 0.72 62.0 1.5 40.0 13.0										
F 26	0.75 1.08 50.0 0.7 40.0 18.0										
F 27	0.37 1.09 83.0 20.0 30.0 22.0										
F 29	0.37 1.08 82.0 0.7 20.0 14.0										
F 33	0.38 1.11 53.0 1.8 40.0 10.0										
F 50	0.71 0.71 42.0 0.3 10.0 12.0										
F 61	0.42 1.06 115.0 4.2 30.0 20.0	2									
F 61	0.42 1.06 115.0 4.2 30.0 20.0	3									
F 61	0.42 1.06 115.0 4.2 30.0 20.0	4									
F 62	0.42 1.06 115.0 1.0 50.0 17.0										
F 63	0.45 1.11 70.0 0.6 35.0 21.0										
F 64	0.43 1.10 63.0 0.3 60.0 8.0										
F 65	0.44 1.08 70.0 2.2 40.0 7.0										
F 66	0.45 1.12 70.0 0.3 20.0 4.0										
F 67	0.46 1.09 30.0 0.2 30.0 19.0										
F 70	0.43 1.07 114.0 0.4 25.0 10.0										
F 71	0.45 1.10 70.0 0.6 60.0 16.0										
Hj 1	0.18 0.77 35.0 0.3 10.0 16.0										
Kr 1	0.81 0.63 43.0 0.8 15.0 6.0										
KS-Bas	0.92 0.55 35.0 0.8 8.0 7.0										
KS-Sur	0.92 0.56 35.0 0.7 8.0 4.0										
KS 7	0.83 0.59 63.0 2.2 30.0 13.0										
KS 8	0.79 0.61 63.0 2.2 30.0 13.0										
MY 6	1.21 0.77 20.0 0.3 15.0 16.0										
NH3F	0.86 1.38 20.0 50.0 20.0	0.7	11.9								
N03F	0.92 0.66 100.0 3.0 20.0 18.0		19.2	17.4							

