

NILU
TEKNISK NOTAT NR 2/79
REFERANSE:
DATO: MARS 1979

SPREDNINGSBEREGNINGER
I HØYANGER

AV
K.E. GRØNSKEI

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM
NORGE

INNHOLDS FORTEGNELSE

	Side
1 INNLEDNING	5
2 BESTEMMELSE AV TURBULENSFORHOLDENE VED DE METEOROLOGISKE MÅLINGENE	8
2.1 Vertikalutveksling	8
2.2 Horisontalutveksling	9
3 SPREDNINGS BÆREGNINGER PÅ GRUNNLAG AV TURBULENSDATA .	9
3.1 Vertikalspredning	9
3.2 Horisontalspredning	11
4 BESTEMMELSE AV OVERHØYDE OG INITIALSPREDNING VED HALLENE	12
4.1 Estimat for overhøyde	12
4.2 Initialspredning ved elektrolysehallene	12
5 UTPRØVING AV SPREDNINGSMODELLER I HØYANGER	14
5.1 Beregnede konsentrasjoner i perioder med spredningsforsøk	14
5.2 Spredningsforholdene i perioden 3.5 - 11.7.1978	20
5.3 Sammenligning mellom observerte og beregnede døgnerverdier for SO ₂ -konsentrasjonen på Leira ..	23
5.4 Fremtidige SO ₂ og fluorkonsentrasjoner ved forskjellige utslippsalternativer	26
6 REFERANSER	26
VEDLEGG A	33

SPREDNINGSBEREGNINGER I HØYANGER

1 INNLEDNING

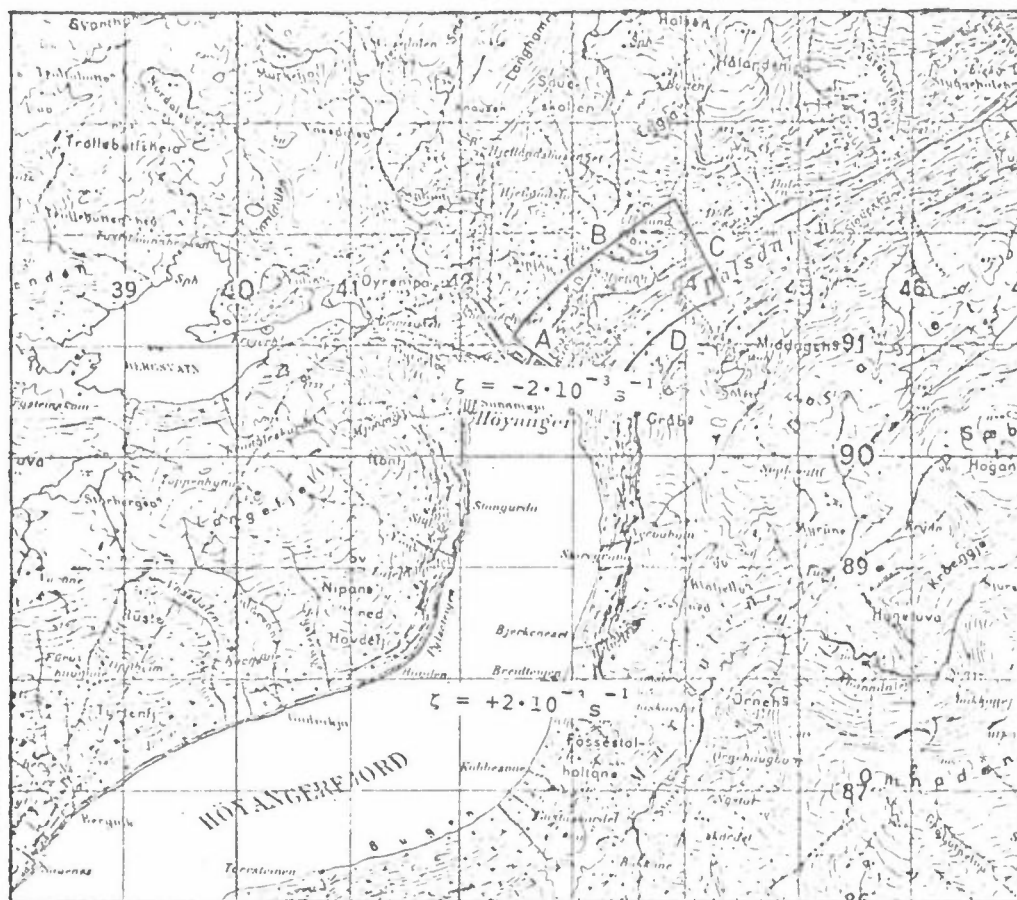
Det eksisterer bare få undersøkelser av spredningsforholdene i kompleks topografi som f.eks. i Høyanger. I denne forbindelse bør nevnes undersøkelsene som Forsvarets Forskningsinstitutt utførte i Nord Norge (1). I dette arbeidet viste en analyse av turbulensdata at turbulensintensiteten ved bakken ble dominert av overflateruheten, vind og temperaturstrukturen over bakken. Intensiteten skilte seg ikke fra det som ble observert over flatt terreng (2), når vinden blåste langs dalaksen og forutsetninger om stasjonaritet var oppfylt.

Det ble i mai-juni 1978 gjennomført tolv spredningsforsøk med bruk av svovelheksafluorid (SF_6) 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 (3).

Meteorologiske målinger fra Høyanger er brukt til å estimere timesverdier av spredningsforhold samt å vurdere størrelsen av effeter som har virkning på luftstrømmene i området (f.eks. dreiningen av dalføret). Data fra spredningsforholdene er brukt til å estimere forurensningsbelastningen ved alternative utslippsforhold. Beregningsmetodene er kontrollert og tilpasset området ved data fra sprostoffundersøkelser og SO_2 -målinger.

Dalføret fra Sognefjorden, over Høyangerfjorden og Dalsdalen er ca 10 km langt og ca 1 km bredt. Fjellsidene stiger til ca 600 m med en stigningskoeffisient fra 1:1 og til 1:1.5. En typisk vindhastighet 25 m over bakken i dalbunnen er 2.5 m/s, 1.7 m/s 10 m over dalbunnen. Dalaksen dreier ca 50 grader

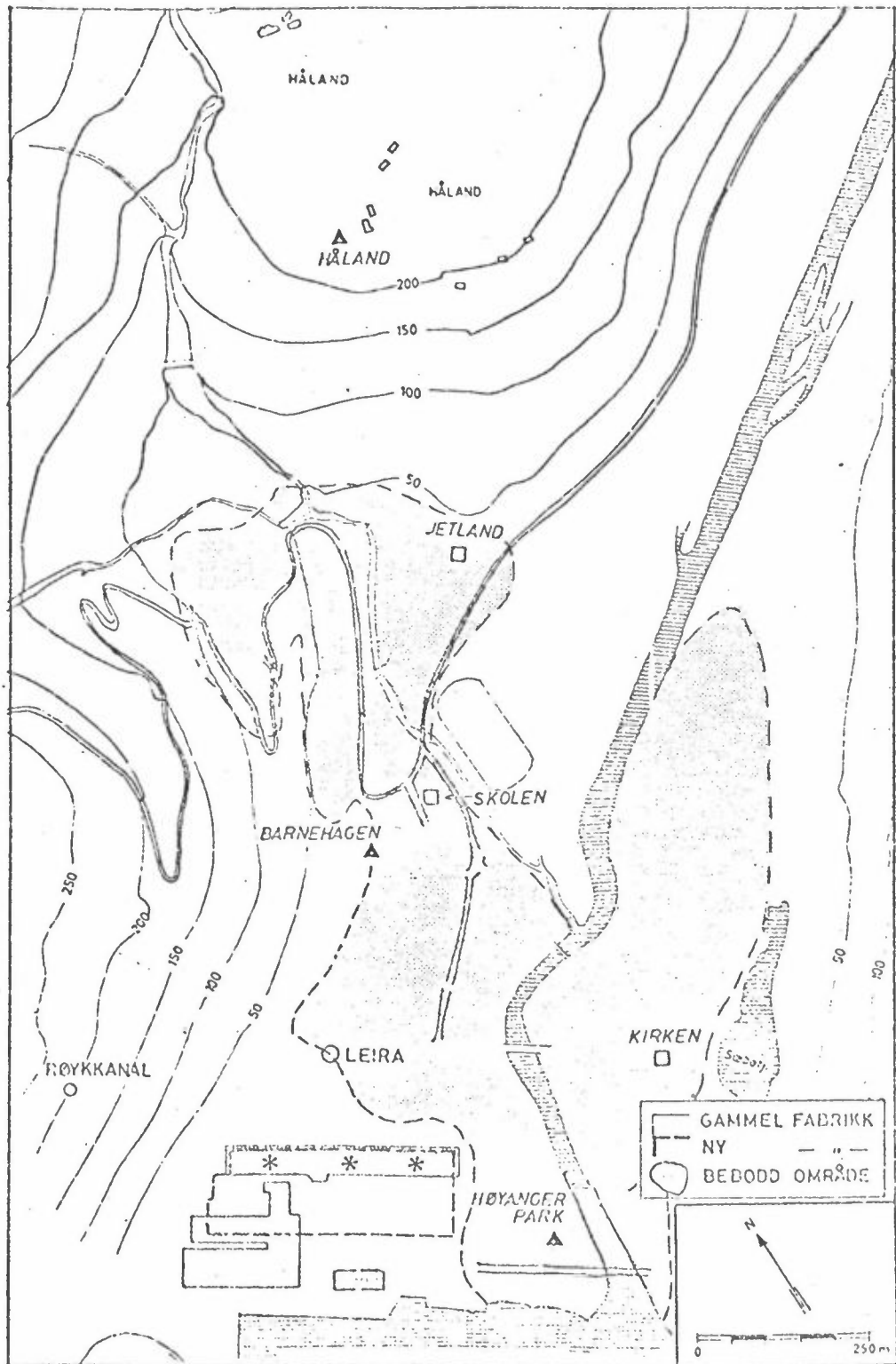
Dreiningen foregår her med en krumningsradius på ca 1 km. Lenger ute i fjorden dreier dalføret ca 50 grader i motsatt retning. Dalføret er vist i figur 1.1.



Figur 1.1: Topografien i Høyangerområdet og typiske hvirvlinger (ζ) i luftstrømmen inn Høyangerfjorden.

Dalens føringseffekter forårsaker hvirvling og horisontale variasjoner i vindfeltet. Begrensninger i de vanlige antakelsene ved beregning av turbulente utvekslingskoeffisienter er blant annet avhengig av virkningen av føringseffektene på luftstrømmene. Vinddreiningen kan også forårsakes av horisontale forskjeller i friksjon og trykk som genererer et rent deformasjonsfelt. Et estimat for hvirvlingen i luftstrømmen dersom den fulgte dalføret er gitt i figur 1.1.

Luftstrømmer opp fjellssidene kan forårsakes av vindfeltet over dalen og av soloppvarming av fjellsidene. Det er av interesse å undersøke betingelsene for slik utlufting nærmere. Lokalisering av gammel og ny fabrikk i Høyanger er vist i figur 1.2.



Figur 1.2: Lokalisering av gammel og ny fabrikk. Målestasjoner for spredningsforholdene (\blacktriangle). Tidligere målestasjoner for SO_2 (\square). SO_2 -målinger i perioden 3. mai - 12. juli (\circ). (*) punktutslipp.

2 BESTEMMELSE AV TURBULENSFORHOLDENE VED DE METEOROLOGISKE MÅLINGENE

2.1 Vertikalutveksling

Ved vind inn fjorden i Høyanger vil treghetskraftene medføre oppstigning på nordsiden av dalen. Den vertikale utvekslingen av moment må derfor være tilsvarende større på nordsiden av dalen dersom strømmen skal følge dalføret.

Overslagsberegninger indikerer at turbulensutvekslingen alene ikke er nok til å dreie en luftstrøm på ca 2 m/s langs dalen. Det kreves vertikalbevegelser W . Ved normal variasjon av vindhastigheten med høyden ($0.05S^{-1}$) vil en endring i W fra nordsiden til sydsiden av dalen på 5-10 cm/s eller en tilsvarende variasjonen i turbulent utvekslingskoeffisient med høyden vil være tilstrekkelig for å gi den nødvendige dreiningen av strømmen.

En vertikalhastighet på 5-10 cm/s er vanligvis av liten betydning når spredningen av forurensningene fra Høyanger Verk skal vurderes, bortsett fra når de turbulente utvekslingskoeffisientene er små. Lave utvekslingskoeffisienter forekommer under inversjonsforhold.

Et forenklet ligningssystem som beskriver vind og temperaturforholdene nærmest bakken, (vist i vedlegg A) er benyttet til å beskrive utvekslingsforholdene nær bakken i Høyanger. I følge Busch et.al. (5) kan metoden også brukes i områder med komplisert topografi. Ligningssystemet løses ved iterasjon hver time på grunnlag av vindmålinger i 25 m nivå, samt temperaturmålinger i 25 m nivå og 3 m nivå over parken. En benytter også vindmålingene i 10 m nivå over Barnehagen sammen med temperaturmålinger i 10 m nivå og i 3 m nivå for å definere middelverdier over beregningsområdet. Løsningen av ligningssystemet gir timevise verdier for vertikalutveksling av varme og moment. I følge Hanna (6) kan en sette turbulent utvekslingskoeffisient (K_h) for varme lik den turbulente utvekslingskoeffisienten for forurensninger. En beregner derfor på grunnlag av målingene i Høyanger vertikalfordelingen av vind $u(z)$, temperatur $T(z)$ og av turbulent utvekslingskoeffisient ($K_z(z)$).

2.2 Horisontalutveksling

I 25 m nivå over parken måles vindretning og vindhastighet hvert 5. minutt. På grunnlag av dataene beregnes timesmiddelverdier. På grunnlag av øyeblikksmålingene av vindretning beregnes videre standardavviket σ_{θ} som brukes til å angi intensiteten av horisontalturbulensen.

3 SPREDNINGSBEREGNINGER PÅ GRUNNLAG AV TURBULENSDATA

3.1 Vertikalspredning

Pasquill har lagt frem en lokal simularitetshypotese for vertikal spredning (4). For å unngå begrensninger knyttet til antagelsene om homogenitet i horisontalplant, antar en at økningen i vertikalspredningen \bar{z} eller alternativt z_m er bestemt av to lokale egenskaper:

- a) $\sigma_w(z)$ Turbulensintensiteten uttrykt ved standardavviket i vertikalhastigheten.
- b) $l(z)$ Turbulensskalaen $l(z)$ som foreligger ved høyden z .

Enkel dimensjonsanalyse gir ved å anta at l er proporsjonal med spektralskalaen λ_m :

$$\frac{d\bar{z}}{dt} = \sigma_w f_1 \left(\frac{\lambda_m}{z} \right) \bar{z}$$

$$\frac{dz_m}{dt} = \sigma_w f_2 \left(\frac{\lambda_m}{z} \right) z_m$$

\bar{z} : den midlere vertikale utstrekning av forurensningsskyen.

z_m : den maksimale vertikale utstrekning av forurensningsskyen.

Som en hypotese setter Pasquill opp følgende relasjoner:

$$\frac{d\bar{z}}{dx} = f_5 \left(\frac{K}{\bar{u} z} \right) \bar{z} \quad (1)$$

$$\frac{dz_m}{dx} = f_6 \left(\frac{K}{\bar{u} z} \right) z_m \quad (2)$$

K: turbulent utvekslingskoeffisient

u: horisontal vindhastighet.

Ved å bruke resultater av detaljerte numeriske spredningsberegninger ved kjente K-profiler blir de universelle funksjonene estimert ved enkle potensfunksjoner som gjelder fra sterkt instabile forhold (Monin-Obukhov lengden $L = -7$ m) og til moderat stabile forhold ($L = 4$ m):

$$\frac{d\bar{z}}{dx} = a \left(\frac{K}{\bar{u} z} \right)^b \quad (3)$$

$$a = 0.95; b = 1.06$$

$$\frac{dz_m}{dx} = c \left(\frac{K}{\bar{u} z_m} \right)^d \quad (4)$$

$$c = 3.56; d = 2.7$$

I våre beregninger ble disse funksjonene benyttet. Detaljerte numeriske løsninger av diffusjonsligningen langs vertikalaksen, som ville fordre omfattende beregninger i mange lag var derved ikke nødvendig. Ved beregning av det direkte bidraget av forurensninger fra kildeområdet til mottakerpunktene regnet en med at den turbulente utvekslingskoeffisienten K og vindhastigheten u var konstante i hele beregningsområdet. Under disse forutsetningene integreres ligning 3 og en finner følgende formel for sammenhengen mellom avstanden fra kilden (x) og den vertikale middelspredningen av forurensningene (\bar{z}):

$$\bar{z} = \left(a \left(\frac{K}{\bar{u}} \right)^b \left((1+b)x + \bar{z}_0^{1+b} \right) \right)^{1/1+b} \quad (5)$$

\bar{z}_0 : Initialspredningen ved utslippet.

I følge Pasquill (4) regner en med følgende sammenheng mellom midlere vertikalspredning (\bar{z}) og standardavviket i forurensningsfordelingen vertikalt (σ_z)

$$\sigma_z = \frac{\bar{z}}{0.78}$$

I Høyanger er K bestemt ved vind og temperaturmålinger som beskrevet i kapittel 2.1 og vedlegg A.

3.2 Horisontalspredning

I følge Pasquill (4) settes:

$$\begin{aligned} \sigma_y^2(T) &= \sigma_v^2 T^2 \int_0^\infty F_L(n) \frac{\sin^2 \pi n T}{(\pi n T)^2} dn \\ &= \sigma_v^2 T^2 \cdot S^2 = \sigma_\theta^2 X^2 \cdot S^2 \end{aligned}$$

$$S = f\left(\frac{T}{t_L}\right) \quad \begin{array}{ll} f = 1 & T \rightarrow 0 \\ f = (2t_L/T)^{\frac{1}{2}} & T \rightarrow \infty \end{array}$$

$\sigma_y(T)$: standardavviket av forurensningsskyen etter transporttiden T, horisontalt og vinkelrett på transportaksen.

σ_v : standardavviket i y-komponent av vind (v).

$F_L(n)$: normalisert Lagrange energi spektrum som funksjon av frekvensen n.

t_L : tidsskalaen definert ved integralet over hele den Lagrange spektralfunksjonen.

σ_θ : standardavviket i vindretningsfluktuasjonene.
Enhet: radianer

Transporttiden T i beregningsområdet i Høyanger er vanligvis mindre enn 10 min (600 s).

Typiske verdier for t_L er 700-2400 s (6).

I beregningene antok en derfor at tilnærmet gjelder Pasquill's forslag til verdier for $S = S_p$ (8).

$$\sigma_y \sim \sigma_v T \cdot S_p^{-1} \sim \sigma_\theta X \cdot S_p^{-1}$$

X	m	100	200	400	1000	2000
S_p^{-1}		0.8	0.7	0.65	0.6	0.5

σ_θ ble beregnet fra øyeblikksmålinger av vindretningene hvert 5.minutt ved parken i Høyanger (se kap. 2.1).

4 BESTEMMELSE AV OVERHØYDE OG INITIALSPREDNING VED HALLENE

4.1 Estimat for overhøyde

Avgassene som slippes ut gjennom lanterninene har et varmeoverskudd i forhold til uteluften. Overhøyden ble vurdert ved hjelp av bilder som ble tatt av røykutslippet vinkelrett på transportretningene. Følgende sammenheng med vindhastigheten ble empirisk bestemt

$$h = h_s + \frac{a}{u}$$

$$a = 11 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$h_s = \text{høyden av lanternineutslippet over bakken.}$$

4.2 Initialspredningen ved elektrolysehallene

En del av forurensningene som slippes ut gjennom lanterninene trekkes ned mot bakken bak hallene. Spredningen bak hallene er undersøkt tidligere (8). Undersøkelsen tok primært sikte på å bestemme hvor mye av forurensningene som kom inn i hallene gjennom ventilasjonsanleggets friskluftinntak.

Sporstoffet SF₆ ble sluppet fra bestemte punkter på taket av hall C. Utbredelsen av forurensningsskyen ble bestemt ved tre kjeder av målestasjoner. En kjede var plassert ca 200 m fra utslippet (langs riksvei 13).

Horisontal og vertikalutbredelsen (σ_y og σ_z) av forurensningsskyen ble estimert fra målingene av SF₆-konsentrasjonene. Samtidig med disse forsøkene i perioden 10-14 april 1978 ble det foretatt vanlige målinger av meteorologiske forhold. På grunnlag av meteorologiske data beregnet en spredningsparametrene som angitt i kapitel 3. Ved hjelp av spredningsparametrene σ_θ , K og u beregnet en utstrekningen av skyen på 200 m avstand og bestemte initialspredningen ved forskjellen mellom beregnet og observert utstrekning av skyen langs riksvei 13. Resultatene er gitt i tabellene 4.1 og 4.2. Resultatene viser initialspredningen ved vindhastigheter i området 4-7 m/s. Initialspredningen

synes å endre seg med vind og turbulensforhold. I senere beregninger har en imidlertid benyttet middelverdien som er angitt.

Ved beregning av initialspredningen har en benyttet data fra forsøkene 2, 3, 4 og 5 som var egnet til å beskrive dimensjonen av forurensningsskyen bak hallene ved vind inn fjorden.

Tabell 4.1: Bestemmelse av horisontal initialblanding (fra undersøkelse av nedslagssonen bak hallene).

$$\sigma_y = \sigma_\theta \times S_p + \sigma_{y0}$$

	Tid	σ_y^{obs} m	H m	σ_θ rad	$\sigma_\theta \cdot x \cdot S_p$ m	σ_{y0} m	σ_{y0} m
Forsøk 2	11.4 1230-1505	51	37	0.13	18	33	} 30m
Forsøk 3	1345-1405	57	32	0.18	25	32	
Forsøk 4	1445-1505	52	29	0.13	18	34	
Forsøk 5	12.4 1215-1235	40	37	0.15	21	19	

Tabell 4.2: Bestemmelse av vertikal initialblanding (fra undersøkelse av nedslagssonen bak hallene).

$$\sigma_z = 1.28 \left(1.957 \left(\frac{K}{u} \right)^{1.06} x + z_0^{2.06} \right)^{0.49}$$

	Tid	σ_z^{obs} m	H m	K_{25} m ² /s	U_{25} m/s	K/U m	σ_{z0} m
Forsøk 2	11.4 1230-1505	40	37	11.2	6.5	1.7	21
Forsøk 3	1345-1405	65	32	10.6	7.0	1.5	46
Forsøk 4	1445-1505	67	29	9.0	7.0	1.3	48
Forsøk 5	12.4 1215-1235	54	37	16.9	4.1	4.1	20

5 TEST AV SPREDNINGSMODELLER I HØYANGER

5.1 Beregnete konsentrasjoner i perioder med spredningsforsøk

Meteorologiske observasjoner hvert 5.minutt er benyttet til å beregne middelveidier over utslippsperiodene ved hvert SF₆-forsøk. Middelveidiane er benyttet i spredningsmodellene og SF₆-konsentrasjonene er beregnet. Resultatene er vist for forsøkene 5 og 6 i figur 5.1, forsøkene 7 og 8 i figur 5.2. De beregnede verdiene er vist ved isolinjer. Målte 15 min. konsentrasjoner er avsatt ved målestedene. (3).

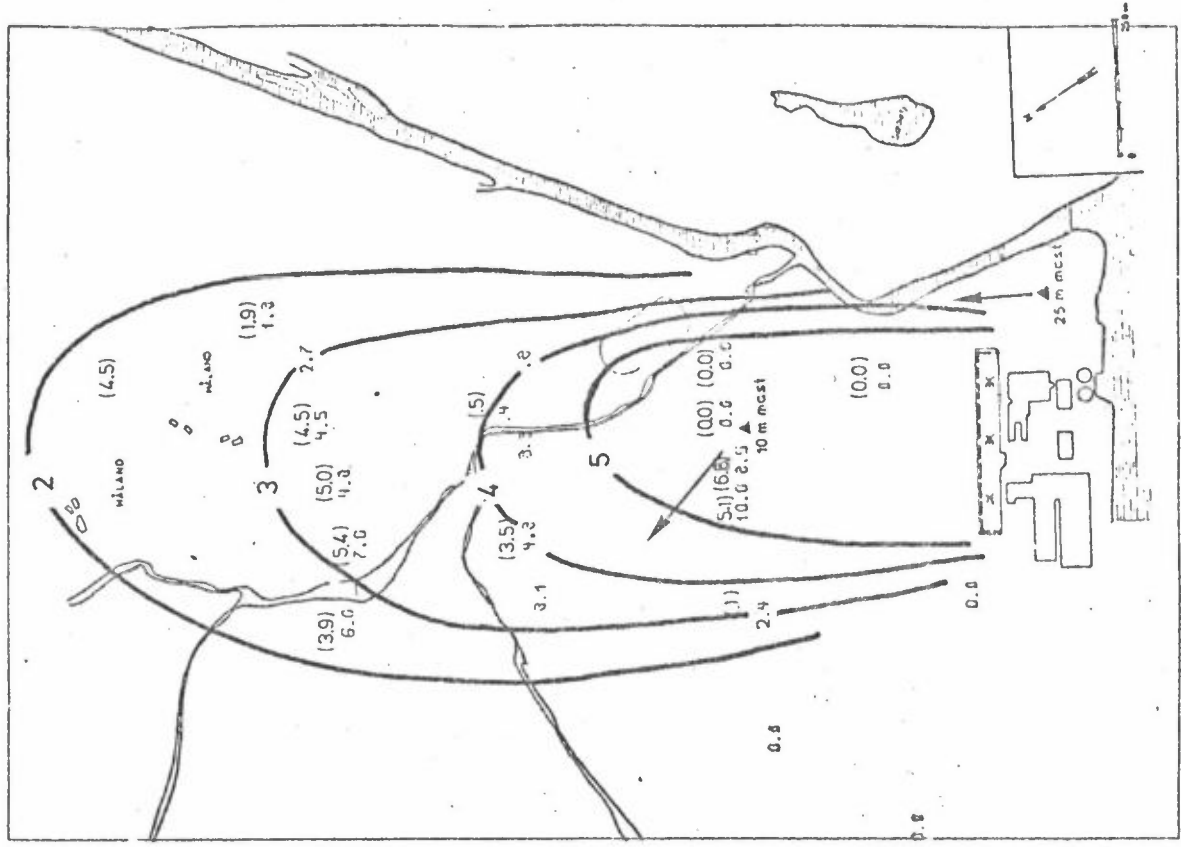
I de fleste målepunktene er det avsatt to måleverdier. Middelvindretningen for beregningsperioden er vist ved piler over 25 m masten og 10 m masten. Dersom en sammenligner observerte og beregnede verdier ser en at horisontalutstrekningen av SF₆-skyen er ganske bra beskrevet. De målte SF₆-konsentrasjonene kan avvike betydelig fra de beregnede verdiene. Avvikene kan skyldes flere forhold:

- a. Vinden langs bakken varierer i området.
- b. Topografiske forhold.
- c. "Normale" statistiske fluktuasjoner.
- d. Vertikalbevegelser og konveksjon i området.

Vindpilene i figur 5.1 viser en systematisk forskjell mellom vind i 25 m masta og i 10 m masta. Soloppvarming av fjellsiden forårsaker en luftstrøm opp fjellsiden og gir forskjell mellom beregnede og observerte verdier. Ved vind inn fjorden observeres ofte en dreining av vinden mot øst ved 10 m masten i forhold til ved 25 m masten. Dette kan ha sammenheng med en økt vertikalutveksling ved fjellsiden i samsvar med vurderingen i kapitel 2.

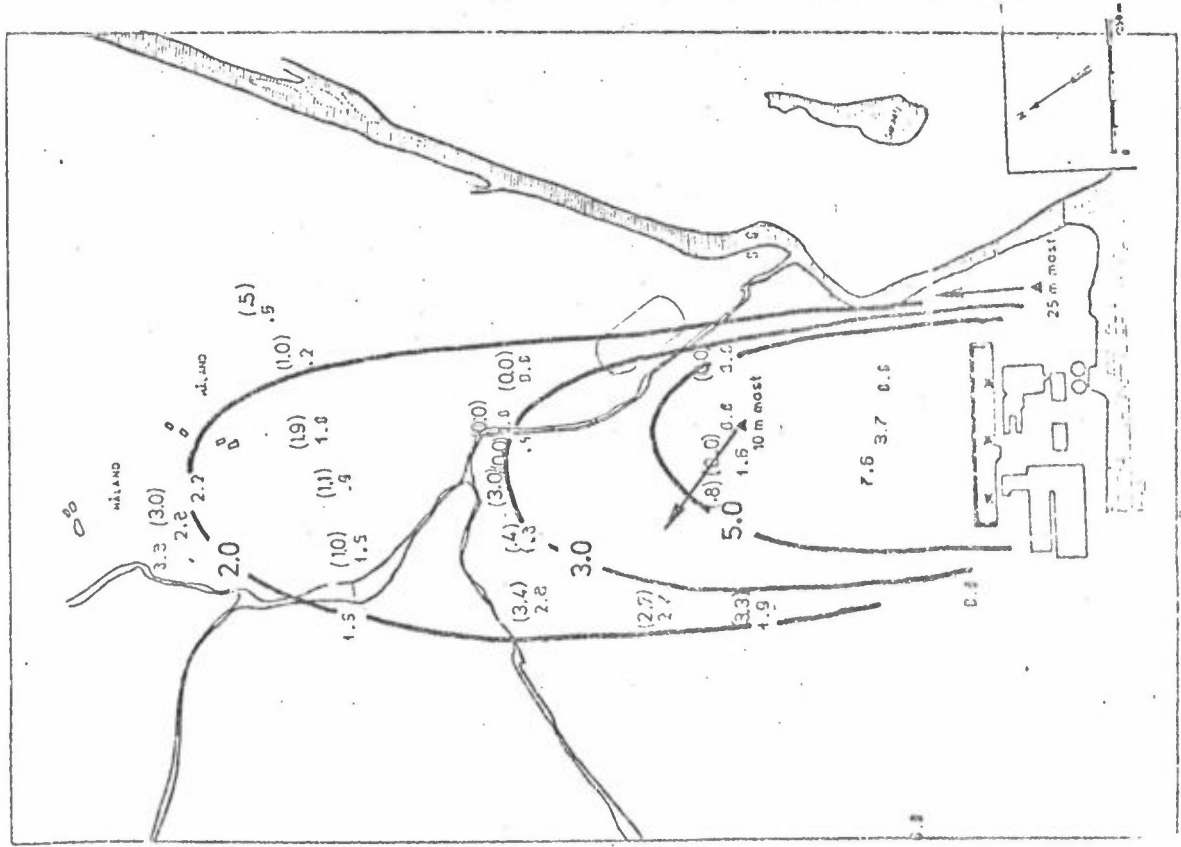
De observerte verdiene kan vise betydelige fluktuasjoner avhengig av tiden og av stedet selv om de registrerte spredningsforholdene er nesten de samme.

TEST 6 DATE 25/ 5/78 TIME 1345-1400
(14.00 - 1400)



40.5 .5 CONCENTRATION IN (UG/M³) 28.5

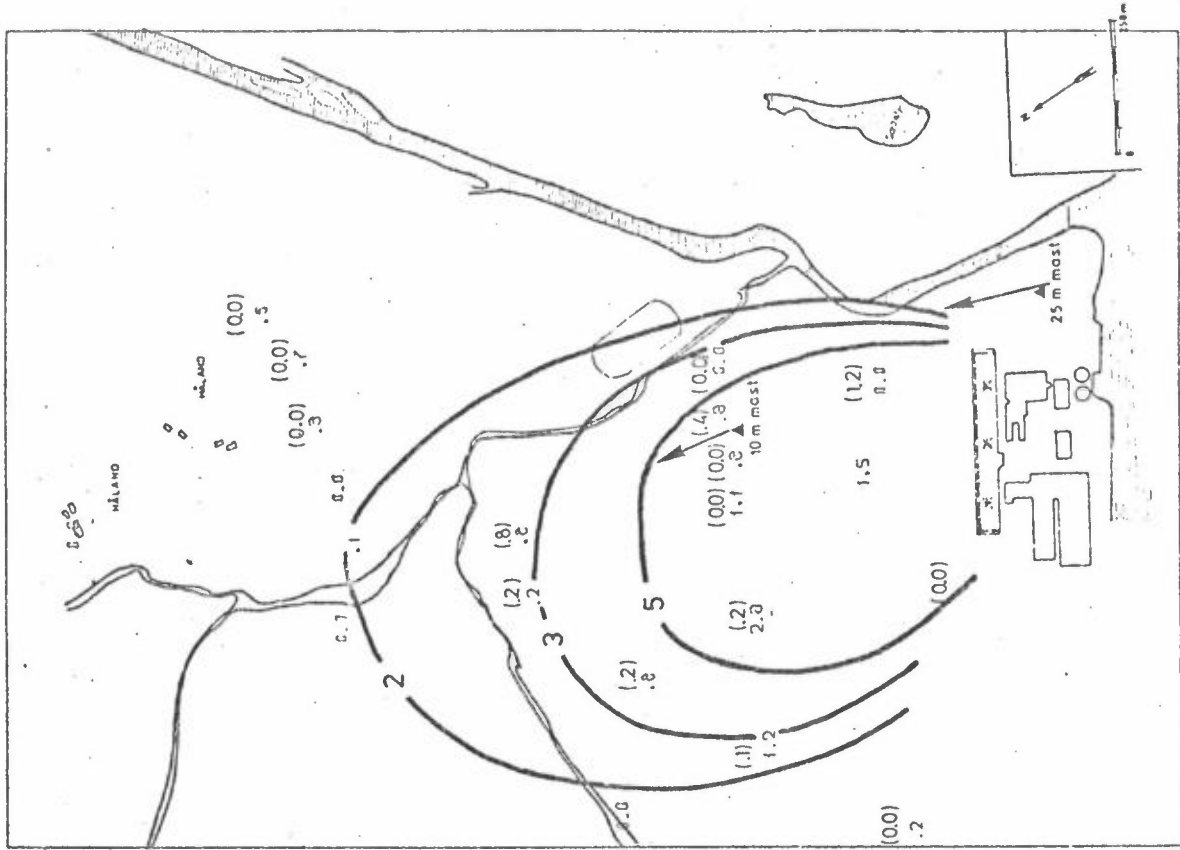
TEST 5 DATE 25/ 5/78 TIME 0945-1000
(0930 - 0945)



40.5 .5 CONCENTRATION IN (UG/M³) 28.5

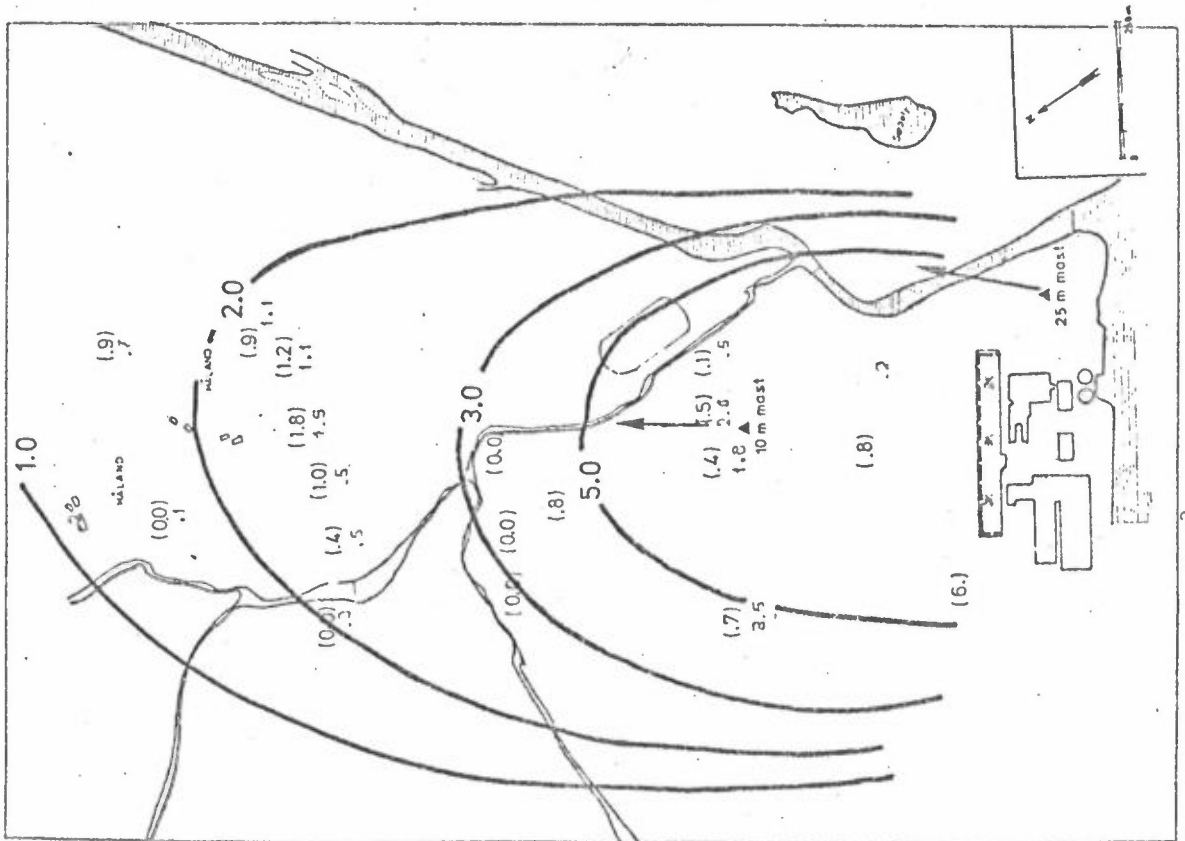
Figur 5.1: Beregnede og observerte SF₆-konsentrasjoner ved forsøkene 5 og 6. Vindretningen er avsatt ved piler ved 25 m mast og ved 10 m mast.
Enhet: µg SF₆/m³.

TEST 8 DATE 26/ 5/78 TIME 1030-1045 (1015 - 1030)



5 CONCENTRATION IN (UG/M³) 28.5

TEST 7 DATE 25/ 5/78 TIME 1845-1900 (1830 - 1845)



5 CONCENTRATION IN (UG/M³) 28.5

Figur 5.2: Beregnede og observerte SF₆-konsentrasjoner ved forsøkene 7 og 8. Vindretningen er avsatt med piler ved 25 m mast og ved 10 m mast. Enhet: µg SF₆/m³.

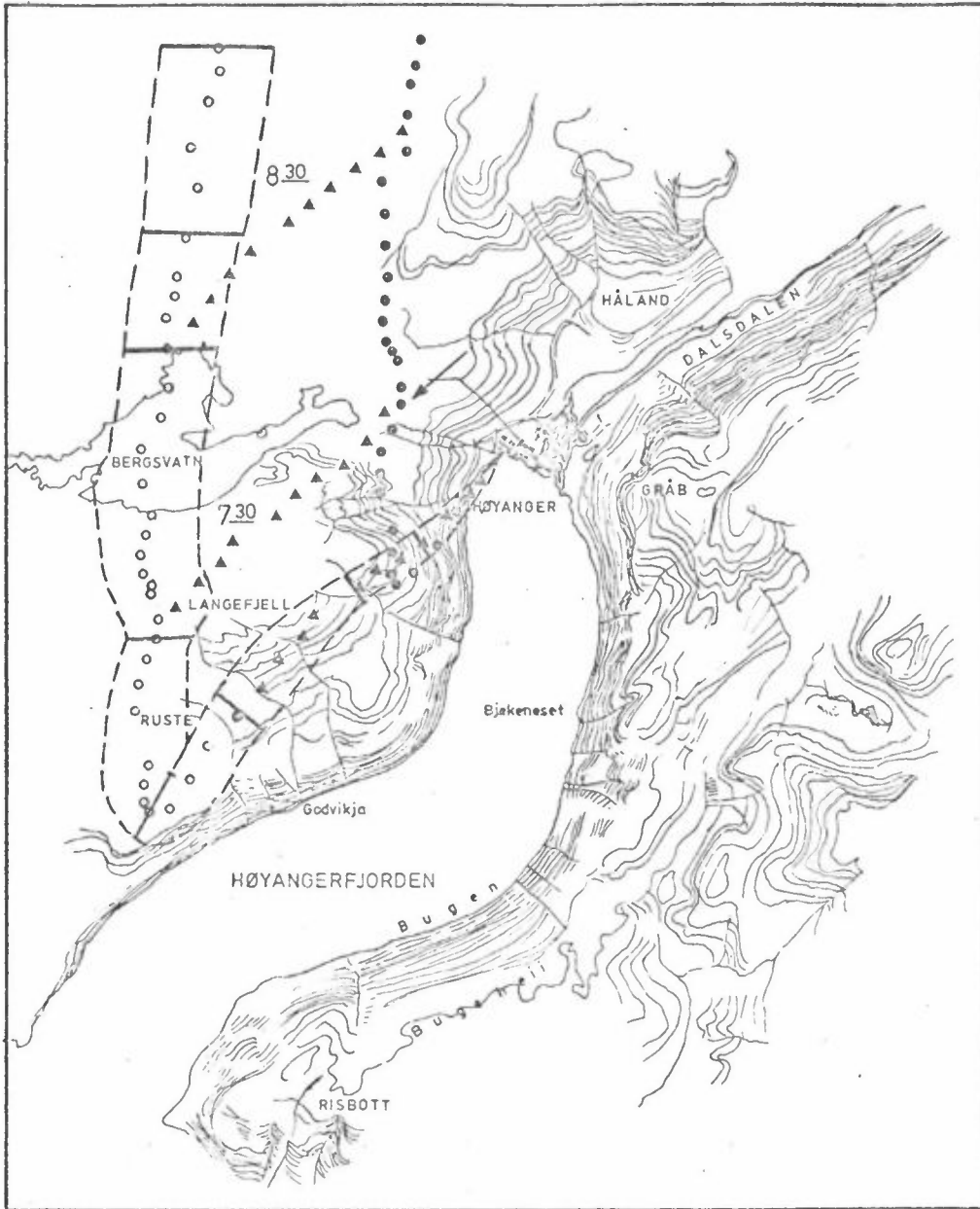
40.5

40.5

De beregnede verdiene angir midlere forventede konsentrasjoner. Sammenligner en målinger og beregninger under denne synsvinkelen kan en merke seg følgende punkter:

1. I nærområdet forekommer det både høyere og lavere konsentrasjoner enn den første isolinjen som er angitt ($5 \mu\text{g SF}_6/\text{m}^3$). En kan ikke regne med at beregningene gjelder for konsentrasjonsfordelingen i nedslagssonen bak hall C. For en nærmere vurdering av konsentrasjonsfordelingen her vises til Lamb og Skogvolds undersøkelse (7).
2. De høyeste observerte SF_6 -konsentrasjonen ligger nærmere fjellsiden enn de beregnede verdiene. Det skyldes vinddreining i området. Ofte forekommer det imidlertid at vinden 10 m over bakken er dreiet ca 30 grader med urviseren i forhold til vindobservasjoner som brukes i spredningsberegningene. Det vil gi andre avvik mellom beregninger og observasjoner.
3. Det ser ut til at området ved Håland er noe mer belastet enn beregningene indikerer. Det kan skyldes flere av punktene (a-d) som er nevnt foran.
4. Generelt kan en si at i andre områder enn Håland overestimerer beregningsmetoden belastningen noe. En har imidlertid ikke korrigert for dette idet en ikke ønsker å underestimere konsentrasjonene ved de avsluttende beregningene.

Figur 5.3 viser posisjonen av SF_6 -skyen som drar utover med landbrisen den 15.6.78 (utslipp kl 0527-0630). Posisjonen og spredningen av SF_6 -skyen er beregnet ved å simulere utslipp av "puff" hvert 5. minutt. Bevegelsen av alle "puffene" er beregnet ved vindobservasjonene hvert 5. minutt i 25 m nivå i Høyanger park. Enden av skyen når ut forbi Hovden før skyen driver nordover. Av figuren ser en at det er forholdsvis små vinddreininger i området som er nødvendige for å føre SF_6 -skyen inn fjorden og opp mot Håland. For å kunne bruke denne metoden til spredningsberegninger i området må en ha bedre beskrivelse av



Figur 5.3: Beregnet posisjon av SF₆-skyen som drev utover med landbrisen den 15.6.1978 (SF₆-utslipp: kl 0527-0630). Vindmålinger hvert 5.minutt i 25 m nivå over parken er benyttet ved beregningene. Stiplet linje viser bredden av utslippene.

○ : posisjon av SF₆-utslippet kl 0530

● : posisjon av SF₆-utslippet kl 0630

▲ : posisjon av SF₆-utslippene i perioden kl 0535-0625.

vindforholdene. Soloppvarming av fjellsiden vil sannsynligvis føre til en transport opp fjellsiden. Det vil derfor være en begrenset del av de forurensninger som driver utover fjorden om natten som kommer tilbake over bebygde områder i Høyanger om dagen. Mengden som kommer tilbake med sjøbrisen er også avhengig av vindforholdene over dalføret. SO₂-målinger fra Leira vil derfor bli brukt sammen med spredningsberegninger til å estimere dette bidraget.

5.2 Spredningsforholdene i perioden 3.5-11.7.1978

Målinger av midlere SO₂-konsentrasjoner hvert døgn på Leira ble utført i perioden 3.5-11.7.1978, og målingene ble benyttet ved siden av episodestudiene til kontroll og utvikling av spredningsmodellen. Spredningsparametere som presentert i kapitel 3 er beregnet for måleperioden. Frekvensen av spredningsforholdene er vist i tabell 5.1 i klasser av vindretning, vindhastighet og stabilitetsklasser definert ved temperaturdifferensen mellom 25 m og 10 m over parken (9). Middelerverdiene av σ_{θ} og av vertikal utvekslingskoeffisient K i de forskjellige klassene er gitt i tabellene 5.2 og 5.3.

Tabell 5.1: Frekvens av spredningsforhold i perioden 3.5-11.7.1978. Spredningsforholdene deles i grupper av samhørende verdier av vindretning, vindhastighet og stabilitet uttrykt ved temperaturdifferens mellom 25 m og 10 m over parken.

- 1: Ustabil : Temperaturen avtar mer enn 0.3°C mellom 10 m og 25 m høyde over bakken.
 2: Nær nøytralt : Temperaturen avtar mindre enn 0.3°C mellom 10 m og 25 m over bakken.
 3: Lett stabilt : Temperaturen øker mindre enn 0.3°C mellom 10 m og 25 m over bakken.
 4: Meget stabilt : Temperaturen øker mer enn 0.3°C mellom 10 m og 25 m over bakken.

	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	POSE	
30	0	14	11	9	3	9	0	17	9	8	14	0	2	1	17	0	0	34.4
60	0	10	7	6	8	0	6	17	1	0	2	0	0	0	1	0	0	12.0
90	0	2	3	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	6
120	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
150	0	3	1	1	0	3	1	1	0	0	1	3	0	0	0	1	0	7
180	2	0	5	0	5	0	4	2	3	3	4	2	8	1	6	1	6	26.2
210	2	2	5	2	2	2	9	1	5	6	0	0	1	5	3	0	0	14.9
240	0	0	9	5	0	1	5	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	2.4
270	0	1	3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
300	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
330	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
360	0	1	5	0	0	3	8	0	0	8	3	0	0	3	1	0	0	1
STILLE	0	1	1	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17
TOTAL	4	3	14	8	30	9	5	6	0	3	8	5	17	3	1	6	0	100
FURDELING PÅ VINDHASTIGHET																		
0 0- 2 0 M/S				2 0- 4 0 M/S				4 0- 6 0 M/S				OVER 6 0 M/S						
55.7				30.7				10.7				2.8						
FURDELING AV STABILITETSCLASSENE																		
8.7				30.5				53.5				7.2						

Tabell 5.1 sammenholdt med data fra tabell 5.5 i ref. 9 viser at spredningsforholdene i perioden er ganske representative for vind inn fjorden i Høyanger over sommeren. Tabell 5.2 viser at de midlere vindfluktusjonene (σ_θ) som ventet avtar med økende vindhastighet og øker med økende stabilitet, når en ser bort fra den ekstremt stabile klassen. Fluktusjonene er generelt høyere enn hva som registreres i andre områder, og σ_θ var størst når det blåser på tvers av hovedvindretningene langs dalføret. Langs hovedvindretningene var verdiene ca 25° . Dette gir en effektiv horisontalspredning av forurensningene innen dalen. Den vertikale utvekslingskoeffisienten øker med vindhastigheten og avtar betydelig med økende stabilitet. Verdiene stemmer i rimelig grad med hva en kan vente 25 m over bakken ved en ruhet på ca 40 cm (10).

Tabell 5.2: Standardavvik i vindretningsfluktusjonene (σ_θ) angitt som middelverdier i spredningsklassene. Enhet: 10 grader.

	0 0- 2 0 M/S				2 0- 4 0 M/S				4 0- 6 0 M/S				OVER 6 0 M/S				ROSE																
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4																	
20	1	3	39	2	62	1	3	24	1	95	1	60	1	1	92	1	67	1	1	2	46												
40	1	4	61	4	49	3	27	1	4	69	4	16	2	51	1	1	89	1	6	70	1	4	23										
60	1	6	46	6	41	1	1	1	6	05	1	1	1	1	1	1	4	6	7	1	1	4	10										
120	1	1	1	7	30	1	1	1	6	69	4	39	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	21									
150	1	1	5	20	5	42	6	30	1	3	60	2	64	1	1	1	70	1	1	53	1	1	3	21									
180	1	1	42	2	94	4	05	3	91	1	60	2	23	2	44	1	92	1	54	1	51	1	78	1	2	43							
210	1	1	64	2	75	4	22	4	51	1	97	2	97	3	23	1	1	20	1	54	2	13	1	1	76								
240	1	1	3	67	5	11	1	1	23	2	27	2	97	1	1	1	23	1	1	28	1	1	1	1	2	23							
270	1	1	6	73	6	29	1	1	1	5	50	5	88	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	13							
300	1	1	1	4	09	1	1	1	2	05	5	13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	10							
330	1	1	1	6	12	1	1	1	1	4	74	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	43							
360	1	1	5	84	4	72	1	1	3	02	3	32	1	1	2	66	1	2	66	1	72	1	1	2	34	3	17						
SCILLE	1	1	5	14	5	02	5	44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	11						
TOTAL	1	1	65	3	16	3	89	3	07	1	69	2	92	2	48	1	16	1	43	1	87	1	76	6	70	99	1	42	1	61	1	2	21
FORDELING PÅ VINDHASTIGHET																																	
0 0- 2 0 M/S				2 0- 4 0 M/S				4 0- 6 0 M/S				OVER 6 0 M/S																					
3 44				2 45				1 82				1 42																					
FORDELING AV STABILITETSKLASSENE																																	
1 63				2 76				3 22				2 69																					

Tabell 5.3: Middelveidi av turbulent utvekslingskoeffisient (K_2) i hver av spredningsklassene. Enhet: m^2/s .

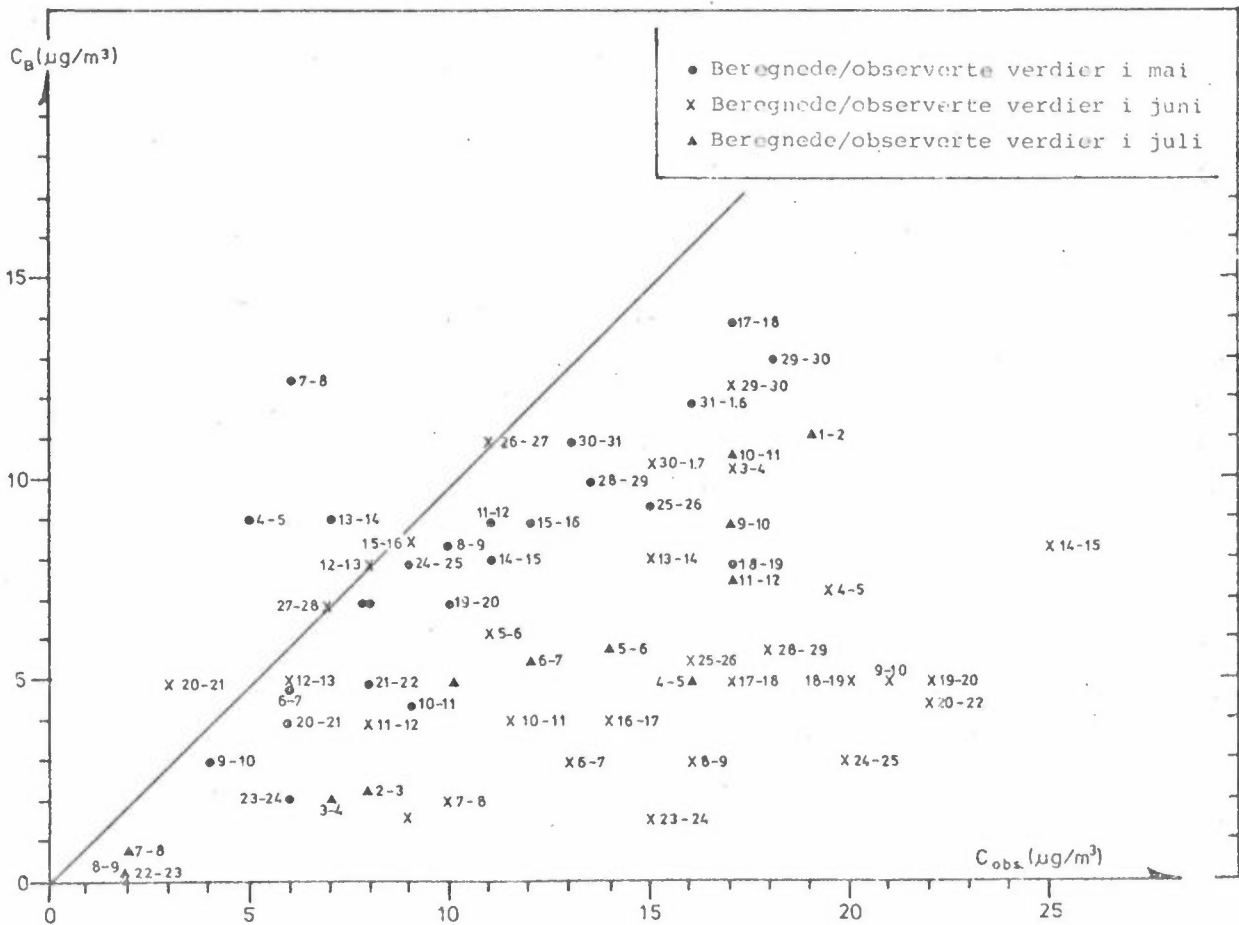
BELASNING SOM FUNKSJON AV VINDRETNING OG STABILITET

	0 0- 2 0 M/S				2 0- 4 0 M/S				4 0- 6 0 M/S				OVER 6 0 M/S				ROSE
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
30	1 5 64	.05	.00		1 7 76	33	.02		1 8 33	1 93			1 2 11	3 31			1 1 47
30	1 4 88	14	.00		1 8 90	78	.02		1 9 34		1 09		1 1 1	1 1			1 1 19
90	1 4 70	.01			1 1 38				1 1 5 18				1 1 1	1 1			1 2 19
120	1 1 04				1 1 78	1 09			1 1 1	1 1			1 1 1	1 1			1 1 14
150	1 5 11	.02	.00		1 4 92	56			1 4 01	1 76			1 1 1	1 3 17			1 1 32
180	21 45	12 25	.87	.03	21 01	10 85	1 18	.04	19 23	9 81	2 44		16 36	3 64	3 34		1 2 21
210	21 54	14 14	1 19	.00	22 50	12 37	88		20 52	13 78	2 94		113 81	3 47			112 69
240	114 29	.61			24 69	12 73	20		114 64	5 11			112 38	4 92			110 42
270	1 5 12	.05			1 2 55	1 71			1 1 1	1 1			1 1 1	1 1			1 1 38
300	1 1 32				110 66	.26			1 1 1	1 1			1 1 1	1 1			1 2 37
330	1 1 07				1 1 02				1 1 1	1 1			1 1 1	1 1			1 1 05
360	1 6 62	.16			1 5 65	87			1 6 82	3 79			1 9 20	2 94			1 4 06
STILLE	1 01	.18	.00		1 1 1				1 1 1	1 1			1 1 1	1 1			1 1 14
TOTAL	21 50	11 68	.80	.00	21 49	9 89	58	.02	19 45	9 17	2 43	.09	16 36	9 29	3 44		1 5 41
FORDELING PÅ VINDHASTIGHET																	
0 0- 2 0 M/S				2 0- 4 0 M/S				4 0- 6 0 M/S				OVER 6 0 M/S					
4 95				5 38				7 06				8 48					
FORDELING AV STABILITETSCLASSENE																	
21 12				10 60				62				.01					

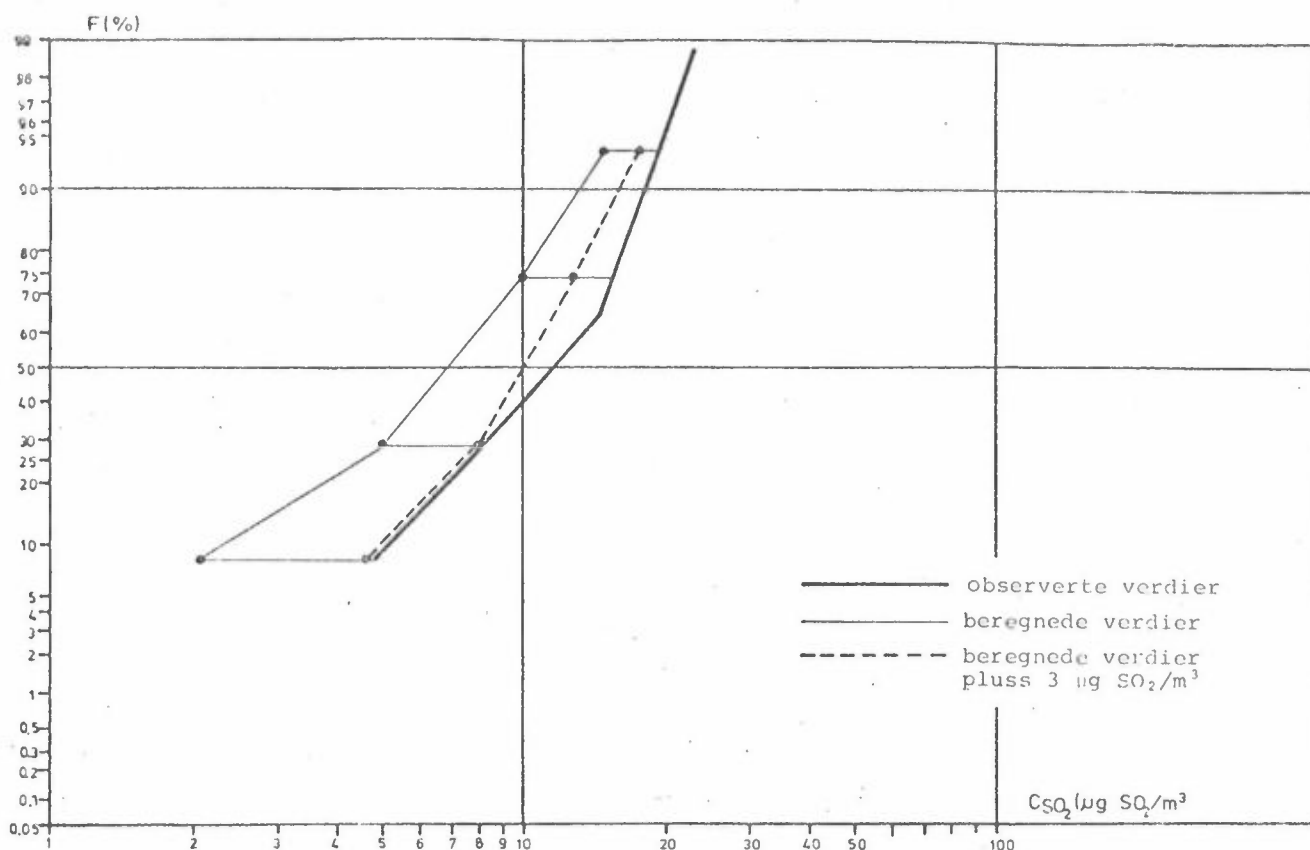
ANTALL TIMER = 1704. ANTALL OBSERVASJONER = 1545

5.3 Sammenligning mellom observerte og beregnede døgnavverdier for SO₂-konsentrasjonen på Leira

Det er regnet med et midlere SO₂ utslipp i måleperioden på 6.27 kg SO₂/time fra hallene A og C. For å simulere hallutslippet har en regnet med utslipp fra tre punkter som vist i figur 1.2. Ved SO₂-målestasjonen på Leira har en videre beregnet 24-timers SO₂-konsentrasjoner som følge av hallutslippene. Beregnede og observerte verdier er vist i figur 5.4. Frekvensfordelingene er vist i figur 5.5.



Figur 5.4: Beregnede og observerte SO₂-konsentrasjoner i perioden 3.5 - 11.7.1978.



Figur 7.3: Frekvensfordelingen av beregnede og observerte SO_2 -
3.5 konsentrasjoner i Høyanger i perioden 3.5 - 11.7.1978.

Overensstemmelsen mellom beregnede og observerte verdier i mai måned må betegnes som god. I juni måned ble det i enkelte perioder registrert betydelig høyere konsentrasjoner enn beregnede verdier. I juli er avviket mellom beregnede og observerte verdier mindre. Når en beregner lave 24-timers verdier, skyldes dette at vinden blåser ut fjorden i størstedelen av tiden. Avvikene må skyldes en kombinasjon av:

1. Andre kilder i området. Gjennom røykkanalen slippes det ut ca 14 kg SO_2 /time og en del av dette bidrar til en generell forurensning av dalføret.
2. Forurenset luft som transporteres ut fjorden om natten, kommer tilbake over målestasjonen med sjøbrisen om dagen.

3. Generell bakgrunnsforurensning i området.
4. Usikkerheten i de kjemiske analysene og i meteorologiske data som beskriver spredningsforholdene.

Dersom en adderer $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ til de beregnede konsentrasjonene får en samme frekvensfordelingen ved lave konsentrasjoner (se figur 5.5). For de høye konsentrasjonene finner en fortsatt et avvik. Frekvensfordelingen viser at når 94% av de beregnede verdiene er mindre enn $18 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$, er 94% av de observerte verdiene mindre enn $20 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$. I 73% av tiden er de beregnede verdiene mindre enn $13 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$, i 73% av tiden observeres konsentrasjoner mindre enn $16 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$.

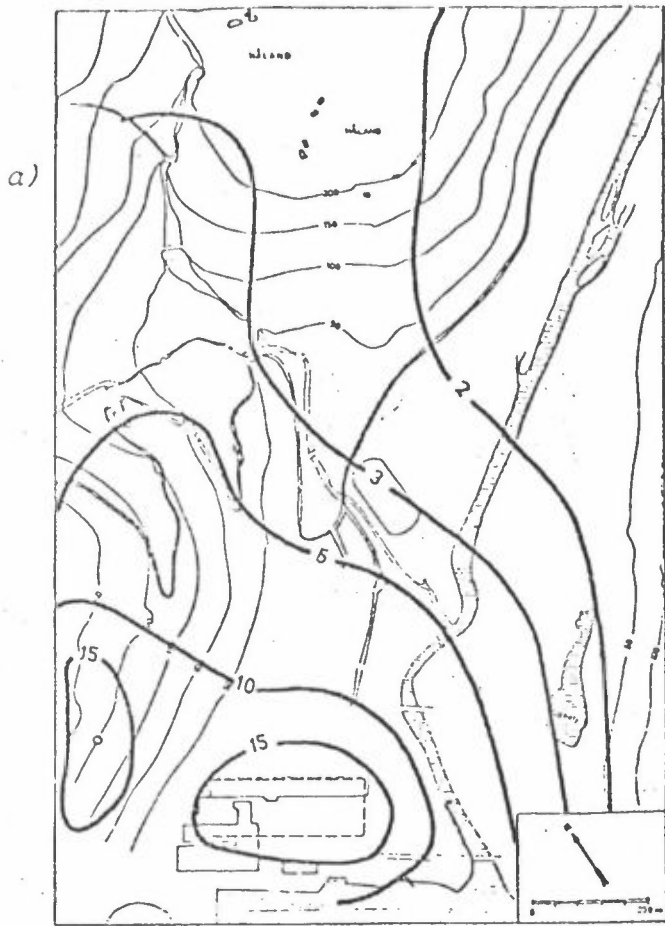
Ser en på enkeltobservasjonene (se figur 5.4) forekommer det ca 7 dager (x) som det er nødvendig å addere $16 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ til de beregnede verdiene for å få rimelig overensstemmelse mellom observasjoner og beregninger. På 24 timers basis er det imidlertid lite sannsynlig at høyt bidrag på grunn av kompliserte spredningsforhold skal forekomme samtidig med høyt direkte bidrag.

Tar en for seg forholdene den 14-15 juni 1978 viser detaljerte vindobservasjoner gjennom døgnet at det var svake og uordnede vinder i hele dalføret med svak vind over dalføret. En finner det derfor rimelig å regne det indirekte bidraget proposjonalt med totalutslippet av SO_2 i dalen. Regner en med utslippet gjennom røykkanalen blir totalutslippet ca $20 \text{ kg SO}_2/\text{time}$. Ved korreksjon av beregnede frekvensfordelinger er totalutslippet av SO_2 i måleperioden redusert til $13 \text{ kg SO}_2/\text{time}$, fordi kanalutslippet skjer høyt over boligområdene. Denne korreksjonen fører til høyere estimater for fremtidige konsentrasjoner.

5.4 Fremtidige SO₂ og fluorkonsentrasjoner ved forskjellige utslippsalternativer

I vinterhalvåret står vinden ut fjorden i det alt vesentligste av tiden (vel 70% av tiden). Ved vurdering av luftforurensningene har en lagt forholdene i sommerhalvåret til grunn. Halvåret 1.4 - 30.9 er derfor valgt som beregningsperiode og middelverdiene av SO₂ og fluorkonsentrasjonene ved utslippsalternativene 1 og 4 er beregnet og resultatene er vist i figurene 5.6 og 5.7. Den korrigerede frekvensfordelingen av døgnverdier av SO₂- og fluor-konsentrasjonene er vist for utslippsalternativ 4 og 5 i figur 5.8.

Frekvensfordelingene av forurensningsbidraget er beregnet ved direkte transport fra kildeområdet til målestasjonen. Det er videre regnet med en bakgrunn på 3 µg SO₂/m³ og et indirekte bidrag proporsjonalt med totalutslippet. Proporsjonalitetsfaktoren er bestemt ved avviket mellom observerte og beregnede SO₂-konsentrasjoner for 73 og 94 prosentilen ved Leira. Maksimalt kan bidraget være 13 µg SO₂/m³ ved dagens utslippsforhold. Den ukorrigerede frekvensfordelingen av timesverdier av SO₂ er vist i figur 5.9.



Figur 5.6: Midlere fluor-konsentrasjoner ved spredningsforholdene observert i perioden april - september 1978.

a) Fluorutslipp av 1975/76.

b) Utslippsalternativ 4.

c) Utslippsalternativ 5.

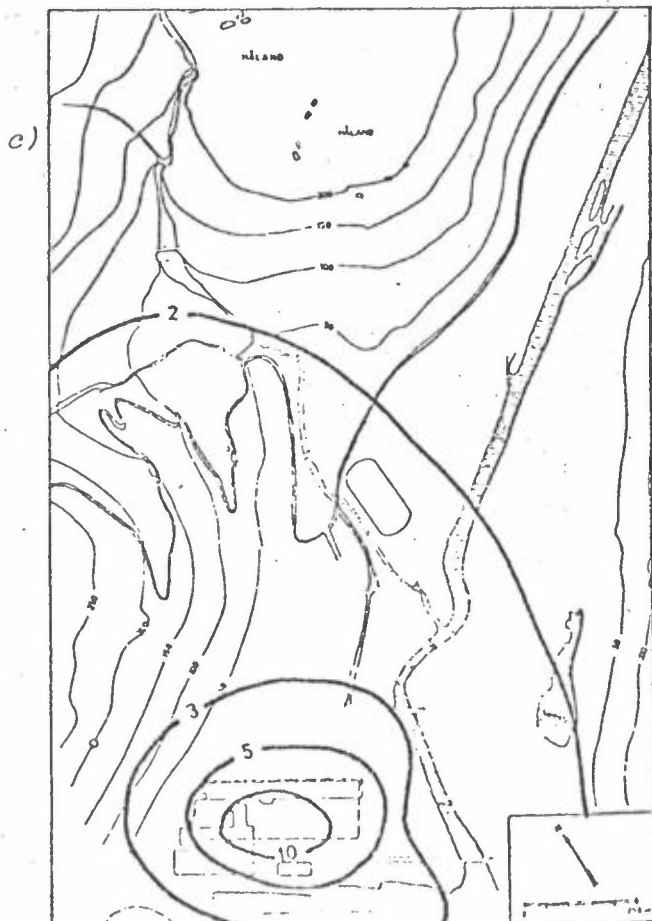
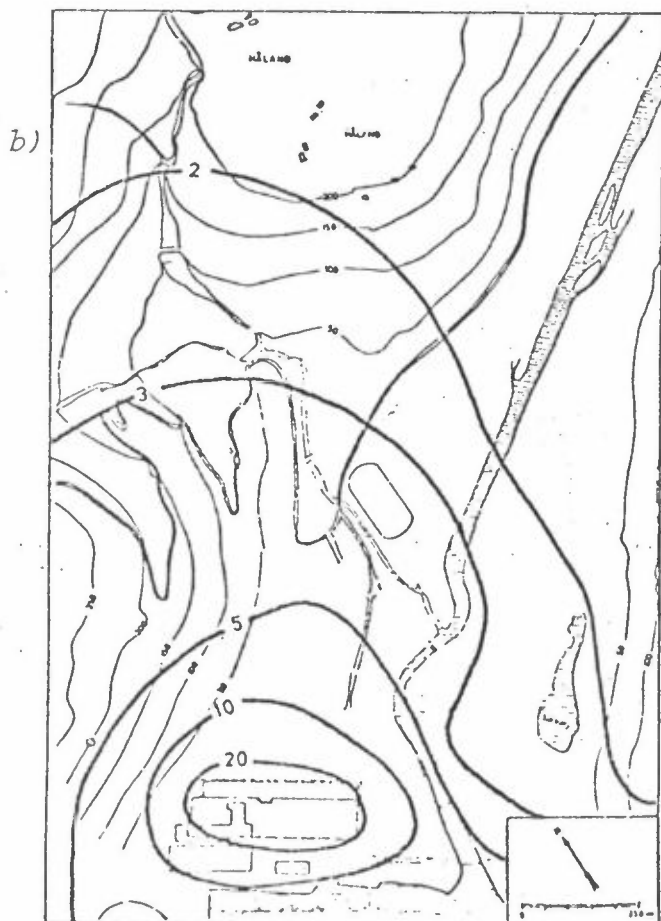
SFTs forslag til normer for halvårsmiddelverdier:

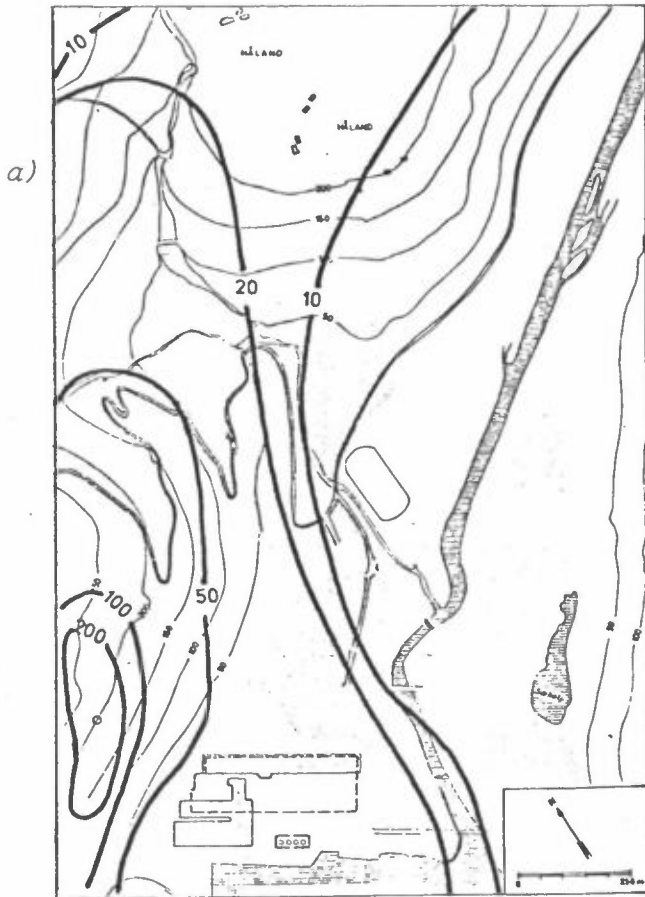
Sikkerhet mot helseeffekter:

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

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

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





Figur 5.7: Midlere SO_2 -konsentrasjoner ved spredningsforholdene observert i perioden april - september 1978.

a) SO_2 -utslipp av 1975/76.

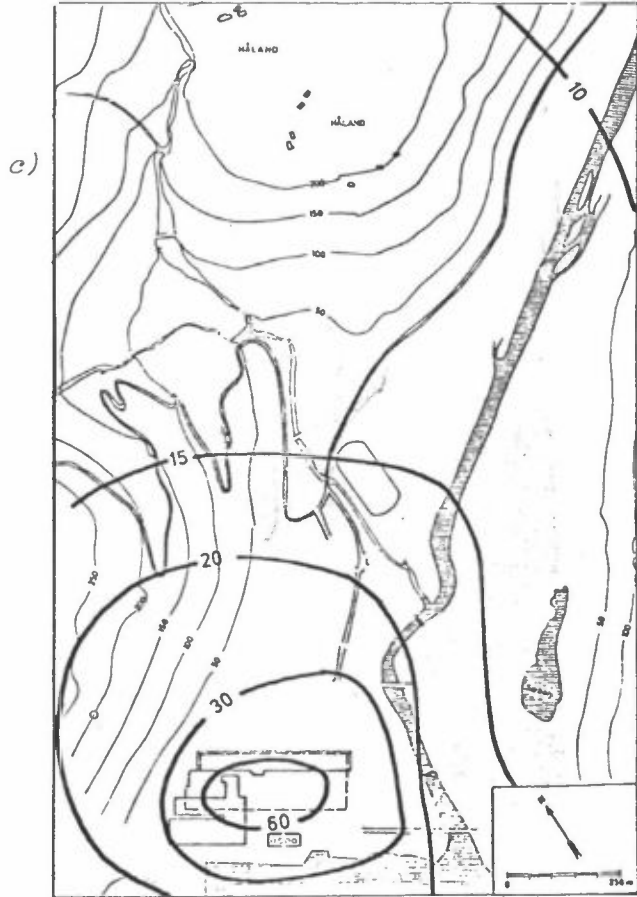
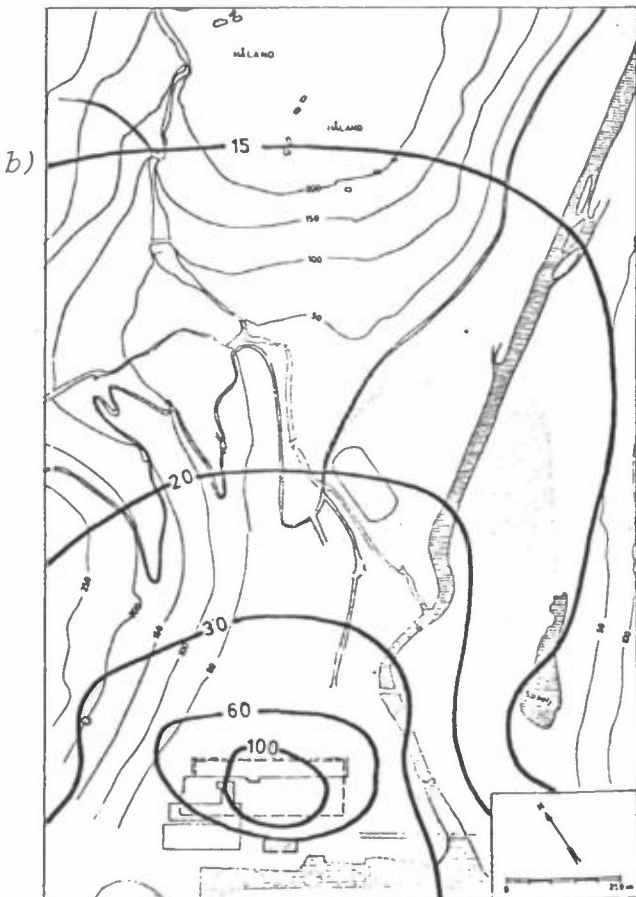
b) Utslippsalternativ 4.

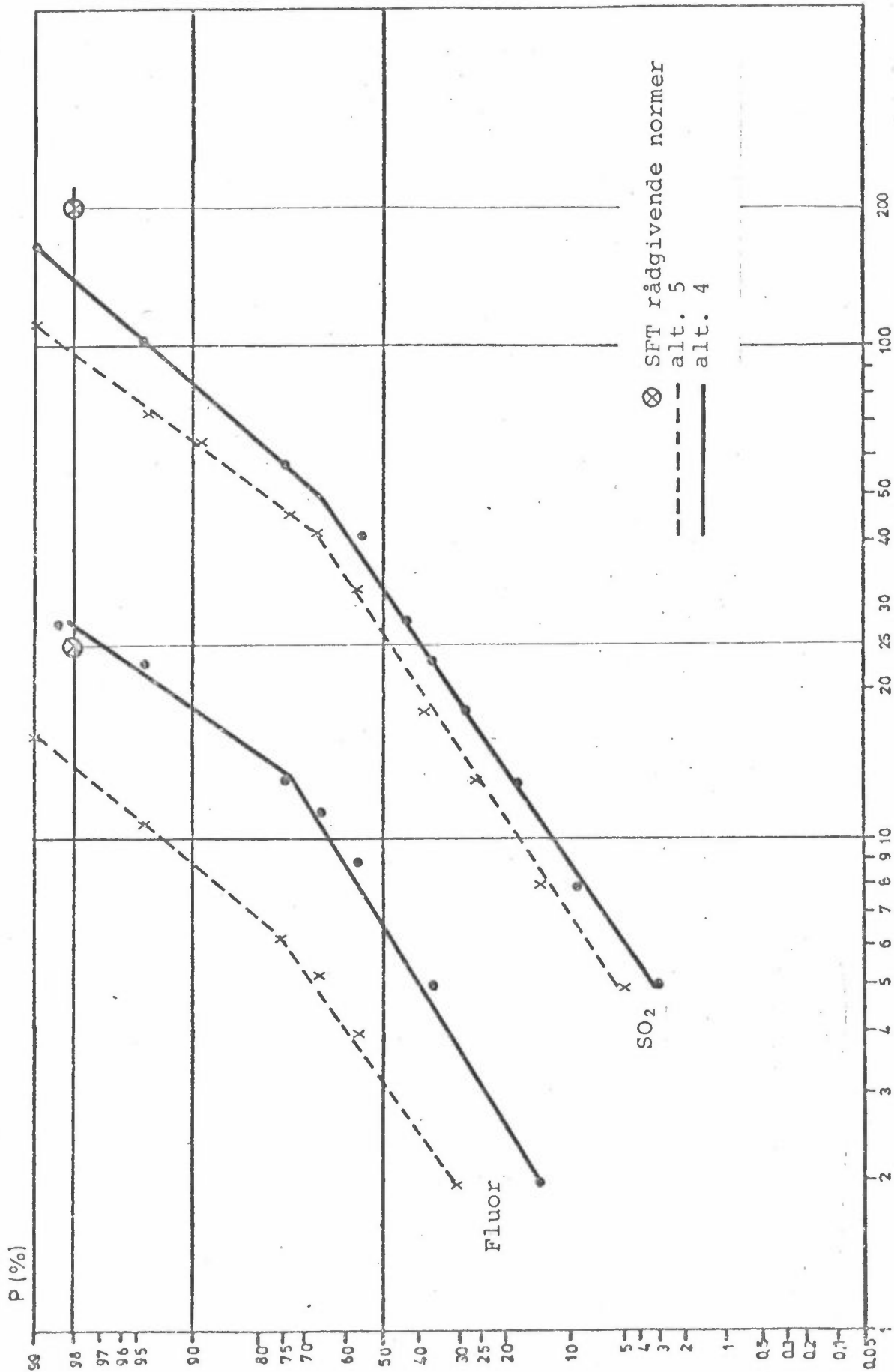
c) Utslippsalternativ 5.

SFTs forslag til normer for halvårsmiddeler:

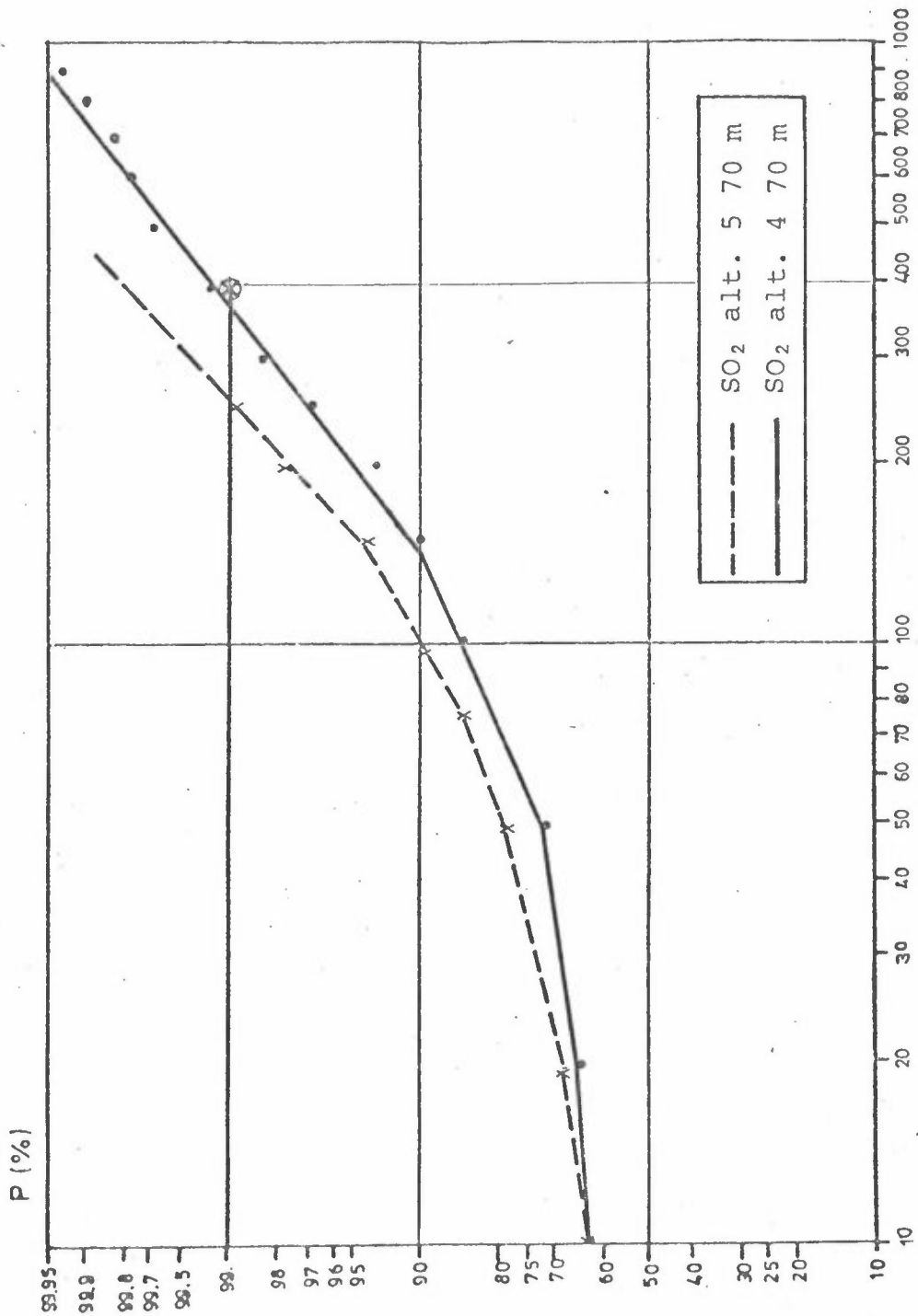
$60 \mu g SO_2/m^3$

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





Figur 5.8: Frekvensfordelingen (P) av 24 timers verdier av fluor og SO₂-konsentrasjonen i maksimumssonen ved fabrikkområdet. Spredningsforhold fra perioden 1.4 - 30.9.78.



Figur 5.9: Frekvensfordelingen (P) av timevise verdier av SO₂-konsentrasjonene ved utslippsalternativene 4 og 5. Spredningsforholdene fra perioden 1.4.-30.6.78.

6 REFERANSER

- (1) Gotaas, Y. Atmospheric dispersion in valleys. Part I. Kjeller, Forsvarets Forskningsinstitutt, 1974. (FFI. NDRE report no. 65.)
- (2) Eidsvik, K. Turbulence measurements over rough inhomogeneous terrain, Kjeller, Forsvarets Forskningsinstitutt, 1968. (FFI. Intern report K-301.)
- (3) Sivertsen, B.
Lamb, B. Undersøkelse av spredningsforholdene i Høyanger ved hjelp av sporstoff. Lillestrøm 1978. (NILU TN 10/78.)
- (4) Pasquill, F. Some topics relating to modelling of dispersion in boundary layer. Washington D.C. 1975. (EPA-650/4-75-015.)
- (5) Busch, N.E.
Chaug, 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).
- (6) Hanna, S.R. A review of the influence of new boundary layer results on diffusion prediction techniques. Proceedings of WMO symposium on boundary layer physics applies to specific problems of air pollution. Norrköping 1978. (WMO-No 510.)
- (7) Neumann, J. Some observations on the simple exponential function as a lagrangian velocity correlation function in turbulent diffusion. *Atmos. Environ.*, 12 p. 1665-1668 (1978).
- (8) Lamb, B.K.
Skogvold, O.F. A tracer investigation of the wake downwind of an aluminium smelter hall. Lillestrøm 1978 (NILU OR 26/78.)

- (9) Pasquill, F. Atmospheric dispersion parameters in Gaussian plume modeling part II. Possible requirements for change in turner workbook values. Research Triangle Park, North Carolina 1976 (EPA-600/4-6-03b.)
- (10) Grønskei, K.E. Registrering av vind og stabilitetsforhold i Høyanger i perioden oktober 1977 - oktober 1978. Lillestrøm 1979. (NILU TN 1/79.)

VEDLEGG A
SPREDNINGSBEREGNINGER I HØYANGER
FORENKLET LINGNINGSSYSTEM SOM BESKRIVER
VIND, TEMPERATUR OG TURBULENS I LUFT-
SJIKTET NÆRMEST BAKKEN.

FORENKLET LIGNINGSSYSTEM SOM BESKRIVER VIND, TEMPERATUR OG
TURBULENS I LUFTSJIKTET NÆRMEST BAKKEN.

I følge Busch et.al (4) kan en benytte Monin Oboukov's simu-
laritetsteori, samt Busingers empirisk bestemte universal-
funksjoner til å estimere turbulent utveksling av varme og
moment i luftsjiktet nærmest bakken. Følgende ligninger løses
ved iterasjon for å bestemme den vertikale utveksling av be-
vegelsesmengde og varme.

$$\zeta \stackrel{\text{def}}{=} \frac{z+z_0}{L} \quad ; \quad L \stackrel{\text{def}}{=} - \frac{C_p \rho T_0 u_{*0}^3}{k g H_0}$$

Når $\zeta < 0$:

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{k} \left(\ln \frac{z}{z_0} - \Psi_1 \right) \quad (\text{A1})$$

$$\Psi_1 = 2 \ln \left(\frac{1+x}{2} \right) + \ln \left(\frac{1+x^2}{2} \right) - 2 \tan^{-1} (x + \pi/2)$$

$$x = (1 - 15 \zeta)^{1/4} = \phi_m^{-1}$$

$$\frac{\bar{\theta} - \theta_0}{\theta_*} = 0.74 \left(\ln \frac{z}{z_0} - \Psi_2 \right) \quad (\text{A2})$$

$$\Psi_2 = \ln \left(\frac{1+y}{2} \right)$$

$$y = (1 - 9\zeta)^{1/2} = 0.74 \phi_m^{-1}$$

Når $\zeta > 0$

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{k} \left(\ln \frac{z}{z_0} + 4.7 \zeta \right) \quad (\text{A3})$$

$$\frac{\bar{\theta} - \theta_0}{\theta_*} = 0.74 \ln \frac{z}{z_0} + 4.7 \zeta \quad (\text{A4})$$

$$\phi_m = 1 + 4.7 \zeta$$

$$\phi_h = 0.74 + 4.7 \zeta$$

Symbolliste:

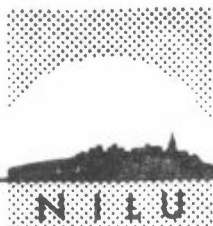
- z : vertikalkoordinat i m
 z_0 : ruhetsparameteren. I samsvar med Høgstrøms empiriske data settes den lik 0.4 m over land i Høyanger, $1 \cdot 10^{-3}$ over fjorden.
 L : Monin Obukhov lengden L .
 C_p : Luftens spesifikke varme ved konstant trykk.
 ρ : Luftens tetthet.
 T_0 : Temperaturen ved bakken.
 u_*^2 : $\overline{-u'w'}$ vertikalutveksling av moment
 $u_* \theta_*^0$: $\frac{\overline{w'\theta'}}{w'\theta'}$ = $H_0/C_p \rho$) vertikalutveksling av varme
 k : von Karmanns konstant
 z_0 : ruheten definert slik at $u = 0$ ved $z = z_0$
 L : Monin - Oboukov's lengde
 ϕ_m : dimensjonsløs temperaturgradient $\left[(kz/\theta_*) \left(\frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z} \right) \right]$
 ϕ_m : dimensjonsløs vindendring med høyden $\left[(kz/u_*) \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right) \right]$

I følge Hanna (5) er det nær sammenheng mellom turbulent utveksling av varme (K_h) og turbulent utveksling av forurensning (K_z) og en benytter formelen

$$K_h = K_z = 0.35 u_* z / \phi_h(z/L)$$

Denne parameteren brukes senere til å beregne spredning av forurensninger.

En benytter timesvise målinger av vindhastighet i 25 m temperatur i 25 m nivå og 3 m nivå over parken som utgangdata. Ligningen A1 og A2 eller A3 og A4 brukes til å beregne nye verdier for henholdsvis u_* og θ_* . Iterasjonsprosedyren konvergerer raskt.



NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING

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

TLF. (02) 71 41 70

RAPPORTTYPE Oppdragsrapport	RAPPORTNR. OR 2/79	ISBN--82-7247- 085-3
DATO MARS 1979	ANSV.SIGN. O.F.Skogvold	ANT.SIDER OG BILAG 36 1
TITTEL Spredningsberegninger i Høyanger	PROSJEKTLEDER K.E.Grønskei	NILU PROSJEKT NR 22477
	FORFATTER(E) K.E.Grønskei	TILGJENGELIGHET ** A OPPDRAGSGIVERS REF.
OPPDRAGSGIVER Årdal og Sunndal Verk A/S		
3 STIKKORD (å maks.20 anslag) Spredningsberegninger Høyanger	Turbulensestimat	
REFERAT (maks. 300 anslag, 5-10 linjer) Timesverdiene for turbulensforholdene er brukt til å estimere spredningen. Spredning i horisontalplanet er estimert ved instantane vindmålinger hvert 5.minutt 25 m over bakken. Vertikalspredninger er beregnet på grunnlag av simularitets-teorien. Spredningsberegningene er kontrollert ved resultatet av sporstoffundersøkelsene. Beregnede frekvensfordelinger er justert ved resultatet av SO ₂ -målinger.		
TITTEL Dispersion calculations in Høyanger		
ABSTRACT (max. 300 characters, 5-10 lines) Hourly vales of turbulence parameters are used to estimate dispersion. Instantaneous wind measurement each 5.minute at 25 m level are used to estimate horizontale dispersion. The vertical dispersion estimate are based on similarity theory. The calculations are tested by results of tracer investigations. Calculated frequency distributions of pollution concentrations are ajusted by SO ₂ measurements.		

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