

NILU
Oppdragsrapport nr 76/74
Referanse: EO-2-35.73
Dato: Mars 1974

TILLEGGSRAPPORT OM MULIGHET
FOR DANNELSE AV FOTOKJEMISK SMOG
I FORBINDELSE MED
RAFNES-UTBYGGINGEN

Jørgen Schjoldager
Bjarne Sivertsen

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
POSTBOKS 115, 2007 KJELLER
NORGE

INNHOLDFORTEGNELSE

	Side
1 INNLEDNING	1
2 UTSLIPPSDATA	2
2.1 Hydrokarboner (etylen)	2
2.2 Nitrogenoksyder	3
3 VURDERINGSGRUNNLAG FOR FOTOKJEMISK SMOG	5
4 SPREDNINGSBEREGNINGER	6
4.1 Generelt om spredningsberegningene	6
4.2 Spredning ved vind fra Rafnes mot Herøya	6
4.3 Spredning ved vind fra Herøya mot Rafnes	7
4.4 Spredningsberegninger for land/sjøbris- situasjoner	10
4.4.1 Gaussisk spredningsmodell	11
4.4.2 Spredning i stabil landbris som instabiliseres over Frierfjorden	12
4.4.3 Konsentrasjoner ved en enkel boksmøll ..	13
5 LITT OM SANNSYNLIGHETEN FOR DE METEOROLOGISKE SITUASJONENE	14
5.1 Vind Rafnes - Herøya	14
5.2 Vind Herøya - Rafnes	14
5.3 Land/sjøbris	14
6 DISKUSJON	15
7 KONKLUSJON	17
8 LITTERATURLISTE	18
9 BILAG	20

1 INNLEDNING

I januar/februar leverte NILU en rapport til Røykskaderådet som behandlet muligheten for dannelse av fotokjemisk smog i forbindelse med Rafnes-utbyggingen. Denne rapporten bygde på utslippstall for den eksisterende industri i området og på tall som Norsk Hydro a/s hadde oppgitt for Rafnes-utbyggingen. Rapporten konkluderte med at i visse vind-situasjoner var det mulighet for dannelse av fotokjemisk smog i sommerhalvåret.

Da konklusjonene fra denne rapporten ble kjent, opplyste de involverte industribedriftene (Norsk Hydro a/s og senere også Saga Petrokjemis A/S & Co) at de utslippstallene som de først hadde oppgitt for Rafnes, kunne reduseres betraktelig.

På møte i Miljøverndepartementet 5. februar 1974 ble det bestemt at NILU skulle utarbeide en tilleggsrapport basert på de nye og reduserte utslippstallene fra industrien. Det er denne tilleggsrapporten som herved foreligger. Denne må ses i sammenheng med den første rapporten, idet den første inneholder mye generelt stoff om fotokjemisk smog og forholdene i Nedre Telemark som ikke er gjentatt i tilleggsrapporten.

Det understrekes at det i dette arbeidet ikke har vært NILU's oppgave eller ansvar å vurdere om de ulike utslippstallene er realistiske.

2 UTSLIPPSDATA

2.1 Hydrokarboner (etylen)

I tabell 1 er gjengitt utslippstallene for etylen fra den første rapporten sammen med de nye utslippstallene.

ANLEGG	Utslippstall pr 20.01.74		Utslippstall pr 20.02.74	
	Høyde (m)	Utslipp (kg/h)	Høyde (m)	Utslipp (kg/h)
Cracker		0		0
Vinylklorid- produksjon	50	120	50	10
Polyetylen- produksjon	40	100	ca 25 ¹⁾	30-60 ¹⁾
	10	100		
Sum		320		40-70

¹⁾ Oppgitt av Saga Petrokjemii A/S & Co. De øvrige tall er oppgitt av Norsk Hydro a.s.

Tabell 1: Utslippstall for etylen.

I den forrige rapporten (1) antok en at etylenutslippene hadde beliggenhet ca 500m fra hverandre langs kysten. Da denne antakelsen er svært usikker, har en nå valgt å la utslippene være plassert i samme punkt, men i forskjellig høyde. Punktkildeberegningene blir derved noe misvisende i de nærmeste områdene rundt Rafnes, idet de gir et noe for høyt estimat av konsentrasjonene.

2.2 Nitrogenoksyder

Fra salpetersyreproduksjonen har en regnet med et utslipp på 20 tonn/døgn, regnet som NO₂, som er det utslippet en venter fra sommeren 1974 (5).

I tillegg vil en i en del av beregningene ta med bidraget fra de andre nitrogenoksydkildene på Herøya. Disse utslippene ble oppgitt i den første rapporten (1), men en vil her foreta enkelte korreksjoner av tallene, fordi det er funnet en feil i kildematerialet. Feilen gjaldt data over forbruk av olje på Herøya. I forrige rapport baserte en seg dessuten på en utslippsfaktor på 11 kg NO₂ pr tonn forbrent olje (2). Ifølge nyere litteratur (3) er antakelig denne faktoren noe for høy. En riktigere verdi er 8,5 kg NO₂ pr tonn olje i gjennomsnitt (3).

Utslippene av nitrogenoksyder fra Herøya skjer i forskjellig høyde. Den største enkeltkilden (ekskl. salpetersyreproduksjonen) har også den største skorsteinshøyden (80 m). En har i beregningene skilt denne ut fra de øvrige, og kalt de øvrige "diffuse kilder". Med disse endringer får en følgende utslippstall for nitrogenoksyder fra Herøya (ekskl. salpetersyreproduksjonen), regnet som NO₂:

80 m skorstein	1,7 tonn/døgn	(70 kg/h)
Diffuse kilder	2,7 " "	(112 kg/h)
Sum	4,4 tonn/døgn	

Tallene for Bamble Cellulose og Norcem (Dalen) er også korrigert noe og er anslått til:

Bamble Cellulose	0,5 tonn/døgn	(regnet som NO ₂)
Norcem (Dalen)	2,7 " "	(" " ")

En kjenner også nå til antatt energibehov på Rafnes. På grunnlag av dette kan en anslå utslippene av nitrogenoksyder herfra.

Energibehovet er oppgitt til (4):

Dampsentral (gassfyring)	120.000	tonn olje-ekvivalenter	pr år		
Øvrig gassfyring	158.000	"	"	"	"
Fyring med olje	25.000	"	"	"	"

Den gasstypen det er tale om, har en sammensetning som likner den for naturgass (5). Følgende utslippsfaktorer er brukt (3):

Gass:	4,5	kg NO ₂	pr tonn olje-ekvivalent		
Olje:	8,5	"	"	"	"

På dette grunnlaget får en følgende utslippstall for nitrogenoksyder (regnet som NO₂) fra Rafnes:

Dampsentral	1,5	tonn/døgn
Øvrig gassfyring	1,9	"
Fyring med olje	0,6	"
Sum	4,0	tonn/døgn

3 VURDERINGSGRUNNLAG FOR FOTOKJEMISK SMOG

De kriterier en har valgt for om fotokjemisk smog skal dannes eller ikke, refererer seg til de amerikanske normene for luftkvalitet. Det er særlig normen for hydrokarboner som har interesse, fordi denne er gitt spesielt med tanke på fotokjemisk smog. Normen sier at en maksimal 3-timers midlet konsentrasjon av hydrokarboner på $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ikke må overskrides mer enn én gang pr år (1).

Standardene for nitrogenoksyder varierer en god del fra land til land (1), og er ikke gitt spesielt med tanke på fotokjemisk smog.

Videre må en ta hensyn til reaksjonstiden for dannelse av fotokjemisk smog. Som nevnt i den forrige rapporten (1) har en anslått nødvendig reaksjonstid fra 30 til 150 minutter. Til reaksjonstiden knytter det seg imidlertid flere usikkerhetsmomenter, blant annet fordi klor og karbonmonoksyd (som slippes ut i Frierfjord-området) kan bidra til å redusere denne. Videre vil reaksjonstiden selvsagt være avhengig av lys- og konsentrasjonsforholdene.

Som et forsøk på å velge et vurderingsgrunnlag som er entydig (men som naturligvis likevel kan diskuteres), har en derfor valgt følgende:

Dersom nitrogenoksyder og etylen er blandet sammen i høye nok konsentrasjoner i lengre tid enn ca 30 minutter, anses muligheten til stede for dannelse av fotokjemisk smog. Dersom enten konsentrasjonene ikke er høye nok, eller blandingstiden ikke er lang nok, anses muligheten ikke å være til stede for dannelse av fotokjemisk smog.

4 SPREDNINGSBEREGNINGER

4.1 Generelt om spredningsberegningene

Basert på de nye utslippsdata er det foretatt beregninger av etylen- og nitrogenoksydkonsentrasjonene i områdene rundt Friertfjorden. Beregningene er som tidligere basert på en gaussisk punktkildemodell for spredning av gass i luft. En mer fullstendig dokumentasjon av modellen er presentert i bilag A. I tillegg til denne modellen har en anvendt modifiserte gauss-modeller for spesielle sprednings-situasjoner og en enkel boksmodell i situasjoner med svak eller udefinerbar vind. Disse er også presentert i bilag A.

En har som i den første rapporten sett på tre situasjoner hvor etylenutslippene fra Rafnes kan kombineres med nitrogenutslippene fra Herøya:

1. Vind fra Rafnes mot Herøya.
2. Vind fra Herøya mot Rafnes.
3. Land/sjøbris.

Resultatene av beregningene med den gaussiske punktkilde-modellen er presentert i bilag B. Nedenfor følger en sammenfatning av de beregnede konsentrasjonene av etylen og nitrogenoksyder for de nye utslippsdata.

4.2 Spredning ved vind fra Rafnes mot Herøya

Basert på likningsettet A1 - A5 i bilag A, har en beregnet konsentrasjonen av etylen over Herøya. Ved den gitte vindretningen har en antatt nøytral atmosfære og vindstyrke 4 m/s. Beregningene er gjengitt i tabell 2.

Gass	Utslipps- mengde (kg/h)	Utslipps- høyde (m)	Stab- ilitet	Vind- styrke (m/s)	Beregnings- nivå (m)	Konsentrasjon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Etylen	10	50	Nøytral	4	50	40
	45	25			100	30

Tabell 2: Etylenkonsentrasjon over Herøya ved vind fra sørvest, som resultat av utslipp fra Rafnes.

En ser at konsentrasjonen av etylen er ca 30 - 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i en høyde av 50 - 100 m over bakken ved Herøya. Selv om en har mer enn nok nitrogenoksyder og sterkt sollys over Herøya, er konsentrasjonen av etylen nå så lav at muligheten for dannelse av fotokjemisk smog i denne situasjonen er ubetydelig.

4.3 Spredning ved vind fra Herøya mot Rafnes

Den gaussiske punktkildemodellen (likning A1 - A5) er anvendt på nitrogenoksydutslippene fra 100 m pipa (salpetersyreproduksjonen) på Herøya. Konsentrasjonen av nitrogenoksyder som resultat av dette utslippet alene er vist i tabell 3. En har også estimert konsentrasjonen ved Rafnes forutsatt at den stabile luften instabiliseres over land (modifisert sjøbrismodell).

Gass	Utslipps- mengde (kg/h)	Utslipps- høyde (m)	Stab- ilitet	Vind- styrke (m/s)	Beregnings- nivå (m)	Konsentrasjon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
NO ₂	835	100	Stabil xx)	2	50	4000
				2	0 - 100	1350

xx) beregnet etter modifisert sjøbrismodell.

Tabell 3: Nitrogenoksydkonsentrasjoner over Rafnes som resultat av utslipp fra salpetersyreproduksjonen alene (vind fra nordøst).

Hvis en antar at luftstrømmen er stabil i hele sjiktet over Frierfjorden, vil konsentrasjonen av nitrogenoksyder 50 m over bakken ved Rafnes være ca 4 mg/m³ (som NO₂). Selv om en instabilisering fra bakken sprer forurensningene jevnt i et sjikt fra bakken til 100 meters nivå, er middelkonsentrasjonen i dette sjiktet over Rafnes godt over 1 mg/m³ (som NO₂).

Betydningen av de øvrige nitrogenoksydutslippene fra Herøya er også undersøkt. Det er oppgitt 112 kg/h (regnet som NO₂) fra forskjellige steder på Herøya. Spredningen av disse er beregnet som fra en "volumkilde" med spredningstverrsnitt A = (200 x 50) m² (se bilag A, likning A6). Dessuten slippes det ut 70 kg/h (regnet som NO₂) fra en 80 m høy pipe.

Det er antatt stabil sjiktning over Frierfjorden midt på dagen i sommerhalvåret og vindstyrke 2 m/s fra nordøst. Konsentrasjonen av nitrogenoksyder over Rafnes som resultat av andre kilder enn salpetersyreproduksjonen er vist i tabell 4.

Gass	Utslippsmengde (kg/h)	Utslipps-høyde (m)	Stabilitet	Vindstyrke (m/s)	Beregningsnivå (m)	Konsentrasjon (µg/m ³)
NO ₂	112	40 x)	Stabil	2	50	690
					0	600
NO ₂	70	80	Stabil	2	50	1300
					0	640

x) beregnet som volumkilde.

Tabell 4: Nitrogenoksydkonsentrasjoner over Rafnes som resultat av andre kilder enn salpetersyreproduksjonen på Herøya.

Tabellen viser at disse kildene alene bidrar til konsentrasjoner av nitrogenoksyder i størrelsesorden 1 til 2 mg/m³ i de laveste 50 m over bakken ved Rafnes.

Vurderer en nitrogenoksydutslippene fra Herøya samlet, synes det å være klart at disse ved vind fra nordøst vil bidra til konsentrasjoner ved Rafnes som er høye nok til at fotokjemiske reaksjoner kan starte.

Det gjenstår å vurdere etylenkonsentrasjonene sørvest for Rafnes under de samme vindforhold. Det antas at luftmassen instabiliseres raskt på sommerdager ved transport over ulendt og oppvarmet terreng sørvest for Rafnes.

Basert på den gaussiske spredningsmodellen har en beregnet etylenkonsentrasjonen på bakken og i 30 m nivå for instabile og nøytrale atmosfæriske forhold. Resultatet er vist i tabell 5. (Ytterligere beregningsresultater for spredning av etylen er vist i bilag C.)

Gass	Utslippsmengde (kg/h)	Utslipps-høyde (m)	Stabilitet	Vindstyrke (m/s)	Beregningsnivå (m)	Konsentrasjoner (µg/m ³)					
						Avstand (m) →					
						200	400	1000	2000	3000	5000
Etylen	10	50	Nøytral	2	0	1300	1400	600	230	120	50
					30	3600	1400	520	200	120	50
	45	25	Instabil	1	0	2900	1180	275	85	45	20
					30	2500	1070	260	80	40	18

Tabell 5: Etylenkonsentrasjoner langs røykskyens akse i forskjellige avstander sørvest for Rafnes, beregnet for sommerdager.

Tabellen viser at ca 3 km fra Rafnes vil etylenkonsentrasjonen langs røykskyens akse være redusert til omkring $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i nøytral sjiktning, $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i instabil sjiktning. Tiden røykskyen trenger for å transporteres 3 km fra Rafnes ved vindstyrke 2 m/s er ca 25 minutter.

Av dette kan en slutte at hvis reaksjonstiden for dannelse av fotokjemiske oksydanter er vesentlig mindre enn $\frac{1}{2}$ time, er muligheten for dannelse av oksydanter til stede. Hvis reaksjonstiden er vesentlig mer enn $\frac{1}{2}$ time, er muligheten for oksydanter også ved denne vindretningen ubetydelig. En relativt liten økning av etylenutslippene kan imidlertid være kritisk i disse situasjonene.

4.4 Spredningsberegninger for land/sjøbrissituasjoner

Solgangsbrissituasjonene består av et sett forskjellige spredningssituasjoner og vindretninger med et karakteristisk døgnlig mønster (1). Beregninger av spredningen i slike situasjoner lar seg ikke utføre ved en enkel modell som i de tidligere situasjonene. En har derfor konsentrert oppmerksomheten om den delen av land/sjøbrisfenomenet som er av størst interesse ved vurderingen av muligheten for fotokjemiske reaksjoner. Dette antas å være morgen- og formiddagstimene, mens en ennå har landbris og før sjøbrisen setter inn og bringer gassblandingene innover mot land igjen. En har derfor forsøkt å beregne konsentrasjonene av etylen og nitrogenoksyder over Frierfjorden i morgentimene.

4.4.2 Spredning i stabil landbris som instabiliseres over Frierfjorden

Som et supplement til beregningene i det foregående kapitlet, har en anvendt en modifisert sjøbrismodell (presentert i bilag A) til å beregne nitrogenoksyd-konsentrasjonene over Frierfjorden tidlig på formiddagen, mens landbrisen ennå er virksom.

Konsentrasjonene over Frierfjorden ca 4 km fra Herøya og ca 3 km fra Rafnes er vist i tabell 7:

Gass	Utslipps- mengde (kg/h)	Utslipps- høyde (m)	Stabilitet	Vind- styrke (m/s)	Beregnings- nivå (m)	Konsentrasjon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
NO ₂	835	100	xx)	2	0 - 100	1300
	70	80	xx)			150
	112	40 x)	Instabil/ Nøytral			110
Etylen	10	50	Nøytral	2	50	~80
	45	25				
	55	30 x)	xx)	2	0 - 50	~60

x) beregnet som volumkilde.

xx) stabil landbris, lett instabil over Frierfjorden (sperrsjikt ikke høyere enn 100 m).

Tabell 7: Konsentrasjoner over Frierfjorden i formiddagstimene før sjøbrisen setter inn, beregnet etter en modifisert sjøbrismodell.

4.4.1 Gaussisk spredningsmodell

For å angi konsentrasjonsnivåene over Frierfjorden i landbrisen, har en først foretatt beregninger etter likningsettet A1 - A5 i bilag A. Røykskyenes utstrekning er vist (som i den første rapporten) i bilag B, og en del resultater er gjengitt i tabell 6.

Gass	Utslippsmengde (kg/h)	Utslipps-høyde (m)	Stabilitet	Vindstyrke (m/s)	Beregningsnivå (m)	Konsentrasjon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
NO ₂	835	100 + ΔH	Stabil	2	50	~100
	112	40 x)				600
	70	80				600
Etylen	45	10				~300
	10	50				

x) som volumkilde.

Tabell 6: Etylen og nitrogenoksyd-konsentrasjoner i 50 m nivå over Frierfjorden. (Gaussisk spredningsmodell.)

Forutsatt at landbrisen er stabil over Frierfjorden og at middelvindstyrken er 2 m/s vil konsentrasjonen av nitrogenoksyder 50 m over Frierfjorden være ca $1300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (regnet som NO₂) og konsentrasjonen av etylen ca $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Disse konsentrasjonene vil forekomme i relativt smale røykskyer, og det er et spørsmål om hvorvidt landbrisen holder seg stabil så langt ute i Frierfjorden. En har derfor også sett på konsentrasjonene over Frierfjorden hvis landbrisen instabiliseres nedenfra.

Konsentrasjonen av nitrogenoksyder synes å være høy nok til at fotokjemiske reaksjoner kan komme i gang, mens etylenkonsentrasjonene sannsynligvis blir for lave. Hvis en antar at gassene spres ytterligere idet de transporteres mot land idet sjøbrisen setter inn, synes det som om sannsynligheten for fotokjemisk smog er redusert til bortimot null.

4.4.3 Konsentrasjoner ved en enkel boksmodell

For å vise at konsentrasjonsområdene en opererer med i de ovennevnte beregningene er av riktig størrelsesorden, har en for morgensituasjonen, med kaotiske vindforhold og et sperresjikt ca 200 m over bakken, anvendt en enkel "boksmode"ll som skissert i bilag A. Middelkonsentrasjonen av nitrogenoksyder (som NO₂) og av etylen i et tverrsnitt av boksen (2 km bred og 200 m høy) er vist i tabell 8.

Gass	Utslippsmengde (kg/h)	Boksens dimensjon (m ²)	Middelgjennomstrømning (m/s)	Konsentrasjon (µg/m ³)
NO ₂	835	2000x200	0,5	1400
Etylen	55			75

Tabell 8: Middelkonsentrasjonen over Frierfjorden i en enkel boksmode"ll.

Når en anvender denne enkle boksmode"llen for tidspunktet umiddelbart før vinden snur fra nordlig landbris til sørlig sjøbris, er middelkonsentrasjonene over Frierfjorden av samme størrelsesorden som de en beregnet i foregående kapittel. I boksmode"llen er imidlertid gassene spredt jevnt over et større område.

En mest mulig realistisk modell for denne delen av solgangsbrisfenomenet ligger sannsynligvis et sted mellom den gaussiske punktkildemode"llen, som ga sterke gradienter med svært høye konsentrasjoner i maksimumsområdene, og denne enkle boksmode"llen.

5 LITT OM SANNSYNLIGHETEN FOR DE METEOROLOGISKE SITUASJONENE

5.1 Vind Rafnes - Herøya

Denne situasjonen har ut fra spredningsberegningene vist seg å være relativ uinteressant. En vil derfor kun gjenta fra den første rapporten at frekvensen av denne transportretningen ligger mellom 4 og 20% av tiden om sommeren. En nærmere undersøkelse av døgnlig variasjon i vindfeltet ved Herøya og ved Asdal (sør for Rafnes) viser at transport av avgasser fra Rafnes mot Herøya om dagen kan ventes å forekomme gjennomsnittlig ca 3 dager pr måned om sommeren.

5.2 Vind Herøya - Rafnes

Da denne spredningssituasjonen synes å ha en viss interesse for muligheten for fotokjemiske reaksjoner, har en undersøkt frekvensen av den noe nærmere i bilag D. På dagen om sommeren kan en vente at denne spredningsretningen forekommer mellom 5 og 10% av tiden, eller maksimalt ca 3 dager pr måned i sommermånedene.

5.3 Land/sjøbris

Frekvensen av solgangsbrisfenomenet er ikke undersøkt nærmere, utover hva som ble gjort i den første rapporten. En gjentar derfor at rene solgangsbrissituasjoner kan ventes å forekomme gjennomsnittlig ca 5 dager pr måned i sommermånedene.

6 DISKUSJON

På grunnlag av amerikanske normer og også på målinger foretatt i andre land under situasjoner med fotokjemisk smog (1) har en satt opp et kriterium for igangsetting av fotokjemiske reaksjoner i Nedre Telemark.

Lysforholdene er blitt undersøkt i den første rapporten (1) og funnet å være tilstrekkelig gode om dagen i sommerhalvåret til at fotokjemiske reaksjoner kan settes i gang.

Konsentrasjonene av de enkelte stoffene er beregnet ut fra de oppgitte utslippsmengdene og kjente modeller for atmosfærisk spredning. Spredningsforholdene i beregningene er valgt ut fra meteorologiske data tidligere samlet i området.

En har i denne tilleggsrapporten kommet fram til konklusjoner som avviker fra de som ble presentert i den første rapporten. En presiserer at dette bare er et resultat av at utslippene av etylen på Rafnes er redusert betraktelig i forhold til det som først ble oppgitt. Bortsett fra enkelte mindre justeringer er de øvrige forutsetningene holdt uendret.

På grunnlag av spredningsberegningene synes det klart at det er nok nitrogenoksyder i området til at fotokjemiske reaksjoner kan starte. Den kritiske komponenten i hele regnestykket er etylenkonsentrasjonen som resultat av utslippene på Rafnes.

En har ikke tatt hensyn til at det på Rafnes vil være et visst utslipp av nitrogenoksyder som vist i kapittel 2. Faren for at disse utslippene, som er langt mindre enn de fra Herøya, skal gi blanding med etylenutslippene, kan reduseres ved at nitrogenoksyder slippes ut gjennom høye skorsteiner på Rafnes.

Til slutt vil en presisere at en i denne og foregående rapport ikke har vurdert andre mulige luftforurensningsproblemer i forbindelse med Rafnes-utbyggingen enn de som skyldes nitrogenoksyder og hydrokarboner og sammenblandingen av disse.

7 KONKLUSJON

En har drøftet muligheten for dannelse av fotokjemisk smog i Nedre Telemark som følge av eventuell blanding av nitrogenoksyder fra Herøya med etylen fra Rafnes under innvirkning av sollyst. Vurderingene er basert på nye og reduserte utslippstall oppgitt av Norsk Hydro a.s. og Saga Petrokjemi A/S & Co.

En har undersøkt tre vindsituasjoner:

1. Sørvestlig vind.
2. Nordøstlig vind.
3. Solgangsbris.

Med de nye utslippstallene vil virkningen av fotokjemisk smog i tilfelle 1 og 3 være redusert til nærmest null.

I tilfelle 2, som forekommer maksimalt 3 dager pr måned i sommermånedene, er konsentrasjonene på grensen av det som en teoretisk kan betrakte som nødvendig for fotokjemisk smogdannelse. En kan derfor på det nærmeste se bort fra muligheten også i dette tilfellet.

I alle de tre tilfellene anser en at konsentrasjonen av nitrogenoksyder er høy nok for dannelse av fotokjemisk smog. Begrensningen ligger i konsentrasjonen av etylen. Denne konklusjonen er derfor helt avhengig av at de nye og reduserte utslippstallene for etylen ikke overskrides vesentlig.

8 LITTERATURLISTE

- (1) Schjoldager, J.,
Sivertsen, B. Vurdering av muligheten for
dannelse av fotokjemisk smog
i forbindelse med Rafnes-
utbyggingen.
NILU Oppdragsrapport nr 73/74,
januar 1974.
- (2) Grønskei, K.E.,
Schjoldager, J.,
Stige, L. Plan for undersøkelse av luft-
forurensningene i Nedre
Telemark i perioden
1.7.1973 - 30.6.1974.
NILU Teknisk notat nr 56/73,
juni 1973.
- (3) Compilation of Air Pollutant
Emission Factors, 2nd. Ed.
U.S. Environmental Protection
Agency, Publication No. AP-42,
Research Triangle Park 1973.
- (4) Oppgitt av Røykskaderådet.
- (5) Oppgitt av Norsk Hydro a.s.
- (6) Turner, D.B. Workbook on Atmospheric
Dispersion Estimates.
U.S. Dept. of Health, Education
and Welfare, Publication
No. 999-AP-26, Cincinnati 1969.
- (7) Slade, D.H. Meteorology and Atomic Energy.
USAEC 1968.
- (8) Smith, M. Recommended Guide for the
Prediction of the Dispersion of
Airborne Effluents.
ASME New York 1968.
- (9) Carson, J.E.,
Moses, H. The Validity of Several Plume
Rise Formulas.
J. Air Poll. Contr. Ass.,
vol. 19 (1969)
nr. 11, s. 862 - 866.

- (10) Briggs, G.A. Plume Rise. AEC Critical Review Series, Publication No. TID-25075, USAEC 1969.
- (11) Van der Hoven, I. Atmospheric Transport and Diffusion at Coastal Sites. Nuclear Safety, vol. 8 (1967) nr 5, s. 490 - 499.

9 BILAG

	Side
BILAG A : SPREDNINGSMODELLER.....	21
BILAG B : RESULTAT AV BEREGNINGER MED GAUSSISK PUNKTKILDEMODELL	26
BILAG C : ETYLENKONSENTRASJONER RUNDT RAFNES	34
BILAG D : METEOROLOGISKE FORHOLD (FREKVENNS AV NORDØSTLIG VIND)	36

SPREDNINGSMODELLER

A.1 Gaussisk punktkildemodell

De vanlige diffusjonslikningene for beregning av gassspredning fra et punktutslipp (skorstein) er utviklet for flatt homogent terreng. Det antas at konsentrasjonen av gass er Gauss-fordelt horisontalt og vertikalt normalt på vindretningen, at gassutslippene (Q) er kontinuerlige og at det ikke skjer kjemiske eller fysiske reaksjoner (utvasking, avsetning etc) under spredningen (6),(7). Konsentrasjonen (C) av gass z meter over bakken er gitt ved

$$C(x,y,z,H) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left\{-0,5(y/\sigma_y)^2\right\} \left[\exp\left\{-0,5\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right\} + \exp\left\{-0,5\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right\} \right] \quad A1$$

hvor σ_y og σ_z er standardavviket i røykskyens konsentrasjonsfordeling i henholdsvis horisontal- og vertikalplanet, u er middelvindstyrken som påvirker røykskyen, y er horisontalavstanden fra røykskyens akse og H er den effektive skorsteinshøyden. Med den effektive skorsteinshøyden menes summen av den fysiske pipehøyde (h_s) og den heving (Δh) røykfanen får på grunn av varmeoverskudd og utslippshastighet. I verdien for H kan det også tas hensyn til topografiske ujevnheter samt bygninger i spredningsområdet.

Den effektive skorsteinshøyden kan dermed defineres:

$$H = h_s + \Delta h \quad A2$$

Det finnes en rekke formler for beregning av skorsteins-overhøyden, Δh (9),(10). For å gi et overslag over røykhevningen av de nitrøse gassene fra 100 m pipa på Herøya, har en i nøytral og instabil atmosfære valgt å bruke et uttrykk for overhøyde gitt av Stümke:

$$\Delta h = (1,5 w d + 65 d^{3/2} ((T_s - T_a)/T_s)^{1/4})/u_s \quad A3$$

w er røykgassens utslippshastighet, d er pipas indre diameter, T_s er røykgasstemperaturen, T_a lufttemperaturen og u_s vindstyrken ved pipemunningen. Valget av overhøydeformel er basert på en vurdering av gassmengde, varmemengde og utslippsforhold.

For stabile forhold (inversjoner) har en beregnet overhøyden etter en formel utviklet av Briggs (10):

$$\Delta h = 2,9 (F/u_s)^{1/3}$$

$$\text{hvor } F = g w (d/2)^2 (T_s - T_a)/T_s \quad A4$$

$$\text{og } s = (g/T_a) \delta\theta/\delta z$$

$\delta\theta/\delta z$ er potensiell temperaturdifferens, og g er tyngdens akselerasjon.

Størrelsene av σ_y og σ_z gis vanligvis som spredningsparametre avhengig av atmosfærens tilstand (stabil, nøytral, ustabil). Spredningsparametrene er gitt i grafisk form av Turner (6) som funksjon av avstanden x fra utslippet. De kan også uttrykkes på formen:

$$\begin{aligned} \sigma_y &= a \cdot x^p \\ \sigma_z &= b \cdot x^q \end{aligned} \quad A5$$

I disse beregningene har en valgt verdier for konstantene a, b, p og q gitt av Smith (8)

Atmosfærens tilstand:	a	b	p	q
Instabil	0,36	0,33	0,86	0,86
Nøytral	0,32	0,22	0,78	0,78
Stabil	0,31	0,06	0,71	0,71

Tabell A1: Konstantene i spredningsparametrene gitt for tre stabilitetsklasser.

Spredningsparametrene gitt av likning A5 og tabell A1 gir konsentrasjoner for en midlingstid på 1 time.

Når det gjelder diffuse utslipp i umiddelbar nærhet av en bygning, kan en ikke lenger betrakte utslippene som en punktkilde. Når det blåser, vil det bak bygningen dannes virvler (turbulensdannelse), som resulterer i at gass vil spres effektivt over hele bygningstverrsnittet (turbulensområdet) før den transporteres videre og spres på normal måte. Spredningen rundt bygninger kan betraktes på flere måter. Her har en valgt en metode som betrakter utslippene i nærheten av en bygning som en volumkilde.

Dette gjøres ved at man betrakter spredningstverrsnittet (A) ved bygningen som en fortynningsfaktor (7) (8) idet en introduserer nye spredningsparametre:

$$\Sigma_y = (\sigma_y^2 + A/\pi)^{\frac{1}{2}}$$

A6

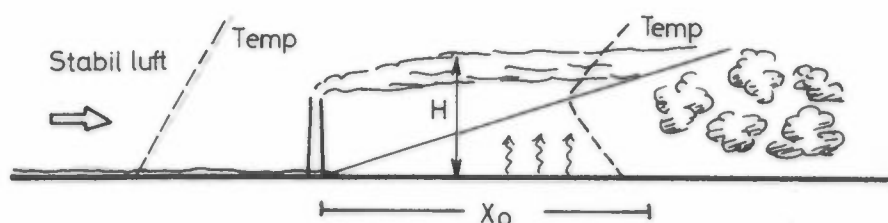
$$\Sigma_z = (\sigma_z^2 + A/\pi)^{\frac{1}{2}}$$

Bakkekonsentrasjonen langs aksene av røyktskyen beregnes av likningen:

$$C = Q / \left\{ \pi \Sigma_y \Sigma_z \cdot u \cdot \exp \left[0,5 (H/\Sigma_z)^2 \right] \right\} \quad A7$$

A.2 Modifisert sjøbrismodell

I tillegg til den enkle punktkildemodellen som er skissert ovenfor, har en anvendt en modifisert sjøbrismodell utviklet av Van der Hoven (11). Denne er basert på den gaussiske punktkildemodellen, men inkluderer effekter av endrete stabilitetsforhold på grunn av inhomogent underlag (terreng). Den er anvendt på en stabil luftmasse som transporteres over en varm flate, og således instabiliseres nedenfra.



Figur A1: Illustrasjon av modifisert sjøbrismodell.

Etter å ha funnet avstanden x_0 til det punkt der det instabile bunnsjiktet når røykskyens høyde, antar en at gassen raskt fordeles jevnt over høyden H , og inntar en homogen fordeling. I horisontalplanet normalt på transportretningen antar en gaussfordeling.

Standardavviket i konsentrasjonsfordelingen (spredningsparameteren σ_y) endres som i stabil atmosfære til avstanden x_0 , deretter øker spredningen som i lett instabil til nøytral atmosfære. Konsentrasjonen langs skyens akse fra bakken til høyden H , utenfor avstanden x_0 beregnes etter likning:

$$C = Q / (\sqrt{2\pi} \cdot (\sigma_y(x_0)_S + \sigma_y(x - x_0)_{LI}) \cdot u \cdot H) \quad A8$$

Indeksene S og LI står for henholdsvis stabil atmosfære og lett instabil atmosfære.

A.3 Enkel boksmodell

Enkle boksmodeller er ofte anvendt i situasjoner hvor en har et sperresjikt i høyden (inversjonsjikt) med nøytral eller instabil luft og svak eller udefinerbar vind under sperresjiktet. En slik modell gir et grovt estimat for konsentrasjonene en kan vente seg i området under slike forhold.

"Boksens" dimensjon er bestemt av høyden til sperresjiktet og av topografiske barrierer og av middelgjennomstrømningen (middelvindstyrken). Utenfor en viss avstand fra utslippene antar en total blanding og homogent fordelt gass i boksen.

Modellen er i Nedre Telemark anvendt på de svært svake eller udefinerbare vindforholdene i landbrisen om morgenen for å estimere konsentrasjonene over Frierfjorden. Boksen (eller "korridoren") er antatt å være 2000 m bred, 200 m høy og ha en middelgjennomstrømming på 0,5 m/s.

BILAG B

RESULTAT AV BEREGNINGENE MED GAUSSISK PUNKTKILDEMODELL

En vil her presentere resultater av spredningsberegningene som tilsvarer figurene 14-19 i den forrige rapporten (1). Det formelapparatet som er brukt, er beskrevet i bilag A.

Utslippene av etylen er som nevnt nå samlet på et sted, men i forskjellig høyde, 50 og 25 m over bakken. En har regnet med utslippsmengder på henholdsvis 10 kg/h og 45 kg/h.

For spredningen av nitrogenoksyder fra Herøya har en i dette bilaget bare vist konsentrasjoner som resultat av utslippet fra salpetersyreproduksjonen, 20 tonn/døgn (835 kg/h), regnet som NO_2 .

Figur B1 viser konsentrasjonskurver for etylen i 100 m nivå ved sørvestlig vind. Konsentrasjonene over Herøya-området er 20-50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figur B2 viser konsentrasjonen av nitrogenoksyder i 50 m nivå over Rafnes. En ser at konsentrasjonene blir høye, opptil 4000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figurene B3 - B6 viser konsentrasjoner av etylen og nitrogenoksyder ved stabil landbris (før vinden snur) i forskjellige nivåer over Frierfjorden.

I 50 m nivå (figur B3) er konsentrasjonen av etylen beregnet til 100-300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ og nitrogenoksyder til 30-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

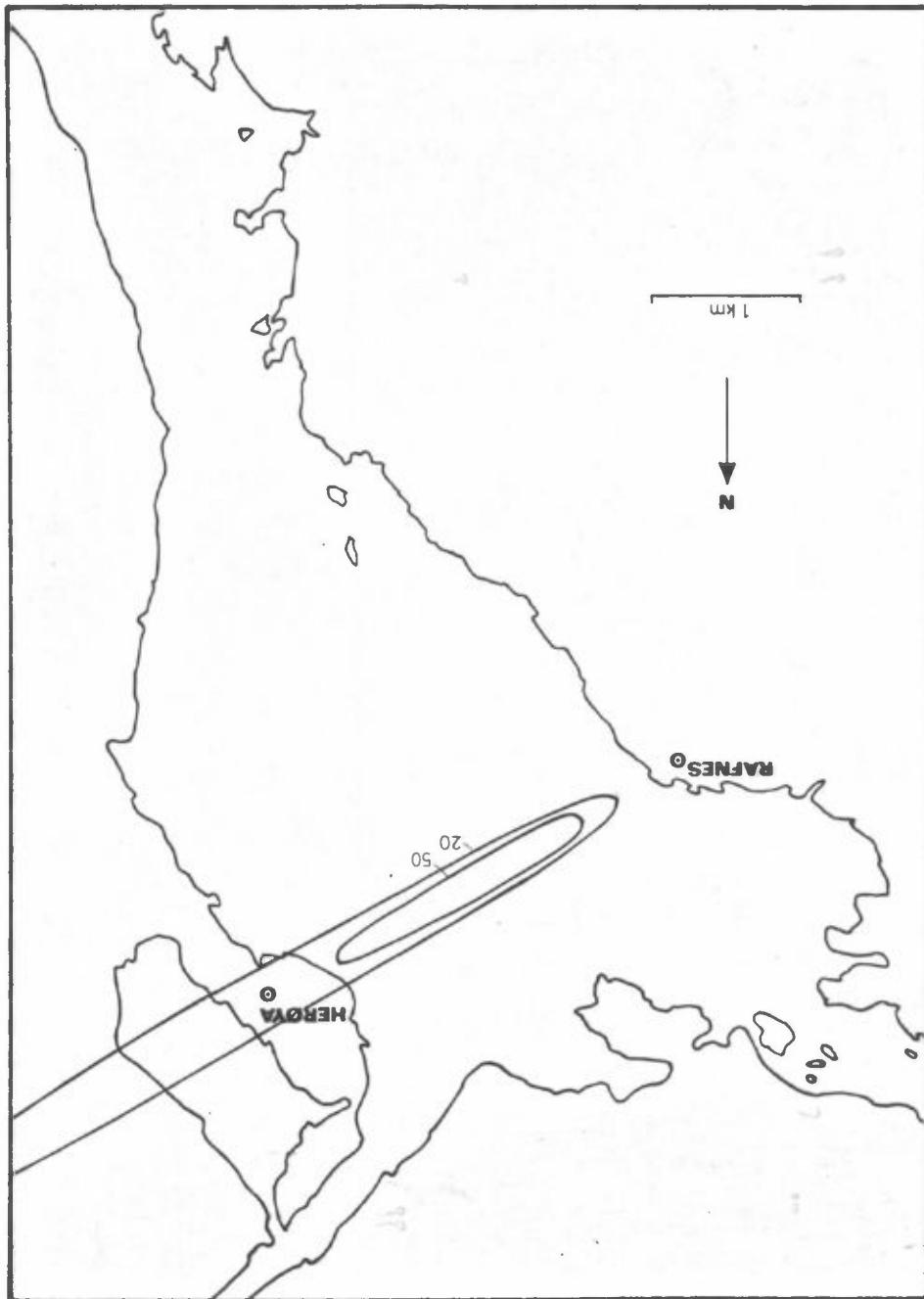
I 60 m nivå (figur B4) har konsentrasjonen av etylen avtatt til 100-200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mens konsentrasjonen av nitrogenoksyder har økt til 50-300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

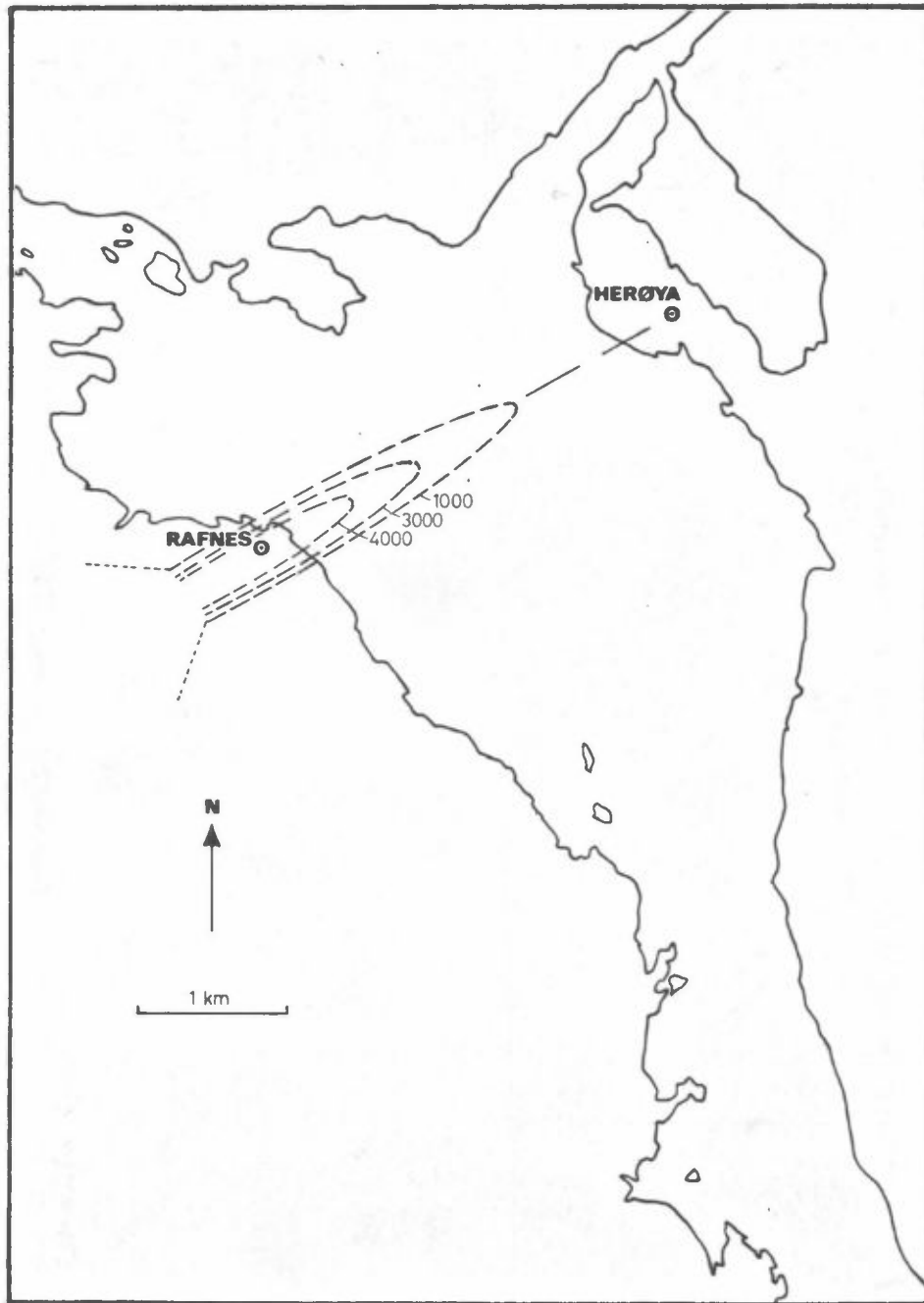
I 75 m nivå (figur B5) har etylenkonsentrasjonen avtatt ytterligere til 50-80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mens nitrogenoksydkonsentrasjonen har økt til 200-800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

I 100 m nivå (figur B6) er etylenkonsentrasjonen svært lav, ca 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mens nitrogenoksydkonsentrasjonen er blitt svært høy, opptil 4000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

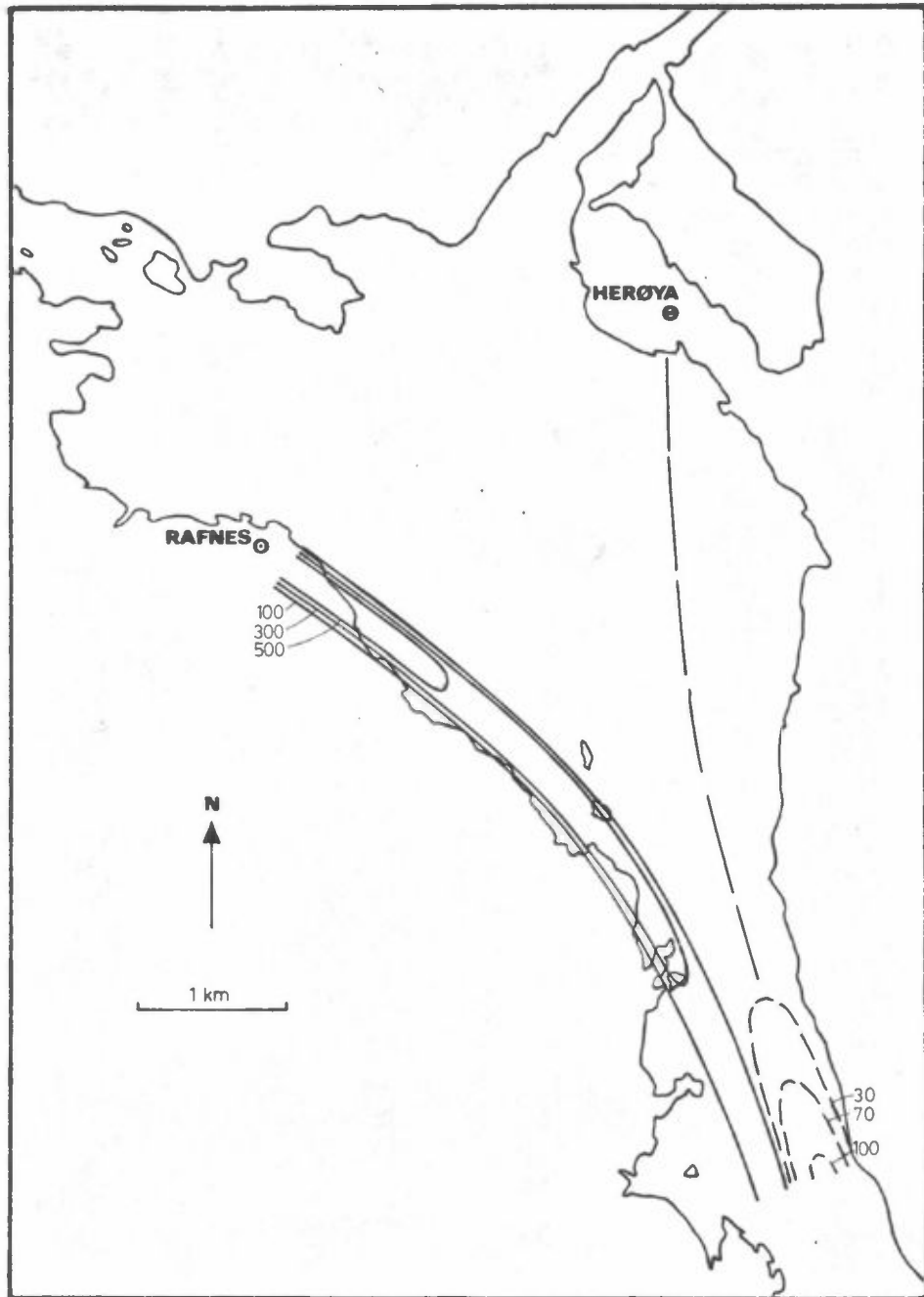
Dette illustrerer bra at hvis en antar en stabil landbris, som her, vil røykskyene over Frierfjorden være begrenset i utstrekning. En vil dessuten finne sterke gradienter i konsentrasjonsfordelingen med tildels svært høye maksima.

Figur B1: Spredning av etylen fra Rafnes ved
sørvestlig vind. Nøytral atmosfære,
vindstyrke 4 m/s. Konsentrasjoner i
100 m nivå ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

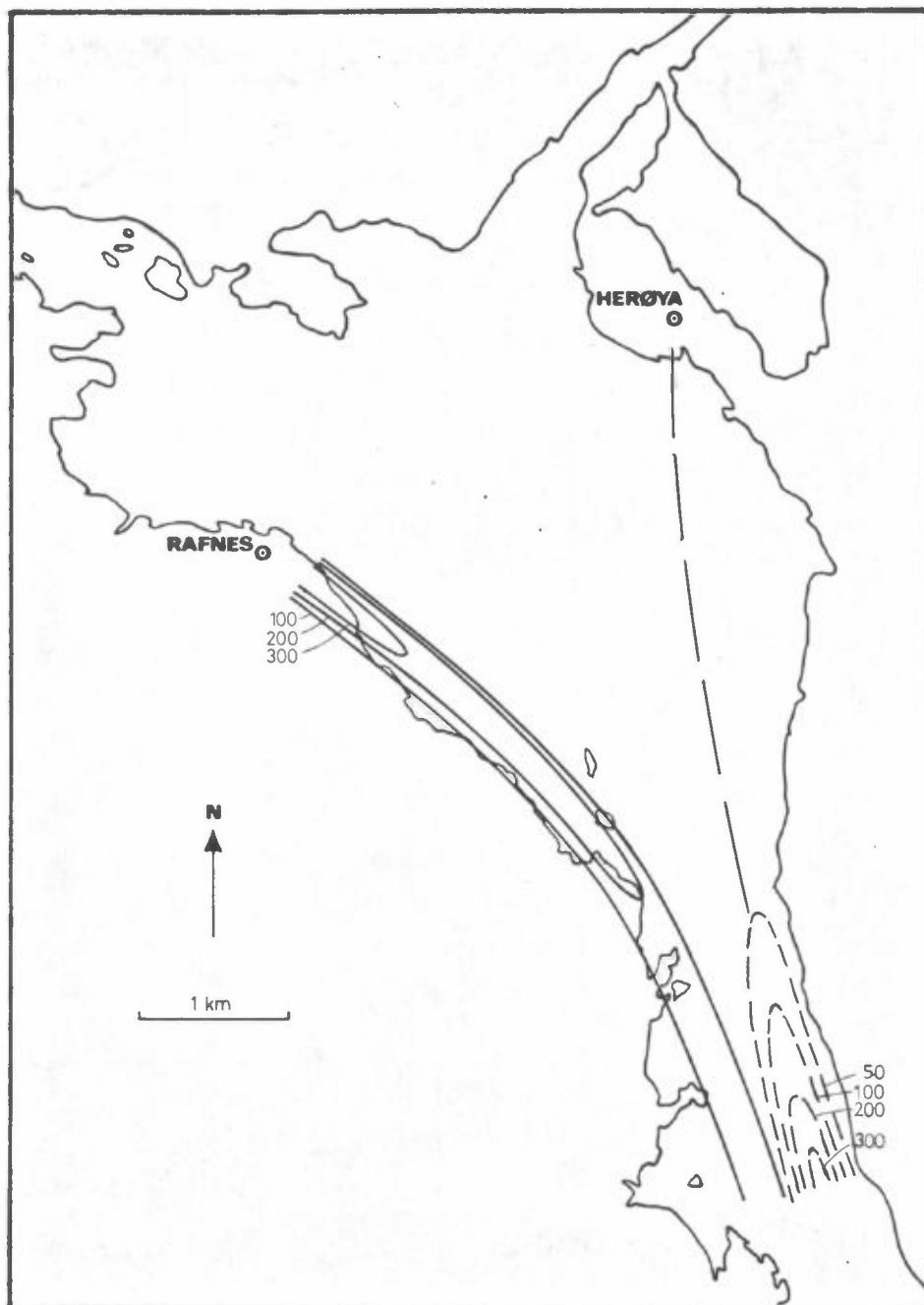




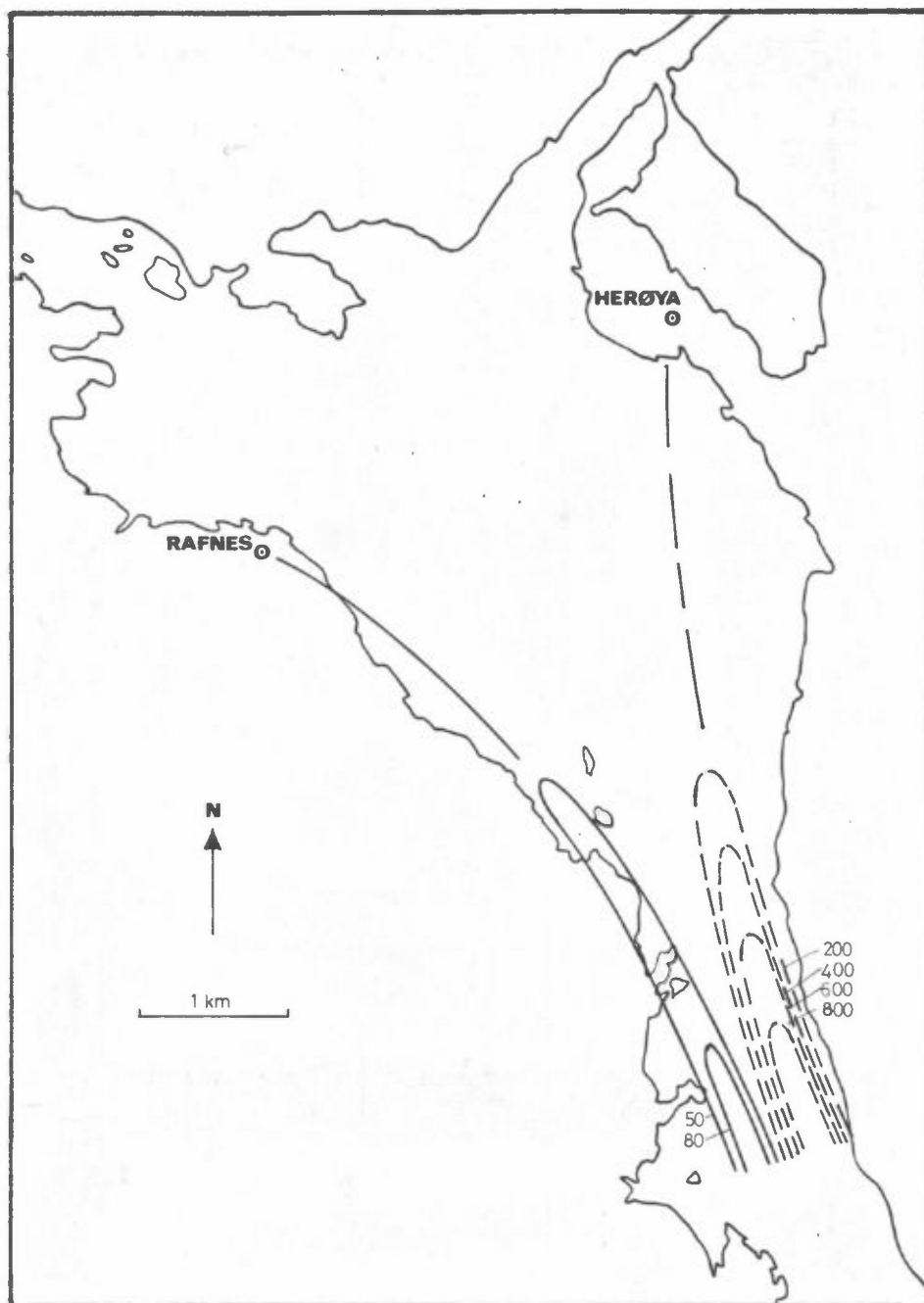
Figur B2: Spredning av nitrogenoksyder (som NO₂) fra Herøya ved nordøstlig vind. Stabil atmosfære, vindstyrke 2 m/s. Konsentrasjoner i 50 m nivå (µg/m³).



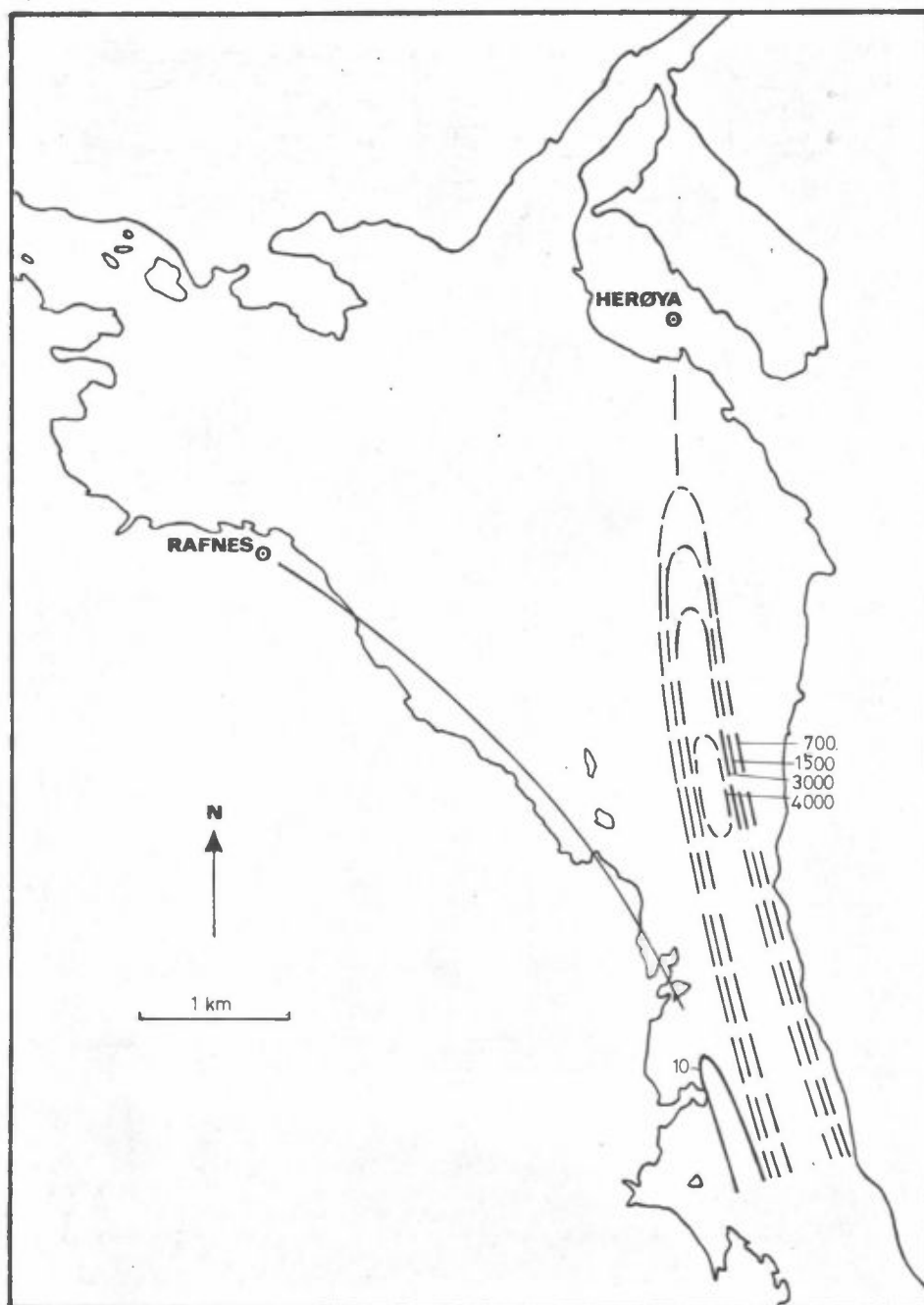
Figur B3: Spredning av etylen (hel strek) og nitrogenoksyder (stiplet strek) ved landbris. Stabil atmosfære, vindstyrke 2 m/s. Konsentrasjoner i 50 m nivå ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Figur B4: Spredning av etylen (hel strek) og nitrogenoksyder (stiplet strek) ved landbris. Stabil atmosfære, vindstyrke 2 m/s. Konsentrasjoner i 60 m nivå ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Figur B5: Spredning av etylen (hel strek) og nitrogenoksyder (stiplet strek) ved landbris. Stabil atmosfære, vindstyrke 2 m/s. Konsentrasjoner i 75 m nivå ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

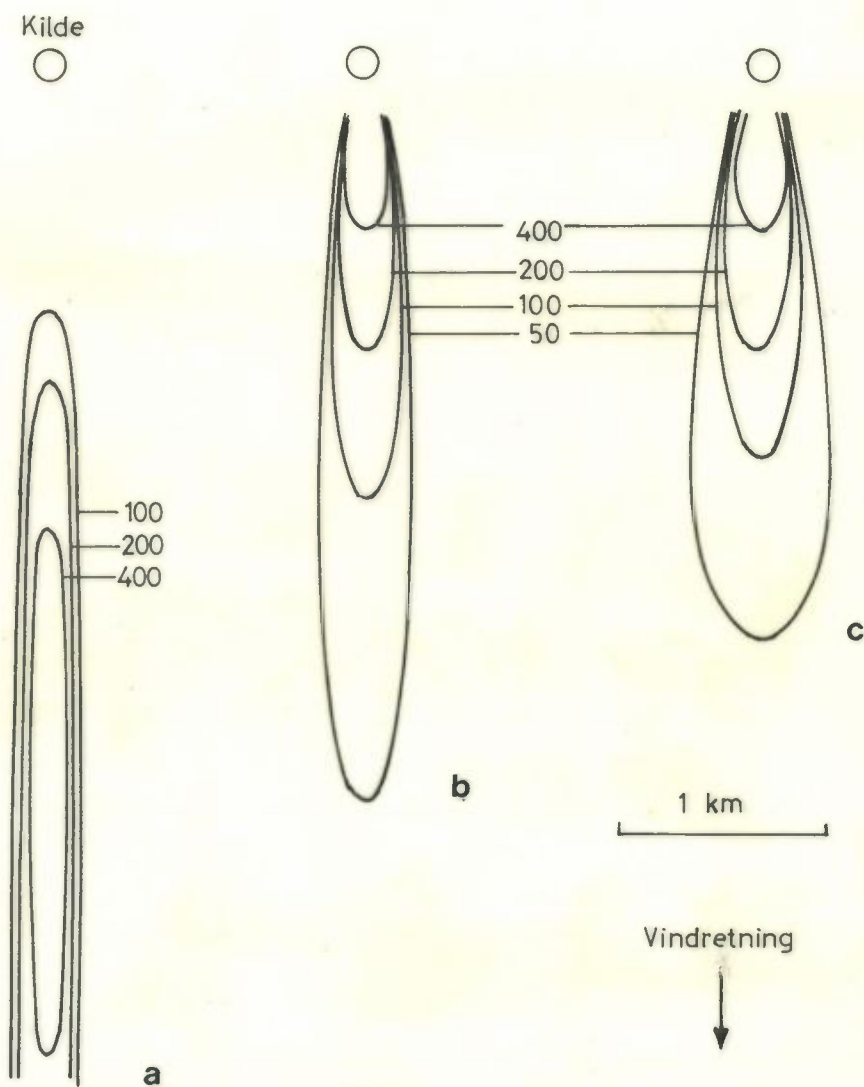


Figur B6: Spredning av etylen (hel strek) og nitrogen-
oksyder (stiplet strek) ved landbris.
Stabil atmosfære, vindstyrke 2 m/s.
Konsentrasjoner i 100 m nivå ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

BILAG C

ETYLENKONSENTRASJONER RUNDT RAFNES

En har her beregnet spredningen av etylen slik som i figur 20 i den forrige rapporten (1). Resultatet er gjengitt i figur C1.



Figur C1: Spredning av etylen. Konsentrasjoner i bakkenivå.
a) Stabil atmosfære, vindstyrke 2 m/s.
b) Nøytral " " " 4 " ".
c) Ustabil " " " 1 " " .

I den forrige rapporten (1) er det dessverre en feil i figur 20, side 57, idet utslippskildene ikke er angitt. De skal være plassert 2,5 cm og 4 cm ovenfor øvre figurkant for hver av figurene a, b og c.

BILAG D

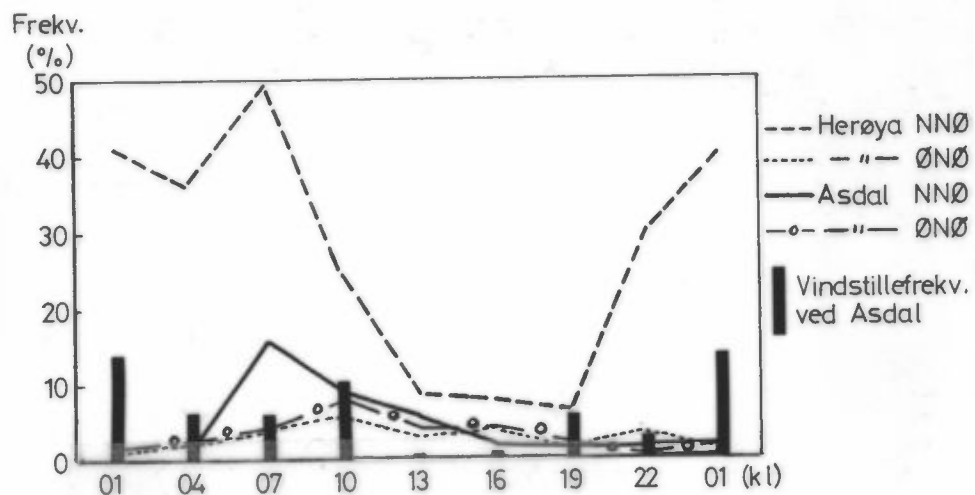
METEOROLOGISKE FORHOLD (FREKVENNS AV NORDØSTLIG VIND)

En har i det følgende foretatt en supplerende undersøkelse av sannsynligheten for at nitrogenoksydutslippene på Herøya skal kombineres med etylenutslippene fra Rafnes ved vind fra nordøst.

Vurderingene er basert på vindobservasjoner sommeren 1971, som betraktes som representativ for en "normal" sommer (1).

På Herøya blåser det i ca 25% av tiden fra NNØ, ca 4% av tiden fra ØNØ. Frekvensen av vind fra de samme retningene på Asdal (ca 3 km sørøst for Rafnes) er henholdsvis 4,7% og 3,5% av tiden om sommeren (juni, juli, august).

En nærmere undersøkelse av den døgnlige variasjonen av nordøstlige vinder viser at frekvensen er størst om morgenen og om formiddagen. De interessante vindretningene for transport av røyk fra Herøya over Rafnes midt på dagen forekommer mellom 5 og 10% av tiden.



Figur D1: Døgnlig variasjon i frekvensen av nordøstlige vinder ved Herøya og Asdal, (basert på data fra sommeren 1971).

Middelvindstyrken ved disse retningene er ved Herøya (30 m over bakken) observert å være ca 3,2 m/s, ved Asdal (10 m over bakken) ca 2,6 m/s.