

NILU
OPPDRAGSRAPPORT NR 4 /79
REFERANSE: 22477
DATO: JANUAR 1979

VURDERING AV LUFTFORURENSNINGEN
I HØYANGER ETTER BYGGING AV
NYTT ALUMINIUMSVERK

AV

K.E. GRØNSKEI, B. LAMB OG B. SIVERTSEN

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM
NORGE

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
SAMMENDRAG	5
1 INNLEDNING	9
2 TOPOGRAFI - FABRIKKENS BELIGGENHET	10
3 BESKRIVELSE AV UTSLIPPSALTERNATIVENE	13
4 SPREDNINGSFORHOLDENE	16
5 VURDERING AV FRAMTIDIGE KONSENTRASJONER AV LUFTFORURENSNINGER I HØYANGER	18
5.1 Bakgrunn for vurderingene	18
5.2 Timesmiddelkonsentrasjoner av SO ₂ og F beregnet fra spredningsforsøk med SF ₆	20
5.3 Vurdering av forurensningskonsentrasjonene i Høyanger ved SFTs forslag til rådgivende normer for luftkvalitet	26
6 REFERANSER	33
 VEDLEGG A: BESKRIVELSE AV LUFTKVALITETS- KRITERIER OG RÅDGIVENDE GRENSE- VERDIER	 35

SAMMENDRAG

Utbygging og modernisering av aluminiumverket i Høyanger er planlagt i to trinn. Ved første utbyggingstrinn vil en beholde den eksisterende elektrolysehalla C og bygge en ny hall A. I 2.trinn vil en rive hall C for å bygge en ny hall B på samme sted. Ved den fullt utbygde fabrikk foreligger det tre alternative krav til utslipp. Alternativene 1-3 er sammenlignet med utslippene før ombyggingen (utslipp 1975-76) i tabellen nedenfor. Tabellen angir også mulige utslipp ved første utbyggingstrinn (alt. 4 og alt. 5). Ved alternativ 5 forutsettes rensing av hallgassene fra hall C. Utslipet av rensed ovngass vil flyttes fra røykkanalen i fjellsiden til 4-6 skorsteiner plassert på fabrikkområdet.

Tabell Utslippsalternativer ved bygging av aluminiumsverk i Høyanger.

Alternativ	Produksj. (tAl/time)	Utslipp			
		Fluor (kg F/tAl)	Svovel (kg SO ₂ /tAl)	Støv (kg/tAl)	Tjære (kg/tAl)
Utslipp i 1975/76	3.2	3.4	12.6	10.3	2.8
Alt 1(full modernisering)	8.8	0.5	5.6	1.8	
Alt 2(" " ")	8.8	0.71	6.2	2.0	
Alt 3(" " ")	8.8	1.00	6.6	2.2	
Alt 4(hall C i drift uten hallgassrensing)	6.6	1.6	8.5	5.0	0.8
Alt 5(hall C i drift med hallgassrensing)	6.6	0.9	7.0	3.5	0.15

Det er utført undersøkelser av spredningsforholdene for å klarlegge virkningen av utbyggingen på den fremtidige luftkvaliteten i Høyanger. Registreringer viste at de bebygde områdene nord for fabrikk i Høyanger er mest belastet av forurensninger fra verket i sommerhalvåret. Variabiliteten i vinden er sterk, og gir ofte en god spredning av forurensningene. Vind ut fjorden om natten og inn fjorden om dagen forekommer regelmessig i sommerhalvåret. Virkningene av disse lokale vindforholdene på spredningen

av forurensninger i området er registrert og vurdert.

Økning av pipehøydene hvor rensset ovnsgass slippes ut, vil redusere bidraget fra pipeutslippet særlig når det gjelder maksimale timesverdier nær fabrikken. Betydningen av å øke utslippshøyden for rengassen er imidlertid begrenset. Ved sporstoffundersøkelsene ble det selv ved en utslippshøyde på 70 m observert nedslag bak hall C. De kortvarige maksimal-konsentrasjonene ble imidlertid redusert betydelig ved å øke utslippshøyden fra 40 til 70 m.

Ut fra vurderingen av turbulensen omkring bygningene vil en anbefale at den fysiske skorsteinshøyden er minst 1.5 ganger høyden av siloene eller dobbelt så høy som midlere bygningshøyde, og at hastighet og temperatur i utslippet velges slik at avgassene ikke trekkes ned i turbulensområdet rundt bygningene på fabrikken. Utslippstemperaturen bør ikke være kaldere enn midlere døgnlige maksimumstemperatur i sommermånedene (18°C).

Fra et forurensningsmessig synspunkt vil en sannsynligvis ikke oppnå bedringer av betydning ved å bygge de planlagte skorsteiner på andre deler av fabrikkområdet ved så lave utslippshøyder.

På dette grunnlaget har en kommet fram til følgende virkning på luftkvaliteten av forskjellige utslippsalternativer:

Fluor

- etter ombyggingen vil fluorkonsentrasjonene bli mindre i hele området når en ser bort fra økningen på selve fabrikkområdet, og en svak økning i området opp mot idrettsplassen ved utslippsalternativ 4.
- opptaket i beitegress på Håland vil reduseres med ca 25% ved utslippsalternativ 4, 60% ved utslippsalternativ 5.
- ved full utbygging vil utslippsalternativene 2 og 3 medføre middelkonsentrasjoner som ligger mellom verdiene ved første utbyggingstrinn med eller uten hallgassrensing (alternativ 4 og 5).

- ved utslippsalternativ 1 vil verdiene være vel 15% lavere enn om en krever hallgassrensning ved første utbyggingstrinn (alt. 5).
- SFT's forslag til normer for vannløselige fluorider som er satt ut fra hensynet til skader på flora og fauna, kan overskrides i en del av området mellom fabrikk og Håland, sannsynligvis også etter gjennomføringen av strenge krav til utslippene etter moderniseringen.
- Forslag til luftkvalitets-standarder som foreligger for halvårsmiddelverdier og døgnverdier vil sannsynligvis overskrides på fabrikkområdet og i den nærmeste omegnen ved første utbyggingstrinn uten hallgassrensning (alt. 4). Ved full utbygging og modernisering vil overskridelser sannsynligvis ikke forekomme ved utslippsalternativ 2.

Svoveldioksyd (SO₂)

- SO₂-konsentrasjonen nær fabrikkområdet vil øke betydelig ved modernisering av verket.
- overskridelser av SFT's forslag til standarder for halvårsmiddelverdier (60 µg SO₂/m³) vil sannsynligvis forekomme nær fabrikkområdet ved første utbyggingstrinn uten hallgassrensning (alt. 4).
- Normen for døgnmiddelkonsentrasjonen (200 µg SO₂/m³) vil sannsynligvis ikke overskrides. Normen for timesmiddelkonsentrasjoner vil sannsynligvis overskrides dersom den effektive utslippshøyden av rengassen er for lav.

VURDERING AV LUFTFORURENSNINGEN
I HØYANGER ETTER BYGGING AV
NYTT ALUMINIUMSVERK

1 INNLEDNING

A/S Årdal og Sunndal Verk har fra Stortingets side fått tillatelse til modernisering av Høyanger Verk. Hovedtrekkene i planene for moderniseringen er utarbeidet, og Norsk Institutt for Luftforskning (NILU) er engasjert til å foreta undersøkelser som gir grunnlag for tilnærmet beregning av de bakkekonsentrasjoner som kan forventes i ulike soner når utslippsmengde og utslippshøyde varierer.

På bakgrunn av eksisterende data ved årsskiftet 1977/78 ble det utarbeidet en foreløpig vurdering av luftforurensningen i Høyanger etter bygging av nytt aluminiumsverk (1). Denne rapporten er en videreføring av dette arbeidet.

Til grunnlag for dette arbeidet har en hatt:

- Oppgaver over eksisterende og fremtidige utslippsmengder og utslippsforhold (2), (3) og (4).
- Registrering av spredningsforholdene i Høyanger i perioden oktober 1977 - november 1978 (5).
- Undersøkelser av spredningsforholdene i utvalgte episoder ved hjelp av sporstoff og sonder (6) og (7).
- Resultatet av spredningsberegninger som bygger på metoder foreslått i referanse (8) og (9). Metodene er kontrollert og tilpasset forholdene i Høyanger ved hjelp av resultatene fra sporstoffundersøkelsene og ved registreringen av spredningsforholdene, samt SO₂-målinger nær fabrikkområdet i perioden 3.5 - 12.7.1978. Spredningsberegningene er nærmere beskrevet i et teknisk notat (10).

Det er lagt vekt på å fremstille resultatene slik at den fremtidige luftkvaliteten kan vurderes i relasjon til SFTs rådgivende normer. En oppsummering av normene er gitt i vedlegg A.

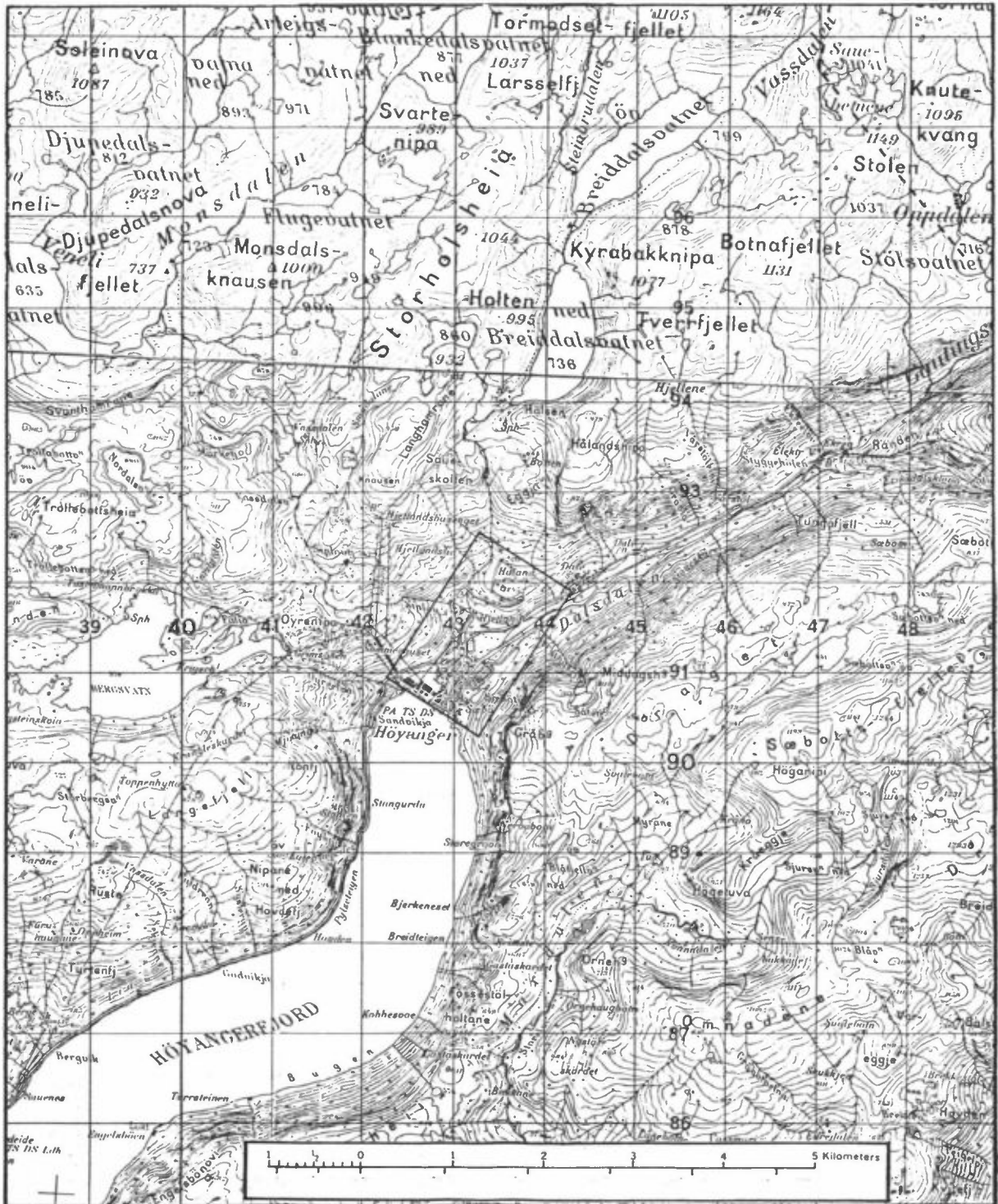
2 TOPOGRAFI - FABRIKKENS BELIGGENHET

Figur 2.1 viser topografien i området omkring Høyanger. Figur 2.2 viser den gamle fabrikken med lokalisering av røykkanalen samt beliggenheten av den planlagte fabrikken.

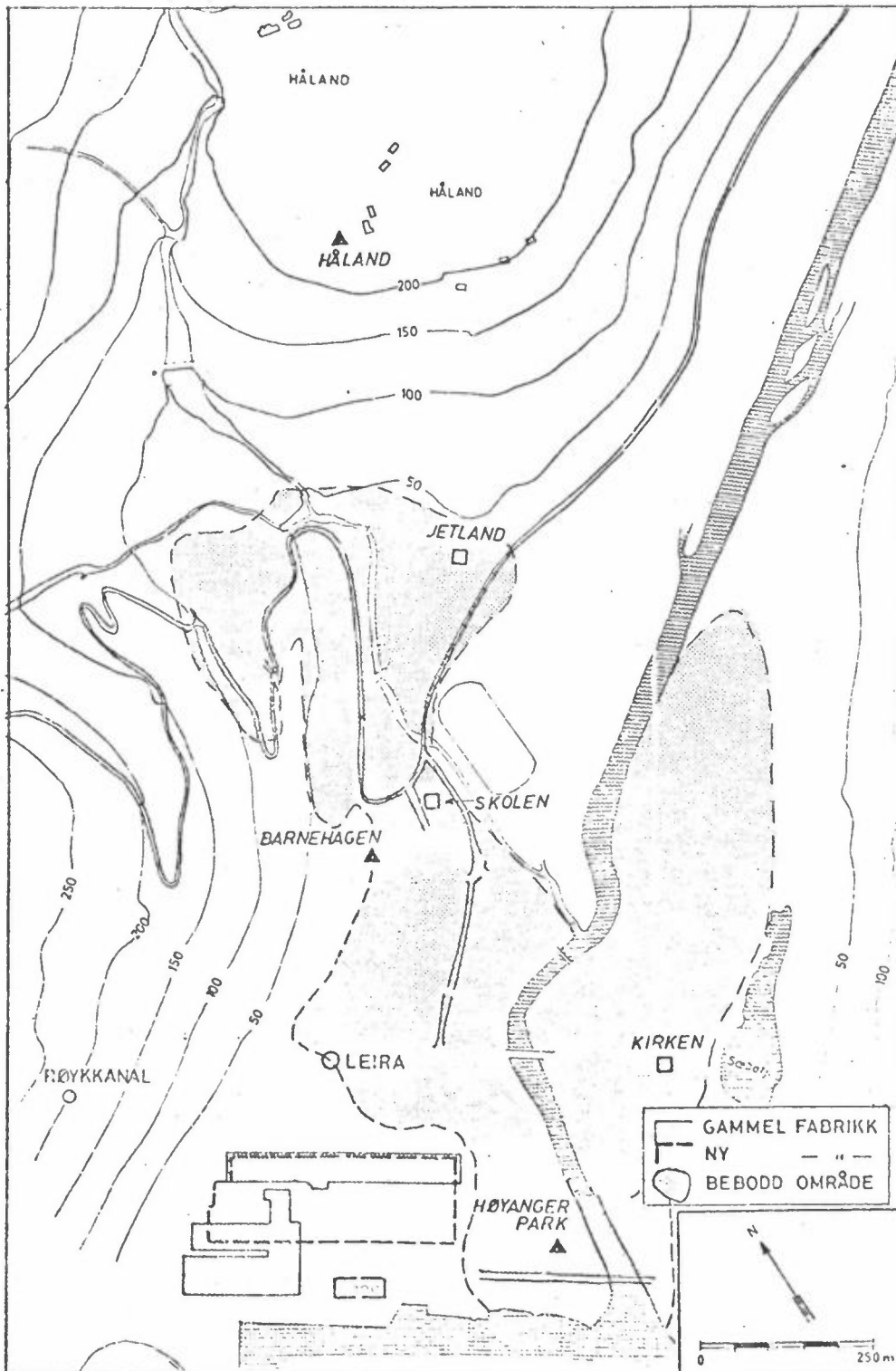
Tettstedet Høyanger (fig. 2.1) med vel 5000 innbyggere ligger i nordenden av Høyangerfjorden. Fjelltoppene når jevnt over 500-700 m i vest og 1000-1200 m i øst. Dalsidenes typiske stigningskoeffisient varierer mellom 1:2 og 1:1. Ytre delen av Høyangerfjorden går mot nordøst fra den øst-vest-rettede Sognefjorden. Indre del av Høyangerfjorden har en retning fra sør mot nord og Dalsdalen strekker seg ca 5 km mot nordøst fra tettstedet Høyanger. Dalsdalen ender i Gautesdalskleivene og Eriksdalen som stiger brattere opp mot fjellområdene. Denne kompliserte topografien er av vesentlig betydning for spredningsforholdene, og det er vanskelig å bruke erfaringer fra andre steder ved spredningsberegningene.

Dreiningen av dalføret ved tettstedet Høyanger har en krumningsradius på ca 1 km. Nordøst for tettstedet ligger gårdsbruket Håland på en "hylle" i fjellsiden ca 200 m over havet.

HÖYANGER



Figur 2.1: Høyanger. Topografi og tettsted.
Omriss av detalj-kartet i figur 2.2 er angitt.



Figur 2.2: Lokalisering av gammel og ny fabrikk. Målestasjoner for spredningsforholdene (▲). Tidligere målestasjoner for SO₂ (□). SO₂-målinger i perioden 3.mai-12.juli (○). : Planlagt plassering av skorsteiner.

3 BESKRIVELSE AV UTSLIPPSALTERNATIVENE

Byggingen av nytt aluminiumsverk i Høyanger er planlagt i to trinn:

1. trinn: Ny hall A med produksjon	38.000 t/år
Bibehold av nåværende hall C med produksjon	<u>20.000 t/år</u>
Sum produksjon	<u>58.000 t/år</u>

2. trinn: Riving hall C

Bygging av ny hall B som i prod. og størrelse er lik hall A.

Etter at trinn 2 er gjennomført:

Hall A med produksjon	38.000 t/år
Hall B med produksjon	<u>38.000 t/år</u>
Sum produksjon	<u>76.000 t/år</u>

NILU har fått i oppgave å vurdere tre alternative krav (alt. 1-3) til utslippet fra det ombygde og moderniserte verket. Ved første utbyggingstrinn er det gitt to alternative utslippsmengder til luft (alt. 4-5). Ved alternativ 4 er det forutsatt at hall C drives som i dag. SFT har videre ønsket en utredning av alternativ 5 hvor en forutsetter hallgassrensing.

Utslippsmengdene er gitt i tabell 3.1 som utslipp av forurensninger pr. tonn produsert aluminium. Tabellen angir også produksjonen angitt i tonn Al/time.

Tabell 3.1: Utslippsalternativer ved bygging av nytt aluminiumsverk i Høyanger.

Alternativ	Produksjon Aluminium (tAl/h)	Utslipp			
		Fluor (kg F/tAl)	Svovel (kg SO ₂ /tAl)	Støv (kg/tAl)	Tjære (kg/tAl)
Utslipp i 1975/76	3.2	3.4	12.6	10.3	2.8
Alt 1 (full modernisering)	8.8	0.5	5.6	1.8	
Alt 2 " "	8.8	0.71	6.2	2.0	
Alt 3 " "	8.8	1.0	6.6	2.2	
Alt 4 (hall C i drift uten hallgassrensing)	6.6	1.6	8.5	5.0	0.8
Alt 5 (hall C i drift med hallgassrensing)	6.6	0.9	7.0	3.5	0.15

Ved det gamle verket skjedde utslippet av hallgassene gjennom lanterniner i taket. Utslippet av rensed ovnsgass (rengass) skjedde gjennom en røykkanal som munnet ut i fjellsiden ca 200 m over havet (se figur 2.2). Ca 17 % av det samlede fluorutslippet og 80% av det samlede SO₂-utslippet slippes idag ut gjennom røykkanaler i fjellsiden.

Ved full modernisering har en fortsatt planer om å sende hallgassen ut gjennom taket, mens rengassen vil slippes ut gjennom 4-6 skorsteiner på fabrikkområdet (vist i figur 2.2).

Det totale fluorutslippet og SO₂-utslippet gjennom hallene og pipene ved de forskjellige alternativene er vist i tabell 3.2.

Tabell 3.2: Total fluor og SO₂ -utslipp ved forskjellige alternativer.

Alternativ	Aluminium produksjon t/h	F total			SO ₂		
		haller kg/h	piper kg/h	totalt kg/h	haller kg/h	piper kg/h	totalt kg/h
1975-76	3.2	9.2	1.7*	10.9	8	32*	40
1	8.8	2.0	1.6	4.4	21	28	49
2	8.8	4.2	2.0	6.2	26	28	54
3	8.8	6.3	2.4	8.7	30	28	58
4	6.6	8.9	1.6	10.5	26	30	56
5	6.6	2.4	3.1	5.5	15	32	47

* I dag slippes rengassen ut gjennom røykkanalen i fjellsiden ca 200 m over fjorden.

Utslippsvilkårene ved hvert av de planlagte alternativene er delt i tre kategorier:

- a) Ingen spesielle vilkår: Hallgass i lanternine og rengass (ovngass) i korte skorsteiner over renseanleggene.
- b) Middels vilkår: Hallgass i lanternine og rengass i høye skorsteiner
- c) Strenge vilkår: Hallgass og rengass i skorsteiner.

Temperaturen i takgassutslippet vil være 13°C varmere enn uteluften om sommeren, 25°C varmere enn uteluften om vinteren. Utslipppet gjennom lanterninene i hall C er ca 18°C varmere enn uteluften (3). Røykgasshevingen er empirisk bestemt under dagens forhold. På grunn av høyere temperatur i hallgassene og andre utslippsforhold i lanterninene, vil røykgasshevingen over de nye hallene sansynligvis være mer effektiv enn over den eksisterende C-hallen.

Ca 30% av det samlede fluorutslippet og ca 50% av det samlede SO_2 -utslippet vil etter moderniseringen slippes ut gjennom 4-6 skorsteiner på fabrikkområdet.

Temperaturen i rengassen som slippes ut gjennom skorsteinene (13°C) vil ofte være lavere enn utetemperaturen om sommeren. En kan derfor ikke regne med røykheving av disse avgassene etter utslippet.

Ved utbygging i to trinn endres det totale fluoridutslippet ubetydelig ved 1. utbyggingstrinn, mens det avtar med ca 31% ved 2. utbyggingstrinn. Totalt fluorutslipp pr tonn produsert aluminium reduseres med henholdsvis 53% og 74%. SO_2 -utslippene øker totalt med 40% og 52%, mens utslippet pr tonn produsert aluminium avtar med 34% og 45%. Det totale støvutslippet øker ved 1. utbyggingstrinn med 5%, ved 2. utbyggingstrinn avtar utslippet med 33% sett i forhold til utslippet i 1976.

Vurderingene av luftkvaliteten er basert på konsentrasjoner av svoveldioksyd og fluorider i bakkenivå. Fluorutslippet består dels av gasser dels av partikler. En betydelig del av det gassformede utslippet består av hydrogenfluorid (HF) (11) og regnes for den mest giftige delen av utslippet.

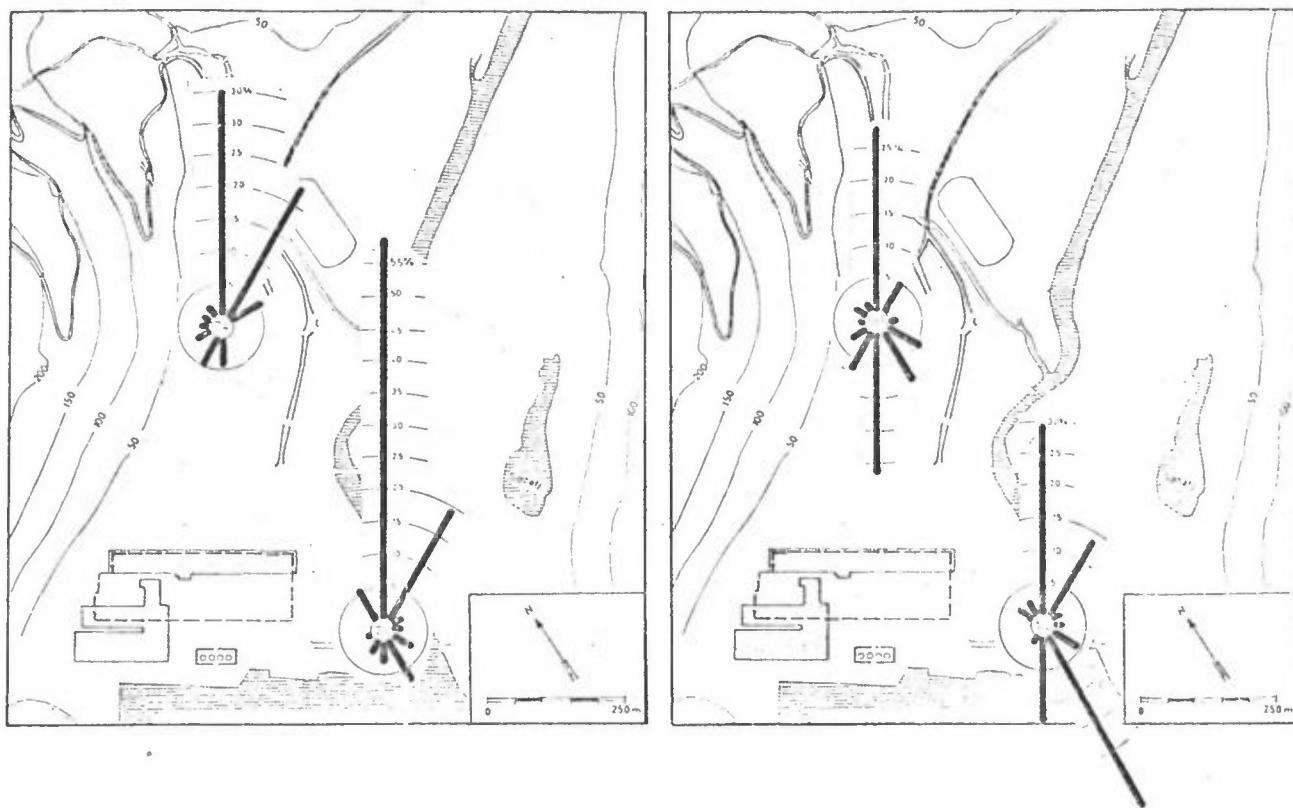
4 SPREDNINGSFORHOLDENE

Resultatet av målingene som er utført viser at spredningsforholdene i Høyanger er bestemt av lokale vindsystemer som avhenger av topografien og fjorden (5). Vindforholdene om vinteren og om sommeren er vist i figuren 4.1.

Om vinteren blåser det ut fjorden i 60-70% av tiden. Den midlere vindstyrke er ca 2 m/s som f.eks. i Oslo. Vindhastigheten er derfor mye lavere enn lenger ut mot kysten. Den midlere vindstyrken er høyere (3-4 m/s) når det blåser langs hovedvindretningene (langs dalen), mindre (1 m/s) når det blåser på tvers av dalen. Om sommeren blåser det inn fjorden nesten om dagen (80-90% av tiden), og ut fjorden nesten bestandig om natten.

Vindretning og vindhastighet varierer betydelig mer med tiden (fra minutt til minutt) enn andre steder hvor NILU har utført systematiske vindmålinger. Dette fører til rask uttynning av forurensningsutslipp. Vindfluktuasjonene forårsakes av de bratte fjellssidene og sannsynligvis av bygningene på fabrikkområdet.

På den andre siden representerer fjellssidene hindringer for spredningen. I enkelte vær-situasjoner reduseres vertikalutvekslingen i atmosfæren ved sterk stabil temperatursjiktning (inversjon) og forurensninger som slippes ut i dalen akkumulerer i dalføret. Situasjonene er ofte karakterisert av lav og vekslende vind som sprer forurensningene ut over dalføret, mens utvekslingen vertikalt er sterkt hemmet.



Figur 4.1: Vindrose fra Høyanger i perioden a) 1.12.77 - 28.2.78, b) 1.6.78 - 31.8.78. Frekvensen av vind i prosent fra de enkelte 30-graders sektorer er avsatt som søyler fra sentrumsringen omkring stasjonen. I sentrumsringen er stillefrekvensen avsatt i prosent.

Det er dis i dalen under disse forholdene, dels på grunn av forurensningene, dels på grunn av vanndamp fra fjorden og fra fabrikken. Om sommeren dominereres bidraget av vanndamp fra fjorden og andre naturlige kilder. Forurensningsutslippet fører til at dis dannes ved noe lavere relativ fuktighet enn ellers.

5 VURDERING AV FRAMTIDIGE KONSENTRASJONER AV LUFTFORURENSNINGER I HØYANGER

5.1 Bakgrunn for vurderingene

Under dagens utslippsforhold ser en i fjellsiden nord for fabrikken merkbare skader på vegetasjonen på grunn av fluorutslippet. I vekstsesongen får beitegraset et så stort fluorinnhold at det vil gi skader på husdyr i de mest utsatte områdene, f.eks. Håland. SO₂-målingene som er utført i området viser lave verdier.

Ved ombygging av verket reduseres totalutslippet av fluor, mens utslippet av SO₂ øker. Rengassutslippet flyttes dessuten fra sjaktutløpet i fjellsiden til 4-6 skorsteiner plassert på fabrikkområdet. For å forutsi endringer i konsentrasjoner av forurensninger må det anvendes spredningsmodeller. Beregnete konsentrasjoner må videre sammenlignes med de forslag til normer for luftkvalitet som foreligger fra Statens Forurensningstilsyn (SFT).

Spredningsforholdene er undersøkt ved hjelp av sporstoff/svovelheksafluorid (SF₆) i utvalgte episoder i mai og juni 1978. Ved utslippet av sporstoff tok en sikte på å simulere forurensningsutslippet fra det planlagte verket. Registrering av SF₆-konsentrasjonen er benyttet til å estimere fluor- og SO₂-konsentrasjoner ved de samme spredningsforholdene som under forsøkene.

De meteorologiske målingene ble benyttet til å angi blandingsforholdene i samsvar med en simularitetsteori som forsøksvis ble anvendt i Høyanger (8), (9). Ut fra vindmålinger og samtidig foto av røyken over hallene ble en empirisk formel for røykgasshevningen i området tilpasset dagens forhold.

Beregningene av røykgasshevningen og spredningen ble kontrollert ved målingene av SF₆-konsentrasjonene.

Beregningsmetodene som var kontrollert ved SF₆-målingene underestimerte konsentrasjonene nær fabrikken.

Avviket mellom beregnet og observert frekvensfordeling skyldes tilførsel av SO₂ fra andre steder, og kompliserte luftsirkulasjoner i dalen som ikke er tatt med i beregningsmetodene (f.eks. sjø/landbris som forekom hyppig i måleperioden). Avviket i frekvensfordelingene ble benyttet til å korrigere estimatene av fremtidige luftkonsentrasjoner for disse effektene. Korreksjonen ble satt proporsjonal med endringene i totalutslippet. Totalutslippet av SO₂ i måleperioden ble gitt som sammen av utslippet fra hallene og halvparten av sjaktutslippet. Korreksjonen i langtidsmiddelkonsentrasjonen ble gitt samme verdi i hele beregningsområdet.

5.2 Timesmiddelkonsentrasjoner av SO₂ og F beregnet fra spredningsforsøk med SF₆

Det ble i mai-juni 1978 gjennomført tolv spredningsforsøk med bruk av svovelheksafluorid (SF₆) som sporstoff. Hensikten med disse forsøkene var å undersøke transporten og spredningen av luftforurensninger fra hallene og fra skorsteiner under forskjellige meteorologiske forhold. De vanligst forekommende meteorologiske situasjonene og særlig ugunstige spredningsforhold var representert. Detaljerte resultater fra disse forsøkene er presentert i egen rapport (6).

Utslippene fra hallene ble simulert ved utslipp av SF₆ fra tre punkter bak lanterninen på hall C. Utslipp fra skorsteiner ble simulert i to forsøk med utslipp av SF₆ fra 40 og 70 m over bakken.

De målte konsentrasjonsfordelingene av SF₆ i og omkring Høyanger er anvendt direkte til å estimere konsentrasjonene av svoveldioksyd (SO₂) og total fluor (F), for alternative utslipp av SO₂ og F.

En har her anvendt en såkalt proporsjonalitetsmodell, som forutsetter at utslippene av SF₆ slippes ut på samme måte som forurensningene, at forurensningene transporteres og spres på samme måte som SF₆ og at de ikke utsettes for reaksjoner eller andre utfellingsmekanismer under transporten. Reaksjoner under transporten kan være et problem særlig når det gjelder fluor. De estimerte konsentrasjonene som er presentert kan derfor i enkelte tilfeller representere overestimat på store avstander fra utslippene.

Resultatene av slike beregninger er oppsummert i tabell 5.1, som presenterer maksimale 15-minutts-midlete konsentrasjoner for tilfeller med vind innover dalen. Maksimumskonsentrasjonene ble som regel observert i nærområdet bak hall C. For forsøkene nr. 4-9 angir fluor og SO₂-konsentrasjonene bare resultatet av hallutslippene. I forsøkene 10 og 12 er de angitte konsentrasjonene bare resultat av skorsteinsutslippet. Forsøk 11 angir nivået forårsaket av forurensninger sluppet i landbrisen om morgenen og returnert med sj brisen en time eller to senere.

Tabell 5.1: Estimat av maksimum total fluor ($C_F(max)$)- og SO₂-konsentrasjoner ($C_{SO_2}(max)$) fra observerte maksimumkonsentrasjoner av SF₆ ($C_{SF_6}(max)$).

Forsøk nr.	Utslipp	C _{SF₆} (max) µg/m ³	C _F (max)						C _{SO₂} (max)					
			Utslippsalternativer av fluor						Utslippsalternativer av SO ₂					
			1975-76	1	2	3	4	5	1975-76	1	2	3	4	5
4	Hall C	5.1	20	6	9	14	19	5	17	45	59	64	62	32
5	Hall C	7.6	30	9	14	21	29	8	26	68	87	97	93	49
6	Hall C	10.0	27	8	8	19	26	7	23	61	79	87	85	44
7	Hall C	2.0	8	2	3	5	8	2	7	19	22	25	24	12
8	Hall C	2.8	11	3	5	8	11	3	10	25	32	35	34	18
9	Hall C	27.3	68	22	30	46	66	19	60	156	199	224	216	112
10	40 m skorst.	31.4	-	28	38	44	28	57	-	521	521	521	559	593
11	I landsbasis	2.4	9	3	4	6	9	2	8	21	27	30	29	15
12	70 m skorst.	5.9	-	5	7	8	5	11	-	98	98	98	105	112

For fluorutslipp fra hallene forekommer de høyeste konsentrasjonene ved utslippsalternativ 4. I det verste tilfellet, forsøk nr. 9, er den maksimale 15-min.-midlete fluorkonsentrasjonen estimert til $66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ca 200 m nord for hall C.

For SO_2 -utslipp fra hallene er også forsøk nr. 9 det som gir høyest bakkekonsentrasjon, nemlig $224 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for utslippsalternativ 3. Skorsteinsutslippet fra en skorstein som ikke er høyere enn 40 m, gir for alle utslippsalternativene over dobbelt så høy konsentrasjon rett bak fabrikkområdet. En 70 m høy skorstein vil redusere maksimumkonsentrasjonen av SO_2 til $112 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for det verste utslippsalternativ som for SO_2 -konsentrasjonens vedkommende er alternativ 5.

En tabell tilsvarende tabell 1 kan utarbeides for konsentrasjoner på Håland (se ref 6). Den høyeste konsentrasjonen av fluor på Håland som resultat av hallutslippet vil forekomme i forsøk nr. 9 for utslippsalternativ 4. Konsentrasjonen er i dette tilfellet estimert til $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Forholdet mellom konsentrasjonene ved de forskjellige utslippsalternativene er som gitt i tabell 1. Den høyeste SO_2 -konsentrasjonen på Håland er estimert til $98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for forsøk nr. 12, utslippsalternativ 5. I forsøk nr. 9 og for utslippsalternativ 3 finner vi den nest-høyeste 15-minuttsmidlete SO_2 -konsentrasjon på $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

For å vurdere en situasjon som kan føre til særlig høy forureningsbelastning i Høyanger, har en estimert konsentrasjoner av SO_2 og fluor i en land/sjøbris-situasjon.

Konsentrasjonsbidragene som resultat av utslipp fra hallene, fra en skorstein og fra tilbakestrømming med sjøbrisen er summert i en situasjon med en svak landbris som snur til pålandsvind med styrke ca 2 m/s i én til to timer etter vinddreiningen. Situasjonen ligner på den som ble observert under spredningsforsøk i Høyanger om morgenen den 15.6.78. Selv om utslipp fra en 40 m høy skorstein vil føre til høyere konsentrasjoner

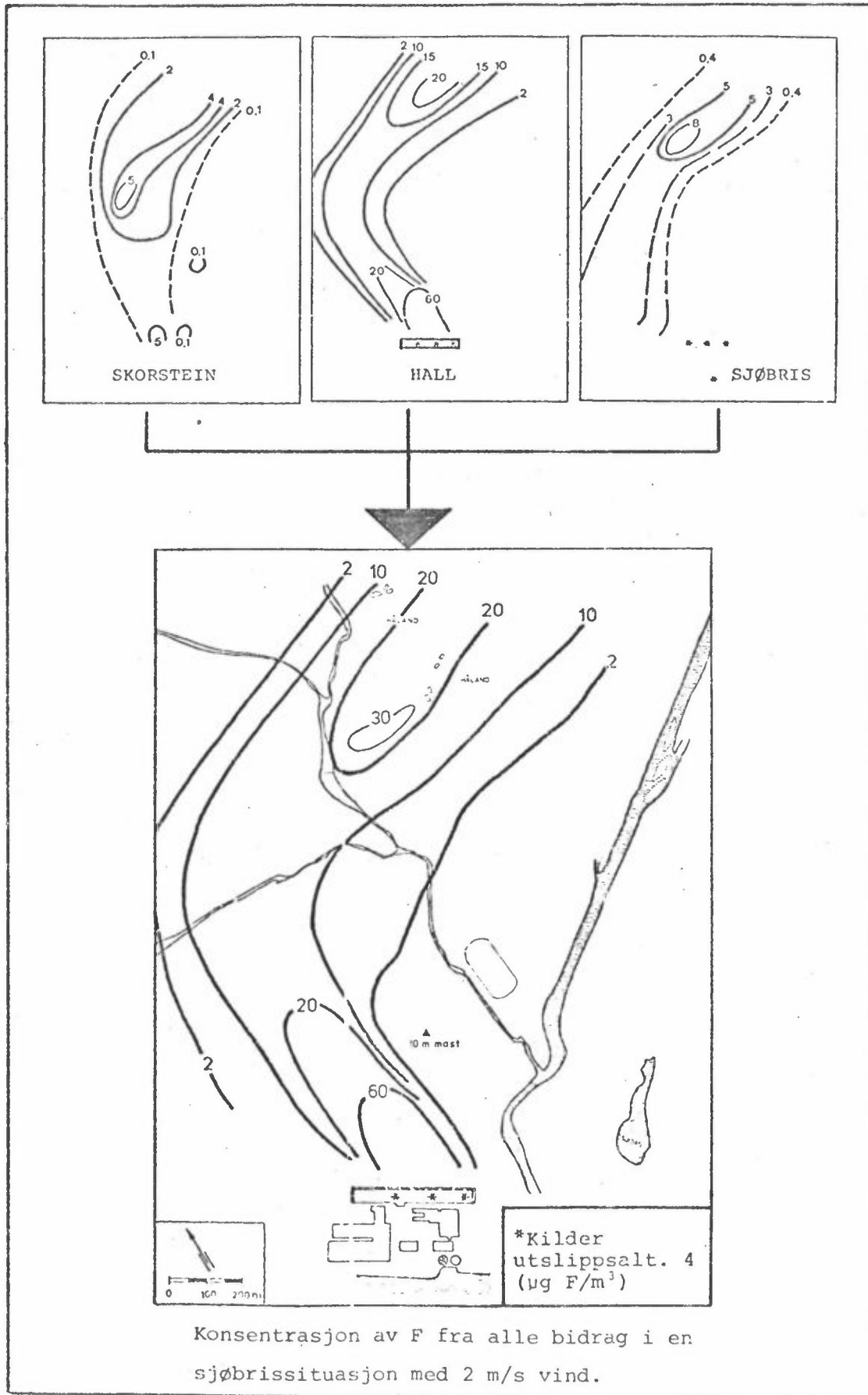
umiddelbart nord for hall C, har en i figur 5.1 og 5.2 presentert resultatene fra beregninger i en slik situasjon hvor skorsteinsutslippene skjer fra 70 m og utslippene er som gitt i utslippsalternativ 4.

Selv om isopletkartene viser en situasjon som fører til høyere konsentrasjoner enn vanlig, er spredningsmønsteret typisk for mange av de spredningsforsøkene som ble gjennomført i Høyanger. Forurensningsskyen ble oftest transportert opp mot fjellsiden nord for verket, for deretter å drive mot nordøst over Håland og fortsette videre innover dalen. Denne transporten er delvis et resultat av oppvarmingen av fjellsiden nordvest for verket kombinert med vindforholdene over dalen.

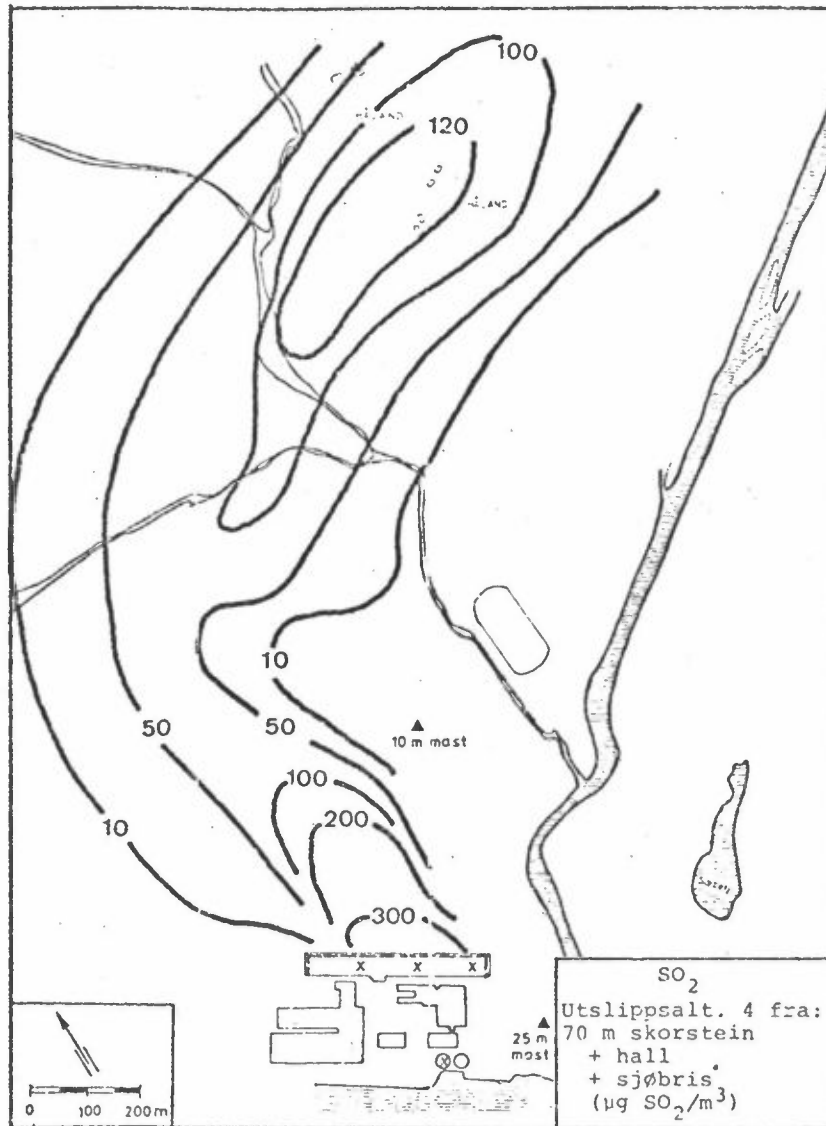
Forsøk nr. 11 den 15.6.78, viste at forurensninger som slipper ut om morgenen mens det ennå blåser utover fjorden, kommer tilbake etter at vinden snur, og kan i åssiden opp mot Håland bidra med så mye som opptil 30% av den direkte belastningen ved vind fra verket mot Håland. Målinger på Håland indikerer også at dette bidraget fra tilbakestrømning fra fjorden kan vare så lenge som 3 timer etter at vinden har snudd.

Situasjonen som er presentert i figur 5.1 og 5.2 viser at utslippene vil føre til to maksimumsområder både for fluor og SO₂-konsentrasjoner. Det ene ligger innenfor 300 m fra hall C, det andre ligger opp mot Håland. Konsentrasjonene er basert på 15-min.-midlele konsentrasjoner av SF₆, men vil kunne sammenlignes med timesmiddelnormer ved å multiplisere tallene med ≈ 0.85 .

Rett nord for hallen vil 15-min.-midlele fluor og SO₂-konsentrasjoner overskride 60 $\mu\text{g F/m}^3$ og 300 $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$. På Håland er konsentrasjonene estimert til 30 $\mu\text{g F/m}^3$ og 120 $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$. Hvis en reduserer skorsteinshøyden til 40 m vil dette særlig influere på SO₂-konsentrasjonene i nærområdet bak hallen. Denne vil da kunne bli $\approx 600 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$.



Figur 5.1: 15-min-midlete konsentrasjoner av totalt fluor (F) som resultat av utslipp fra hallene og fra en skorstein (70m) i en land/sjøbrissituasjon. Utslippsalternativ 4.



Figur 5.2: 15-min-midlete konsentrasjoner av SO₂ som resultat av utslipp fra hallene og fra en 70 m høy skorstein i en land/sjøbris-situasjon. Utslippsalternativ 4.

5.3 Vurdering av forurensningskonsentrasjonene i Høyanger ved SFTs forslag til rådgivende normer for luftkvalitet

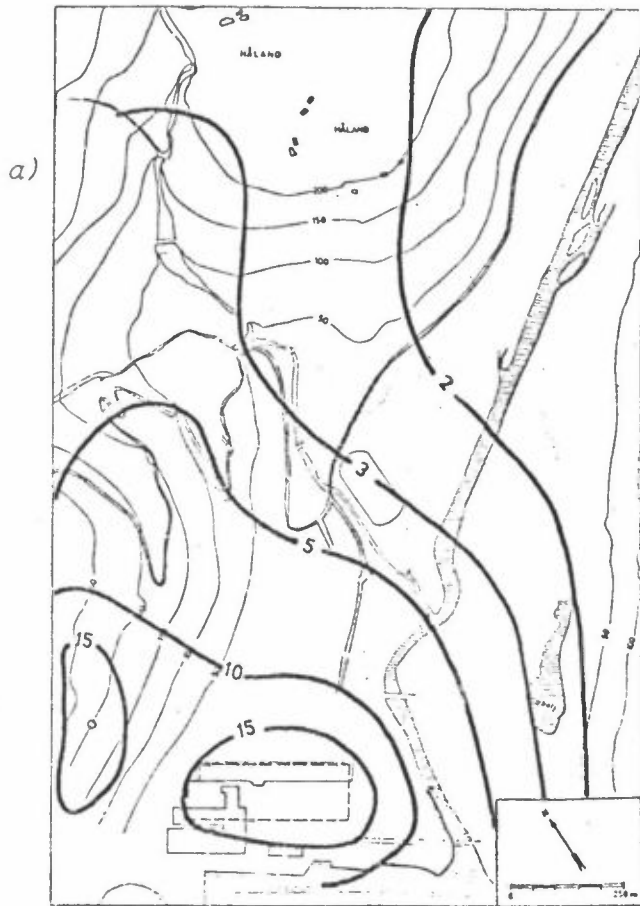
Halvårsmiddelkonsentrasjoner av fluor

Figur 5.3 viser beregnede fluorkonsentrasjoner i området ved utslipp som i 1975/76 ved utslippsalternativ 4 og ved utslippsalternativ 5.

Dersom en overfører data for sammenhengen mellom fluorinnholdet i gras og lantidsmiddelkonsentrasjon av fluor i luft fra Årdal (12) til Høyanger, viser dette at det er rimelig sammenheng mellom beregnete verdier i figur 5.3a og analyse av beitegras i området (11). Ved å anvende denne informasjonen som en kontroll på spredningsberegningene kan en trekke følgende konklusjoner:

- Fluorkonsentrasjonen blir mindre i hele området når en ser bort fra økningen på selve fabrikkområdet, og en svak økning i området omkring idrettsplassen ved utslippsalternativ 4. I følge NILUs vurderingsgrunnlag karakteriseres konsentrasjoner i området 5-10 $\mu\text{g F/m}^3$ som høye. Verdier i området 1-5 $\mu\text{g F/m}^3$ er tilfredsstillende. Verdier under 1 $\mu\text{g F/m}^3$ er lave.
- Opptaket i beitegras på Håland vil reduseres noe mer enn reduksjonen i totalutslippet, ca 25% ved utslippsalternativ 4, over 60% ved utslippsalternativ 5.

Ved utslippsalternativene 2 og 3 vil middelkonsentrasjonen ligge mellom verdiene vist i figurene 5.3b og 5.3c. Ved utslippsalternativ 1 vil verdiene være vel 15% lavere enn verdiene i figur 5.3c.



Figur 5.3: Midlere fluor-konsentrasjoner ved spredningsforholdene observert i perioden april - september 1978.

a) Fluorutslipp av 1975/76.

b) Utslippsalternativ 4.

c) Utslippsalternativ 5.

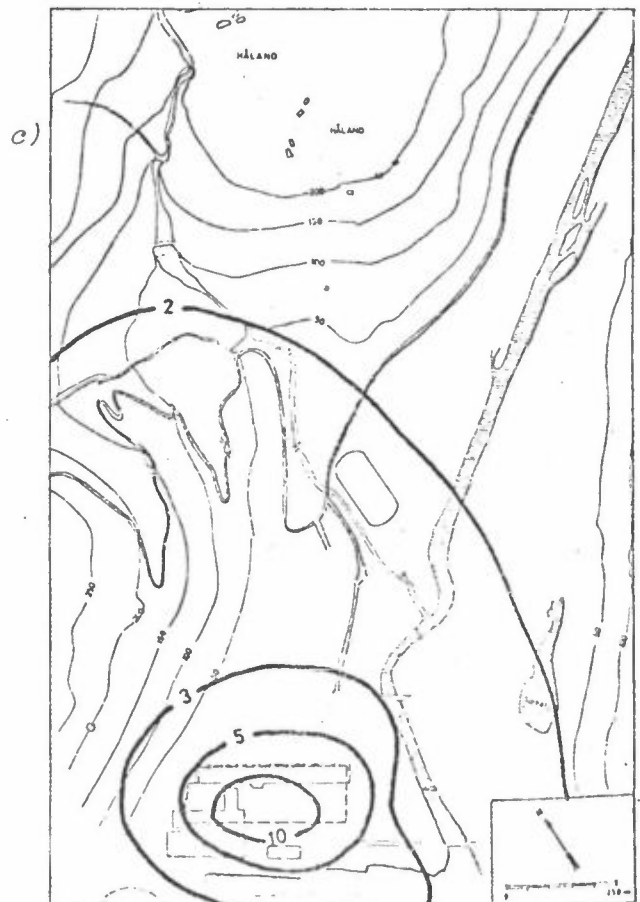
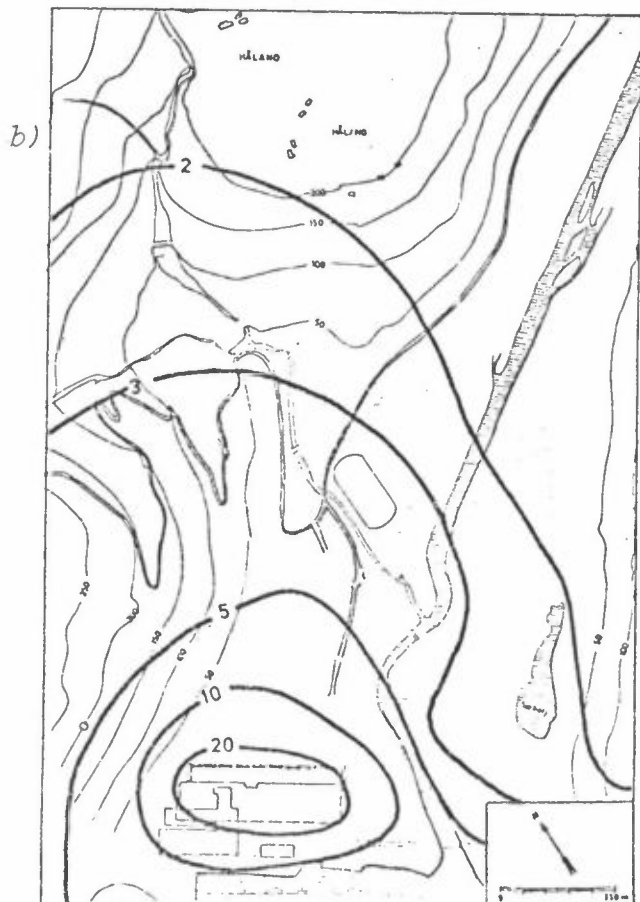
SFTs forslag til normer for halvårsmiddelverdier:

Sikkerhet mot helseeffekter:

$10 \mu\text{g F/m}^3$.

Sikkerhet mot skader på flora og fauna: $0.3 \mu\text{g HF/m}^3$

Enhet: $\mu\text{g F/m}^3$



Spredningsberegningene viser for øvrig:

- Idet det største fluorutslippet skjer gjennom lanterninene er det liten forskjell i langtidsmiddelverdiene av fluor ved 70 m og 40 m høye skorsteiner.
- Selv om utslippsandelen av vannløselige fluorider vil reduseres betydelig ved moderniseringen av fabrikken, vil SFTs normer som tar sikte på å beskytte flora og fauna, overskrides i området.

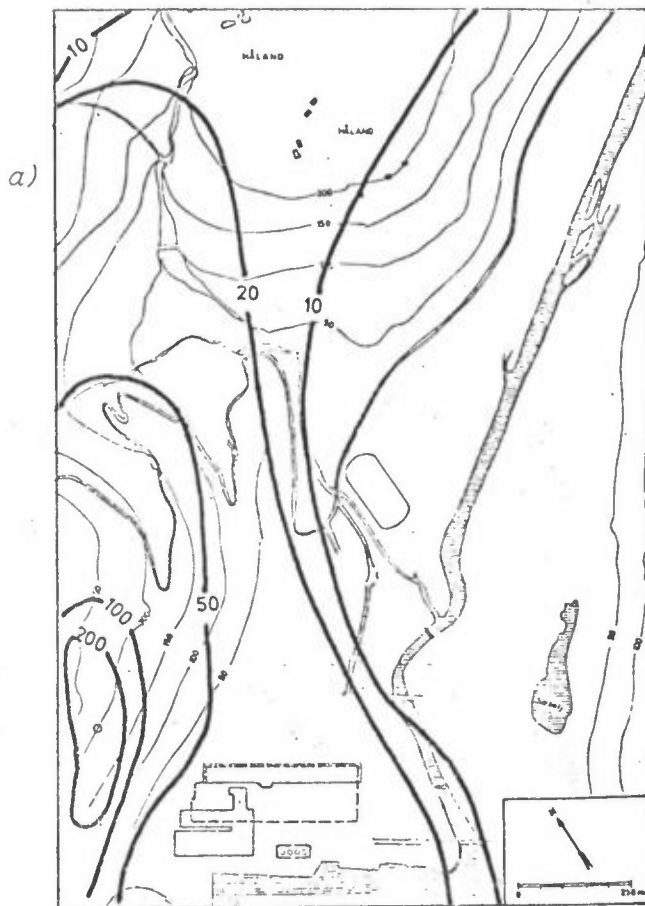
Halvårsmiddelkonsentrasjoner av svoveldioksyd

Figur 5.4 viser de beregnede halvårsmidlete SO₂-konsentrasjonene i området ved utslipp som i 1975/76 ved utslippsalternativ 4 og ved utslippsalternativ 5.

Følgende slutninger kan trekkes:

- SO₂-konsentrasjonen nær fabrikkområdet vil øke betydelig ved modernisering av verket.
- Overskridelser av SFTs forslag til normer for halvårsmiddelverdier (60 µg SO₂/m³) vil forekomme på fabrikkområdet og i fabrikkområdets umiddelbare nærhet. Her kan SO₂-konsentrasjonene sammenlignes med de som forekommer i Oslo sentrum.

Fordelingen av SO₂-konsentrasjonen ved utslippsalternativene 2 og 3 vil ligge mellom verdiene vist i figuren 5.4b og 5.4c. Ved utslippsalternativ 1 vil verdiene være ca 15% lavere enn vist i figur 5.4c.



Figur 5.4: Midlere SO_2 -konsentrasjoner ved spredningsforholdene observert i perioden april - september 1978.

a) SO_2 -utslipp av 1975/76.

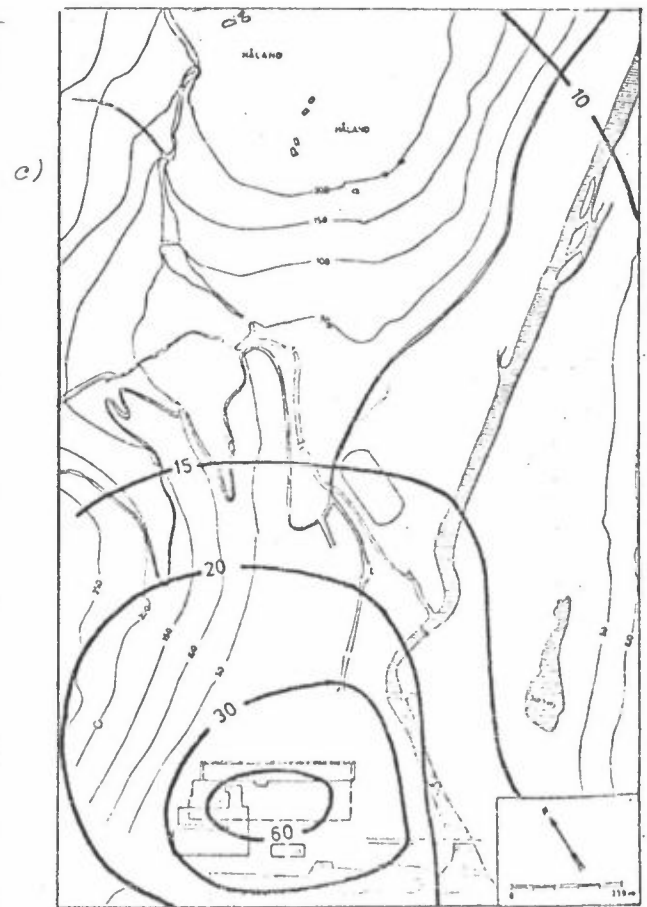
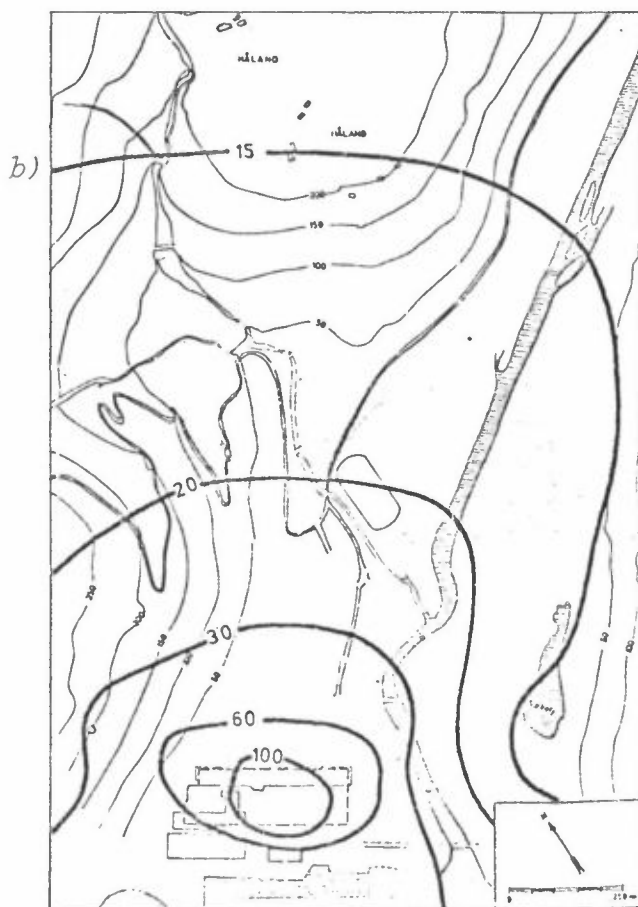
b) Utslippsalternativ 4.

c) Utslippsalternativ 5.

SFTs forslag til normer for halvårsmiddelværdier:

$60 \mu g SO_2/m^3$

Enhet: $\mu g SO_2/m^3$



Frekvensfordeling av døgnverdier for fluor- og svoveldioksyd-konsentrasjonene

Figur 5.5 viser beregnet frekvensfordeling av 24-timers verdier av SO₂ på Leira i Høyanger (se figur 2.2) ved utslippsalternativ 4 og 5. Beregningspunktet er representativt for de mest utsatt boligområdene nær fabrikken. Den registrerte frekvensfordelingen av døgnverdier av fluor og svoveldioksyd-konsentrasjoner i området i perioden mai - juli 1978 er benyttet til å korrigere beregningsresultatene for effekter som ikke er tatt med i spredningsmodellen, f.eks. generell forurensning av dalen under inversjonsforhold.

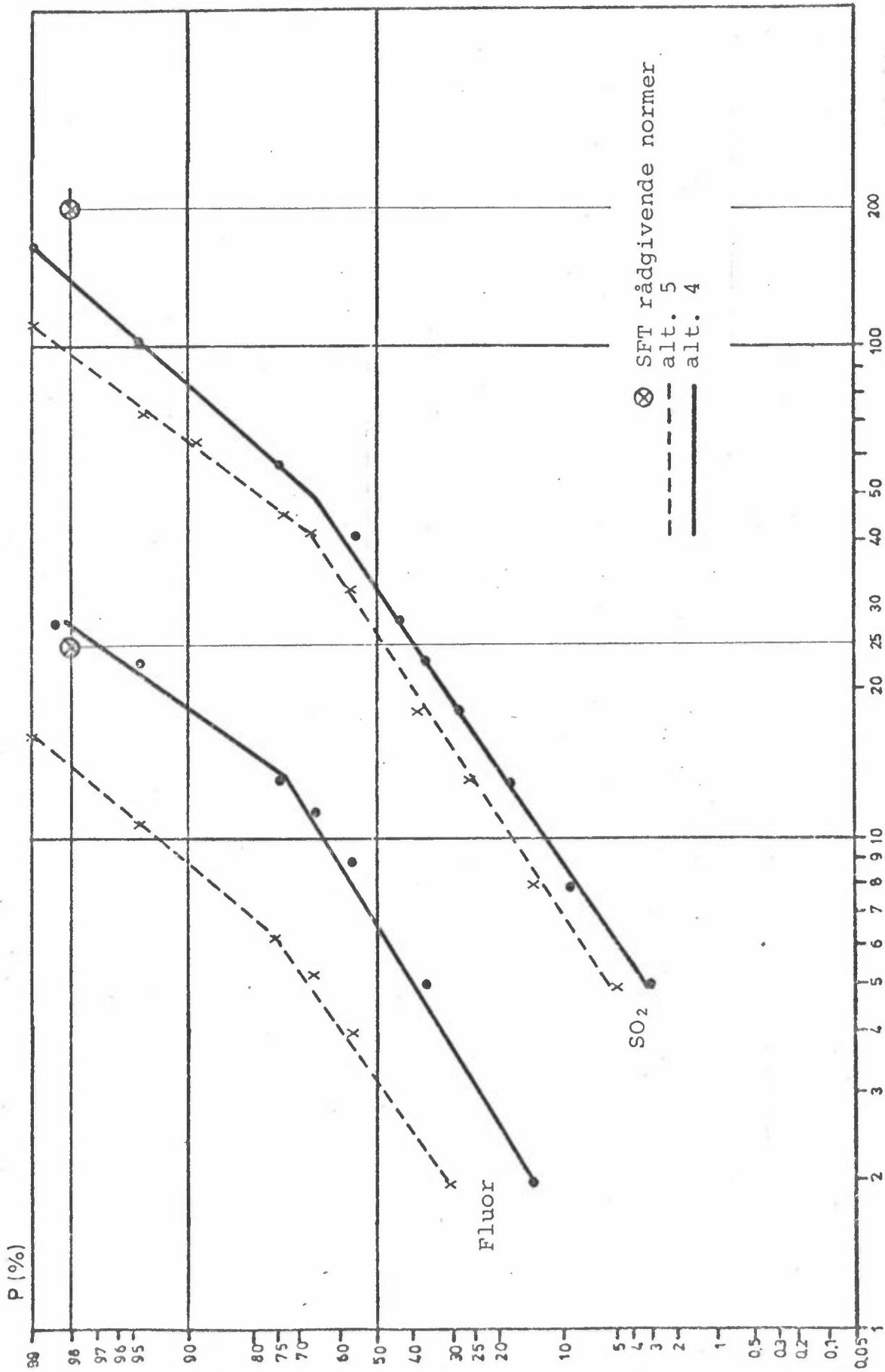
Fordelingen ved utslippsalternativene 2 og 3 vil ligge mellom for alternativene 4 og 5.

En ser at SFT's forslag til norm for døgnmiddelverdi for fluor-konsentrasjoner (25 µg F/m³) sannsynligvis vil overskrides litt oftere enn 2% av tiden i sommerhalvåret ved utslippsalternativ 4. Ved de andre utslippsalternativene vil det ikke forekomme overskridelser. Det er sannsynlig at det ved utslippsforhold som i 1975/76 forekom enkelte overskridelser. Verdiene som gjelder for vannløselige fluorider ut fra hensynet til flora og fauna (maksimal døgnverdi i vekstsesongen: 1 µg HF/m³) kan overskrides i en del av området på vestsiden av elven.

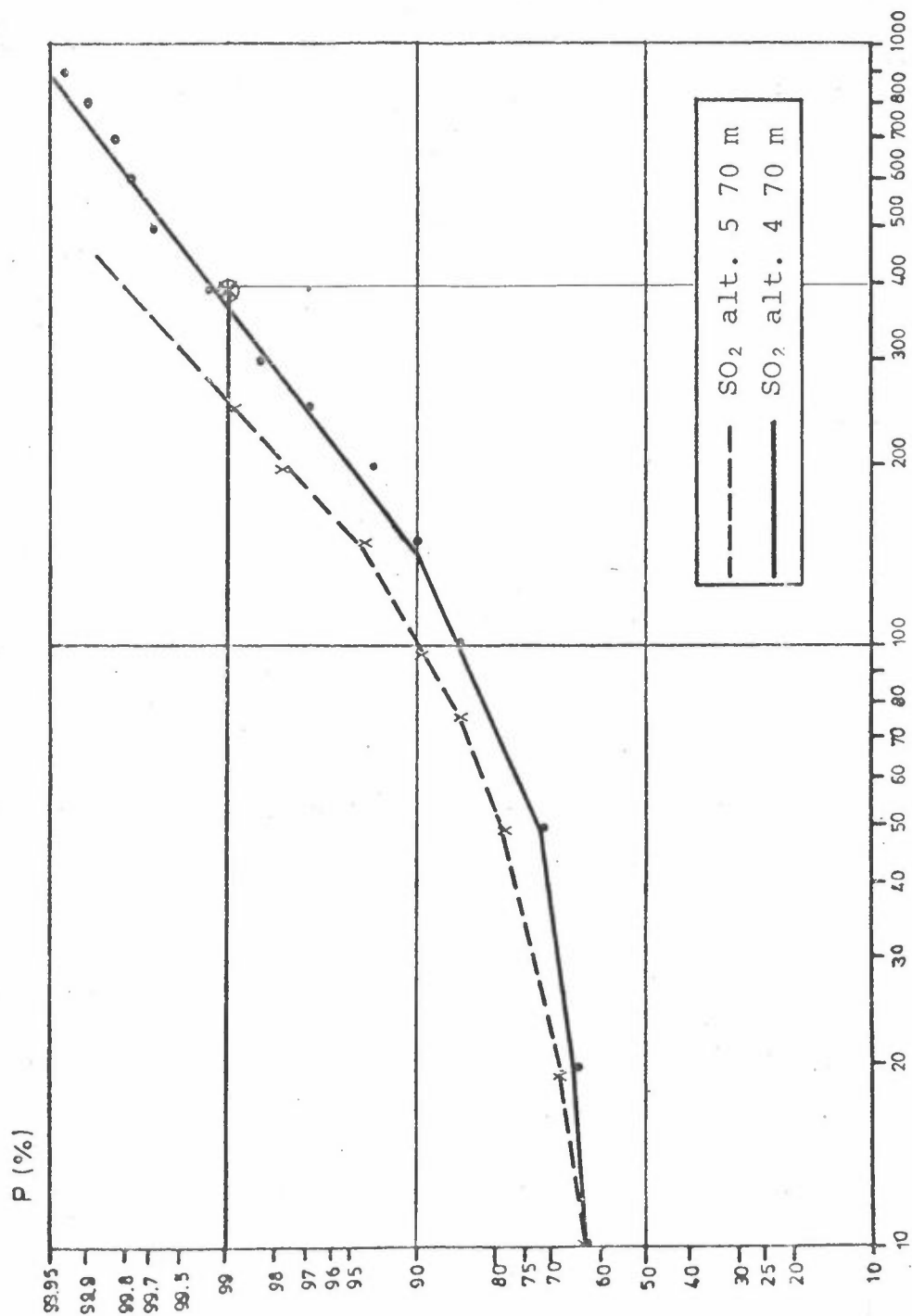
Frekvensfordelinger av times middelkonsentrasjoner av SO₂-konsentrasjonene

Frekvensfordelingen av timesverdier er beregnet ved spredningsforhold observert i perioden april - juni 1978. Denne perioden ga størst frekvens av høye konsentrasjoner. Fordelingene er vist for utslippsalternativ 4 og 5 i figur 5.6 ved en utslippshøyde på 70 m.

Ved en utslippshøyde på 40 m må en regne med overskridelser av SFTs rådgivende norm for timesverdier (400 µg SO₂/m³) i mer enn 1% av tiden. Ved en utslippshøyde på 70 m kan en regne med overskridelser i omtrent 1% av tiden. Ved utslippsalternativ 5 vil en ikke få overskridelser.



Figur 5.5: Frekvensfordelingen (P) av 24 timers verdier av fluor og SO₂-konsentrasjonen i maksimumssonen ved fabrikkområdet. Spredningsforhold fra perioden 1.4 - 30.9.78.



Figur 5.6: Frekvensfordelingen (P) av timevise verdier av SO₂-konsentrasjonene ved utslippsalternativene 4 og 5. Spredningsforholdene fra perioden 1.4.-30.6.78.

6 REFERANSER

- (1) Grønskei, K.E.
Lamb, B.
Sivertsen, B. Foreløpig vurdering av luftforurensningen i Høyanger etter bygging av nytt aluminiumsverk. Lillestrøm 1978. (NILU OR 13/78.)
- (2) Brev fra Årdal og Sunndal Verk A/S, Hovedkontoret den 22.19.1977. Undersøkelse av spredningsforholdene i Høyanger - Aktuelle utslippsdata for en foreløpig spredningsberegning.
- (3) Brev fra Årdal og Sunndal Verk A/S. Høyanger Verk den 28.november 1977. Forurensningsdata - Høyanger Verk 1975.
- (4) Brev fra Årdal og Sunndal Verk A/S, Hovedkontoret den 14.11.1978. Undersøkelse av spredningsforholdene i Høyanger.
- (5) Grønskei, K.E. Registrering av vind og stabilitetsforhold i Høyanger i perioden oktober 1977 - oktober 1978. Lillestrøm 1979. (NILU TN 1/79.)
- (6) Sivertsen, B.
Lamb, B. Undersøkelse av spredningsforholdene i Høyanger ved hjelp av sporstoff. Lillestrøm 1978. (NILU TN 10/78.)
- (7) Lamb, B.
Skogvold, O.F. A tracer investigation of the wake downwind of an aluminum smelter hall. Lillestrøm 1978. (NILU OR 26/78.)
- (8) Pasquill, F. Some topics relating to modelling of dispersion in boundary layer. Washington D.C. 1975. (EPA-650/4-75-015.)
- (9) Busch, N.E.
Chang, S.W.
Anthes, R.A. A multi-level model of the planetary boundary layer suitable for use with mesoscale dynamic models. *J.Appl.Meteor.*, 15, 909-919 (1976).

VEDLEGG A

BESKRIVELSE AV LUFTKVALITETSKRITERIER OG
RÅDGIVENDE GRENSEVERDIER

BESKRIVELSE AV LUFTKVALITETSKRITERIER OG AV RÅDGIVENDE GRENSEVERDIER

A1 Opptak av fluorid i vegetasjon (1)

En må regne med at det i første rekke er perioder med høyt fluoridinnhold i lufta som gir sviing og synlige skader på vegetasjon. Fluorider som tas opp i plantene, akkumuleres og samler seg gjerne i bladspisser eller bladranda der en etter hvert får gulfarging og døde partier. Målinger viser at svoveldioksydkonsentrasjonene i lufta neppe er høye nok til å gi sviskader.

Det er vel kjent at gassformige fluorider bindes sterkt ved absorpsjon på overflater, og at plantene tar opp fluorider direkte fra lufta (2). Tørravsetningen av gasser bestemmes vesentlig av den turbulente diffusjon (3). Det er de uordnede bevegelsene som fører forurensningene ned til bakken og markoverflaten er nærmest et perfekt sluk for både svoveldioksyd og for gassformige fluorider. I de par siste år er det publisert målinger som viser at avsetningshastigheten til grasdekt mark er mellom 0.5 og 2 cm/s for SO₂ (4, 5). I middel er det vanlig å bruke 0.8 cm/s og referanse høyde 1 eller 2 m. For gassformige fluorider vil avsetningshastigheten sannsynligvis være den samme som for SO₂.

De partikulære fluorider kan også sette seg av på vegetasjonen, men her er tørravsetningen avhengig av partikkelstørrelsen. Antakelig er de partikulære fluorider dannet ved kondensasjon fra gassfasen. Dette gir normalt aerosoler med liten partikkeldiameter, mellom 0.1 og 0.8 µm. For slike aerosoler regner en at avsetningshastigheten er i området 0.1 til 0.4 cm/s.

Det har stor interesse å se hva fluoridkonsentrasjonene i vekstsesongen fører til av opptak på vegetasjonen. Fluoridinnholdet i høy og beitegras bestemmes for øvrig rutinemessig som et ledd i kontrollordningen for aluminiumsfabrikkene.

Som et utgangspunkt kan vi regne med en produksjon på 400 kg tørrstoff (høy) pr dag i løpet av månedene mai, juni og juli. Grovt kan en i utslippet fra elektrolysehallerne regne 50% gassformige og 50% partikulære fluorider og vi antar at tørravsetningshastigheten er henholdsvis 0.8 cm/s og 0.2 cm/s, det vil si en effektiv avsetningshastighet på 0.5 cm/s for fluorider.

A2 Veiledende luftkvalitetsstandard for fluorid

Røykskaderådet har foreslått følgende verdier som veiledende luftkvalitetsstandarder for total mengde fluorider:

Døgnmiddelverdi	: 25 $\mu\text{g F/m}^3$,	kan overskrides inntil 2% av tiden i enhver 6-måneders periode, men ikke som sammenhengende dager.
	: 75 $\mu\text{g F/m}^3$,	maksimal døgnmiddelverdi, kan ikke overskrides.
Halvårsmiddelverdi	: 10 $\mu\text{g F/m}^3$,	gjelder enhver 6-måneders periode.

Disse verdiene er satt ut fra hensynet til helseeffekter. Der hensynet til skader på flora og fauna er bestemmende, blir luftkvalitetsstandardene vesentlig strengere, og følgende verdier gjelder for vannløselige fluorider (beregnet som hydrogenfluorid):

Maksimal døgnmiddelverdi i vekstsesongen:	1.0 $\mu\text{g HF/m}^3$
Maksimal middelverdi for vekstsesongen	: 0.3 $\mu\text{g HF/m}^3$
Maksimal middelverdi for tiden utenom vekstsesongen	: 2.0 $\mu\text{g HF/m}^3$

Røykskaderådet understreker at luftkvalitetsstandarder for fluorider er veiledende. Rådet vil i sin konsesjonsbehandling fortsatt vurdere hver enkelt sak for seg og søke å holde eller få utslippsnivået så lavt som teknisk mulig innenfor en forsvarlig økonomisk ramme.

Når det gjelder retningslinjer for fluorider i andre land, bruker ifølge Stern (6) staten New York i USA døgnmiddelverdiene $7 \mu\text{g F/m}^3$ for byområder og $26 \mu\text{g F/m}^3$ for industriområder. I Pennsylvania i USA brukes $5 \mu\text{g F/m}^3$. I Canada brukes verdien $7 \mu\text{g F/m}^3$ for boligstrøk. Det oppgis ingen tillatt hyppighet for overskridelser av disse verdiene, og de må da oppfattes som maksimalverdier.

På grunnlag av de norske veiledende luftkvalitetsstandardene har en ved NILU valgt følgende vurderingsgrunnlag for total mengde fluorider (8):

Meget høyt	: høyeste døgnmiddel over $75 \mu\text{g F/m}^3$ eller døgnmiddel over $25 \mu\text{g F/m}^3$ mer enn 2% av tiden eller halvårsmiddel over $10 \mu\text{g F/m}^3$.
Høyt	: halvårsmiddel $5 - 10 \mu\text{g F/m}^3$
Tilfredsstillende	: halvårsmiddel $1 - 5 \mu\text{g F/m}^3$
Lavt	: halvårsmiddel under $1 \mu\text{g F/m}^3$

En vil presisere at disse verdiene er satt ut fra hensynet til helseeffekter. Flora og fauna og til dels grasetende dyr er meget mer ømfintlige enn mennesker for fluoridforurensninger i luft.

A3 Veiledende luftkvalitetsstandard for svoveldioksyd og svevestøv

For å vurdere betydningen av målte konsentrasjoner for luftkvaliteten anvendes retningslinjer eller normer. Kriteriene for luftkvalitet gir sammenheng mellom forekomst og virkninger av luftforurensninger. Virkninger av betydning ved utarbeidelse av retningslinjer for svoveldioksyd og svevestøv er i første rekke helseeffekter, men det må også tas hensyn til virkningen på materialer og vegetasjon, til nedsmussing og til nedsatt sikt.

Tabell A1 viser ved hvilke konsentrasjoner av svoveldioksyd og svevestøv i luften de forskjellige effekter kan inntreffe. Disse er observert når de angitte konsentrasjoner av både svoveldioksyd og svevestøv forekommer samtidig. Tallene i tabellen refererer til at antallet påvirkede personer er tilstrekkelig stort til å vise en signifikant forskjell i forhold til en kontrollgruppe.

Opplysninger om overdødelighet bygger på statistikk over pasienter som er innlagt på sykehus for bl.a. hjerte- eller lungesykdommer. Ved konsentrasjoner av svoveldioksyd over 250-500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ og av svevestøv over 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (døgnmiddel) kan tilstanden forverres hos personer med bronkitt. Luftveissykdommer og nedsatt lungefunksjon er trolig vanligere hos barn enn hos voksne når årsmiddelverdien av svoveldioksyd og svevestøv overstiger 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabell A1: *Forventede effekter av svoveldioksyd og svevestøv i henhold til Verdens Helseorganisasjon (WHO).*

Forurensning	Overdødelighet, øket sykehusinnleggelse	Forverring av helse-tilstanden hos pasienter med lungesykdommer	Påvirket åndingsfunksjon	Nedsatt sikt, nedsmussing, ubehagseffekter
Svoveldioksyd	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (døgnmiddel)	500-250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (døgnmiddel)	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (årsmiddel)	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (geometrisk årsmiddel)
Svevestøv	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (døgnmiddel)	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (døgnmiddel)	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (årsmiddel)	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (geometrisk årsmiddel)

Forholdet mellom de angitte helseeffekter og konsentrasjonen av svoveldioksyd og svevestøv kan brukes som indeks for graden av forurensninger. Det er sannsynligvis av stor betydning om det samtidig forekommer partikler med høyt syre- og sulfatinnhold i luften. Lavere konsentrasjoner av svoveldioksyd og svevestøv skulle bety mindre risiko for helsen. Det kan imidlertid være vanskelig å fastslå styrken av en slik påstand ut fra epidemiologiske data, fordi tolkningen av disse kan være usikker ved påvirkning fra andre faktorer enn luftforurensninger.

I tabell A2 og A3 angis rådgivende grenseverdier som Statens Forurensningstilsyn anbefaler for norske forhold. Ved å sammenholde grenseverdiene med mulige effekter av forurensninger (tabell A1) ser en sikkerhetsmarginen som er innebygd.

Selv om det er utarbeidet separate grenseverdier for SO₂ og svevestøv bør forurensningsforholdene vurderes samlet. Spesifiserte målemetoder anbefales når en skal sammenligne målte verdier med grenseverdiene.

Tabell A2: Grenseverdier for svoveldioksyd (SO₂)

Midlingstid	Grenseverdi (µg/m ³)	Anmerkning
6 måneder	60	Aritmetisk middelværdi i en vilkårlig 6 mnd. periode
24 timer	200	Bør ikke overskrides i mer enn 2% av tiden i en vilkårlig 6 mnd. periode og ikke som en sammenhengende periode
1 time	400	Bør ikke overskrides mer enn 1% av tiden i en vilkårlig 30 dagers periode

Tabell A3: Grenseverdier for sot.

Midlingstid	Grenseverdi (µg/m ³)	Anmerkning
6 måneder	40	Aritmetisk middelværdi i en vilkårlig 6 mnd. periode
24 timer	120	Bør ikke overskrides i mer enn 2% av tiden i en vilkårlig 6 mnd. periode og ikke som en sammenhengende periode

A4 Referanser

- (1) Semb, A.
Gotaas, Y.
Hagen, L.O. Luftforurensninger i Årdal. Resultater fra måleprogrammet 1972/73. Kjeller 1975. (NILU OR 9/75.)
- (2) Hill, A.C. Vegetation. A sink for atmospheric pollutants.
J. Air Poll. Contr. Assoc., 21, 341-346 (1971).
- (3) Chamberlain, A. Transport of gases to and from grass and grasslike surfaces.
Roy. society Proc. ser. A, 290, 236-265 (1966).
- (4) Whelpdale, D.M. Sulphur dioxide Removal and Shaw, R.W. by Turbulent Transfer over Grass, Water and Snow Surfaces.
Tellus 26, 196-205 (1974).
- (5) Garland, J.
Atkins, D.H.F.
Readings, C.J.
Caughey, S.J. Deposition of gaseous sulphur dioxide to the ground.
Atmos. Environ. 8, 75-79 (1974).
- (6) Stern, A.C. Air Pollution. 2.ed. New York, Academic Press, 1968.

