

NILU  
OPPDRAGSRAPPORT NR 19/77  
REFERENSE: 22177  
DATO: MAI 1977

UTBLASINGEN FRA EKOFISK  
BRAVO, APRIL 1977

*MÅLINGER FRA FLY AV HYDROKARBON-  
KONSENTRASJONER I LUFTEN*

AV

YNGVAR GOTAAAS

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING  
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM  
NORGE

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
<u>SAMMENDRAG</u> .....	3
1 <u>INNLEDNING</u> .....	4
2 <u>MÅLINGER</u> .....	5
2.1 <u>Instrumenter og prøvetakingsutstyr</u> .....	5
2.2 <u>Flygingene</u> .....	5
2.3 <u>Målinger fra båt</u> .....	6
3 <u>RESULTATER</u> .....	7
3.1 <u>27. april</u> .....	7
3.2 <u>29. april</u> .....	10
3.3 <u>Målinger fra båt, 30. april</u> .....	11
4 <u>DISKUSJON AV RESULTATENE</u> .....	12
4.1 <u>Gasskyens bredde og høyde</u> .....	12
4.2 <u>Massetransporten gjennom de enkelte tverrsnitt</u> ..	12
4.3 <u>Partikler (aerosoler) i skyen</u> .....	13
4.4 <u>Gass-sammensetningen</u> .....	14
5 <u>SAMMENLIKNING MED SPREDNINGSFORMLER OG TIDLIGERE</u> <u>FORSØK MED SPORSTOFF</u> .....	15
6 <u>KONKLUSJON</u> .....	18
<u>REFERENSER</u> .....	19
<u>FIGURER</u> .....	20

### SAMMENDRAG

Ved flygninger gjennom gasskyen under utblåsningen fra produksjonsplattformen Ekofisk Bravo i Nordsjøen ble det målt totale konsentrasjoner av hydrokarboner i luften i ulike avstander og høyder. Ut fra observerte verdier og deres horisontale og vertikale fordeling er det foretatt beregninger av massetransporten gjennom forskjellige tverrsnitt. Beregnet massetransport, 5 til 8 kg/s, var under halvparten av det oppgitte utslipp, 16.7 kg/s som metan, og tyder på at utslippet kanskje var noe for høyt anslått.

En sammenlikning med formler for turbulent spredning av gasskyer og med resultater fra tidligere forsøk med utslipp av sporstoff over sjø, gjør det mulig å estimere avstanden til eksplosjonsgrensene.

Det ble også tatt luftprøver som i laboratoriet ble analysert for enkeltkomponenter. Det var variasjoner i det relative forhold mellom hydrokarbonkonsentrasjonene, men ingen systematisk forskjell med høyden eller med avstanden fra utslippet. Etter at utblåsingen var stanset ble det fra båt tatt luftprøver i de laveste meter over oljeflaket. Disse viste konsentrasjoner som var ubetydelig over bakgrunnsverdien, ca. 1/50 del av maksimalkonsentrasjonen i gasskyen.

## UTBLÅSINGEN FRA EKOFISK BRAVO, APRIL 1977

### MÅLINGER FRA FLY AV HYDROKARBONONSENTRASJONER I LUFTEN

#### 1 INNLEDNING

Utblåsingene fra oljeplattformen Bravo startet fredag kveld, 22. april 1977 og ble stanset lørdag formiddag, 30. april. Etter kontakt og konferanser med Institutt for Kontinental-sokkelundersøkelser og Oljedirektoratet, ble det besluttet at NILU skulle måle konsentrasjonsfordelingene av hydrokarboner i gasskyen med fly. Aksjonsledelsen ga sin tillatelse under forutsetning av at minsteavstander (3-5 km) ble overholdt.

Hensikten var å bestemme:

- a) gasskyens utstrekning,
- b) massetransporten gjennom forskjellige tverrsnitt for å estimere utslippsmengden,
- c) i hvilken grad utspreidningen i luften var i overensstemmelse med spredningsformler, samt å sammenlikne observasjonene med resultater fra tidligere forsøk med sporstoff utført over sjø, og
- d) avstandene til eksplosjonsgrensene og undersøke beregningsmetoder for utslipp av denne karakter.

Instituttet for kontinentalsokkelundersøkelser ønsket målinger over oljeområdet med det samme utstyret fra båt nær utslippsstedet. Da båten kom frem til Ekofisk-feltet var imidlertid utblåsingene over, og det ble bare foretatt noen få målinger.

## 2 MÅLINGER

### 2.1 Instrumenter og prøvetakingsutstyr

Målingene av det totale hydrokarboninnhold i luften ble utført med en total hydrokarbonmåler (Model 8401, Bendix Corp., Ronceverte, W. Virg., USA). Denne har en flammeionisasjonsdetektor, hvor prinsippet bygger på at hydrokarboner ved forbrenning i en luft-hydrogenflamme danner radikaler som ioniseres, og registreres i form av økt ledningsevne mellom to elektroder. Utslaget er tilnærmet proporsjonalt med antall karbonatomer og instrumentet er kalibrert med metan.

For å bestemme den kvalitative sammensetning ble det tatt prøver i spesielle poser av plastbelagt aluminiumsfolie. Disse luftprøvene ble senere analysert ved hjelp av gaskromatografi.

Flyet var også utstyrt med et integrerende nefelometer, som gir et mål på konsentrasjonen av lysbrytende partikler, og et presisjonstermometer (Total temperature sensor Model 102, Rosemount Eng. Comp., Minneapolis, Minn., USA) for måling av temperatur og vertikale temperaturgradienter. Det siste har stor betydning ved spredningsberegninger.

### 2.2 Flygingene

Det ble brukt et to-motors Piper Aztec fly som eies av NILU og er innredet for måling av luftforurensninger. Målingene fra fly ble utført onsdag 27. april og fredag 29. april. Måleprogrammet for 27. april ble fastlagt i samarbeid med aksjonsledelsen, som blant annet krevet at flygingene måtte foregå i en avstand av minst 3 til 5 km (avhengig av vindstyrken) fra Bravo-plattformen og i nær kontakt med den lokale flykontroll på Ekofisk-Charlie og med korvetten Stavanger.

Flyet tok av fra Sola 0930 (GMT). Forholdene på Ekofisk-feltet var gunstige; lettskyet vær med god sikt, vind av vestlig retning, 8 m/s, og meget svak turbulens.

Det ble utført 16 gjennomflygninger av gasskyen i avstandene 18, 15, 7.5, 5.5 og 4 km, og i høyder fra 1500 fot til 20 over havet. En måling ble foretatt på oppvindsiden av Bravo. Posisjoner og avstandene fra Bravo til flysnittene ble dels bestemt fra utfløyet distanse, dels på grunnlag av den relative posisjon til korvetten Stavanger, som oppga sin radarbestemte avstand fra Bravo. Korvetten befant seg hele tiden på lesiden av plattformen. Avstander og posisjoner ble senere justert i henhold til de oppgitte posisjoner av andre plattformer i området; Kielland og Tor.

Værforholdene 29. april var stort sett de samme, men vinden var mer fra sør, litt svakere og sikten var noe dårligere. Det var fortsatt svak turbulens og gode flyforhold. Måleprogrammet fra 27. april ble fulgt i store trekk, men med grunnlag i de relativt lave konsentrasjoner som da ble registrert, ble avstandene fra Bravo redusert noe. Det ble gjennomført 13 flygninger i avstander fra 11 til 2.5 km og i høyder fra 1000 til 20 fot.

### 2.3 Målinger fra båt

Umiddelbart etter landing 29. april ble måleutstyr og operatør bragt ombord i en ventende båt på havnen i Stavanger, klar til å gå ut til Ekofisk-feltet med en gruppe forskere. Båten nådde først frem flere timer etter utblåsing var stanset, og hydrokarbonmåleren gjorde ingen utslag. Det ble tatt i alt tre luftprøver før operatøren returnerte til Sola med helikopter.

### 3 RESULTATER

Måleresultatene presenteres i første rekke i form av tabeller og figurer. (Figurene er plassert bakerst i rapporten.)

#### 3.1 27. april

Vindmålinger utført på Ekofisk C, sammenholdt med observasjoner fra flyet, viste vestlig vind, 260 grader - 8 m/s.

Temperatursjiktning: Nær nøytral (se figur 1), men sjøtemperaturen var lavere enn lufttemperaturen og ga et meget stabilt luftlag umiddelbart over overflaten. En går her ut fra at den oppgitte vanntemperatur var representativ for temperaturen av oljeflaket.

Enkeltregistreringene av totalt hydrokarboninnhold og av lysspredning er vist i figurene 2a, 2b og 2c. Tabell 1 gir parameterverdier for hvert enkelt snitt, basert på registreringene. For skybredden er brukt den vanlige definisjon, som er avstanden mellom punkter hvor konsentrasjonen er falt til 1/10 av maksimalverdien i snittet. Ved en enkel flyging i en bestemt høyde og avstand, vil trolig den integrerte konsentrasjonsverdi, dvs arealet under konsentrasjonskurven, være mer representativ enn den registrerte maksimalkonsentrasjon. Integrerte konsentrasjoner er derfor også gitt i tabell 1.

Vertikalfordelinger av registrerte maksimalkonsentrasjoner og av integrerte konsentrasjoner er vist i figurene 3 og 4 for de enkelte tverrsnitt.

Resultatet av luftprøveanalysene er gitt i tabell 2. Det ble for knapp tid til å installere en pumpe som kunne sikre jevn innsugningshastighet tilpasset flyhastigheten. Luftprøvene gir derfor ikke korrekte middelkonsentrasjoner i gasskyen, selv om fyllingen av posene skjedde synkront med detektorutslaget. Analysene gir trolig noe for lave konsentrasjoner, spesielt når disse var høye. En har derfor også valgt å presentere relative konsentrasjoner.

Tabell 1: Resultater fra de enkelte flysnitt 27. april 1977.

Tid GMT	Avstand fra Bravo km	Høyde fot	Flyhast. m/s	1) Skybredde m	2) Maks kons ppm	3) Integrert konsentr. g/m <sup>2</sup>	4) Lysspred. koeff. x10 <sup>-5</sup> m <sup>-1</sup>	Luftprøver nr
1135	18	500	64	1150	2.7	1.3	-	
1141	18	200	64	1470	4.6	2.4	7	1
1146	18	100	64	1310	5.8	3.1	-	2
1208	15	100	64	1150	9.1	4.8	7	3
1212	15	600	64	640	6.0	1.2	6	4
1215	15	1500	64	190	0.9	0.06	4.5	
1219	15	1000	64	608	4.1	0.92	4.5	5
1226	7.5	1000	57	860	2.2	0.64	4	6
1229	7.5	300	57	540	7.9	1.6	6	7
1233	7.5	80	70	830	17.9	6.5	9	8
1235	7.5	20	70	980	20.0	7.8	10	9
1238	5.5	500	70	1400	7.2	2.9	6	10
1240	5.5	300	70	1470	6.9	2.5	6.5	11
1242	5.5	100	70	1470	11.0	6.1	8	12
1249		500		på oppvindsiden av Ekofisk			3.5	13
1253	4.0	300	70	700	25.2		11	14
1255	4.0	80	70	770	23.0		10	

- 1) Skybredde definert som avstanden mellom konsentrasjonsverdier 1/10 av maksimalverdien.
- 2) Maksimumskonsentrasjonen refererer seg til verdien over en konstant bakgrunn.
- 3) Basert på arealet under konsentrasjonskurven.
- 4) Bakgrunnsverdi: ca  $4 \cdot 10^{-5} \text{m}^{-1}$



## 4 DISKUSJON AV RESULTATENE

### 4.1 Gasskyens bredde og høyde

De fleste gjennomflygninger viser symmetrisk profil. De anslåtte skybredder i tabellene 1 og 3 viser at skyen var noe smalere 29. april enn 27. april. Høyden av skyen kan vi definere som høyden til det nivå konsentrasjonen er sunket til 1/10 av maksimalkonsentrasjonen. Vertikalprofilene viser at også skyhøyden var lavere denne dag. De estimerte dimensjoner vil være noe usikre, da konsentrasjonen i et punkt alltid fluktuerer som følge av turbulens og variasjoner i vindretningen. Flere gjennomflygninger i samme høyde og avstand ville gitt mer representative verdier, men ville samtidig medført mindre tid for målinger i andre avstander og høyder.

### 4.2 Massetransporten gjennom de enkelte tverrsnitt

Transporten av hydrokarboner gjennom et tverrsnitt er funnet ved å måle arealet mellom aksene og kurven for den vertikale fordeling av de integrerte konsentrasjoner. I de tilfeller det har vært nødvendig å ekstrapolere i høyden, er dette hovedsakelig basert på noen overflygninger som ikke ga detektor-utslag. Et par slike flygninger ble foretatt hver av dagene, men er ikke inkludert i tabellene. Massetransporten gjennom tverrsnittet pr sekund er så funnet ved å multiplisere med vindhastigheten.

$$M = \bar{u} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} c \, dy \, dz$$

hvor  $M$  er massetransporten av hydrokarboner,  $c$  er konsentrasjonen,  $\bar{u}$  middelvindhastigheten og  $y$  og  $z$  den horisontale og den vertikale koordinat i et aksekors med  $x$ -aksen i vindretningen. Vi regner med at de observerte vindstyrker er representative for den midlere vindhastighet i tverrsnittene.

Dette gir følgende beregnede massetransporter i kg/s, regnet som metan:

<u>27. april</u>	<u>29. april</u>
15 km - 7.3 kg/s	11 km - 8.2 kg/s
7.5 km - 5.5 kg/s	5.5 km - 5.8 kg/s
5.5 km - 7.3 kg/s	3 km - 4.7 kg/s
4 km - 8.5 kg/s	2.5 km - 7.4 kg/s

Gassutslippet ble oppgitt til å være 20 Nm<sup>3</sup>/s, tilsvarende et totalt hydrokarbonutslipp på 16.7 kg/s, regnet som metan. (Utslippsdata fra SINTEF/VHL). Med de usikkerheter som ligger i beregningsmetoden må en si overensstemmelsen er innbyrdes god mellom de forskjellige tverrsnitt. Derimot er disse vesentlig lavere enn det oppgitte utslipp. Resultatene tyder på at dette kan ha vært noe for høyt anslått.

#### 4.3 Partikler (aerosoler)

Nefelometeret måler lysspredningen fra aerosoler med diameter i det synlige spektrum (0.1 - 1.0 μm) og ikke massekonsentrasjoner. Imidlertid har en serie med målinger på en rekke forskjellige lokaliteter vist en nær lineær sammenheng mellom massekonsentrasjonen og spredningskoeffisienten,  $b_{sp}$ , målt med integrerende nefelometer:

$$\text{masse}/b_{sp} \sim 0.4 \text{ g/m}^2$$

Størrelsesfordelingen av oljedråpene i skyen fra Bravo er ikke kjent. Trolig var dråpene gjennomgående større enn vanlig for aerosoler i luften, slik at massekonsentrasjonen beregnet fra observerte spredningskoeffisienter blir for lav, kanskje med en størrelsesorden eller mer. De beregnete verdier representerer derfor nedre grenser. Den høyeste målte spredningskoeffisienten 27. april svarer til over 40 μg/m<sup>3</sup> og tilsvarende for 29. april til over 120 μg/m<sup>3</sup>.

#### 4.4 Gass-sammensetningen

Den oppgitte sammensetning av gassutslippet er vist i tabell 6.

Tabell 6: Oppgitt sammensetning av gassen.

		volumprosent	eksplosjonsgrenser
Metan	(CH <sub>4</sub> )	83.84	5 - 15 %
Etan	(C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	9.34	3 - 12.5 "
Propan	(C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	3.27	2.1 - 9.5 "
Iso-Butan	(C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	0.32	1.8 - 8.4 "
Normal Butan	(C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	0.59	1.8 - 8.4 "
Iso-Pentan	(C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> )	0.09	
Pentan	(C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> )	0.08	
Hexan	(C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> )	0.03	
Nitrogendioksyd	(NO <sub>2</sub> )	0.46	
Karbondioksyd	(CO <sub>2</sub> )	1.99	

Analyseresultatene, tabell 2 og 4 viser variasjoner omkring de oppgitte verdier i det innbyrdes forhold mellom gassene, men ingen systematiske endringer med høyden eller avstanden. Luftprøven tatt på oppvindsiden av Ekofisk i 500 fot, 27. april, viser en bakgrunnsverdi for metan på 0.8 ppm.

Prøvene tatt 30. april tett over oljeflaket indikerer en noe annen sammensetning, men konsentrasjonene er tildels under deteksjonsgrensene. Metanverdien er her 1.7 ppm, dvs. mindre enn 1/10 av konsentrasjonen i skyen, når bakgrunnsverdiene settes til 1 ppm.

I figur 9 er resultatene sammenholdt med tilsvarende kurver for forskjellige stabiliteter tatt fra Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates (2). Resultatene er videre sammenliknet med resultater fra spredningsforsøk over sjø utført av Forsvarets Forskningsinstitutt (ikke publisert). Punktene A og B viser resultatene oppnådd under stabilitetsforhold nær identiske med forholdene ved Ekofisk. Luften var også her et par grader varmere enn sjøen og temperatursjiktningen forøvrig nær nøytral (svakt stabil). Disse verdier er timesmidler. Nær kilden ble det målt med sekundoppløsning og de maksimale øyeblikksverdier, punktene A<sup>+</sup> og B<sup>+</sup> var praktisk talt 10 ganger høyere enn de midlere timesverdier. Generelt vil en måle lavere konsentrasjoner når midlingstiden øker.

Kurvene D, E og F forutsetter punktutslipp. For punktene A og B gjelder at utslippet var et punktformig partikkelutslipp (i 2 m).

Det er vanskelig å si i hvilken grad utslippet på Bravo-plattformen kan betraktes som en punktkilde, og hvorvidt en eventuelt kan bruke vanlige metoder for å beregne overhøyden som følge av utslippshastighet og varmeoverskudd. Gassens egenvekt blir her av liten betydning. Det er også et åpent spørsmål i hvilken grad vannstrålene fra vannkanonene og turbulensen bak plattformkonstruksjonen påvirket utslippsforholdene og eventuelt tilsier bruk av arealkilde eller volumkilde i beregningene. Men dette er effekter som i første rekke påvirker initialspredningen og konsentrasjonsfordelingen relativt nær kilden og bare i mindre grad forholdene i de avstander målingene foregikk. Disse målinger må derfor sies å være i bra overensstemmelse med spredningsformler og med tidligere forsøk. Men de observerte verdier over Ekofiskfeltet (figur 8 og 9) kan tyde på en noe mindre turbulent spredning enn vanlig under tilsvarende stabilitetsforhold. Her kommer også inn at oljefilmen gjorde havoverflaten ekstra glatt.

For estimering av avstander til faregrenser, nedre og øvre eksplosjonsgrense, er de maksimale øyeblikkskonsentrasjoner av størst interesse. For å regne konservativt kan en anta at maskimalkonsentrasjonene følger kurven F. Settes nedre grense til 5%, svarende til  $c u/Q = 1.7 \cdot 10^{-2} m^{-2}$  den 27. april og til  $c u/Q = 1.5 \cdot 10^{-2} m^{-2}$  den 29. april, gir dette avstander godt under 200 m.

## 6 KONKLUSJON

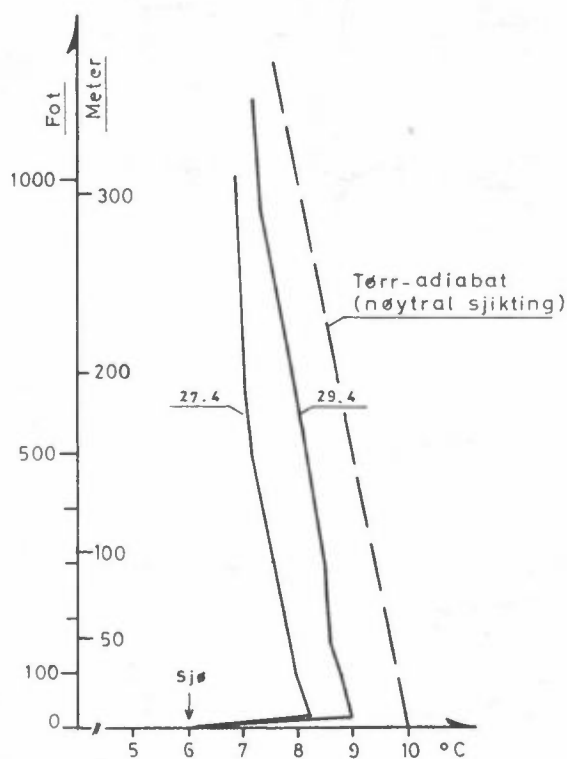
Forsøkene viste at fly egnet seg meget bra for å oppnå en tredimensjonal oversikt over konsentrasjonene i gasskyen fra Bravo-plattformen.

Monteringen av måleutstyret i flyet var improvisert, skjedde i all hast, men funksjonerte bra. En har ikke tidligere benyttet instrumenter med så øyeblikkelig respons for kartlegging av gasskyer. Den begrensede flytid gjorde at det måtte velges mellom gjentatte flygninger i samme høyde i et tverrsnitt, for på denne måte å oppnå sikrere verdier og en større sannsynlighet for å registrere maksimalkonsentrasjonene, eller å foreta så mange enkeltflygninger som mulig i ulike høyder og avstander. En valgte det siste. Det ga riktignok mer usikre maksimalkonsentrasjoner, men langt flere tverrsnitt og de integrerte tverrvindskonsentrasjoner bør være tilstrekkelig nøyaktige til å gi pålitelige vertikalfordelinger.

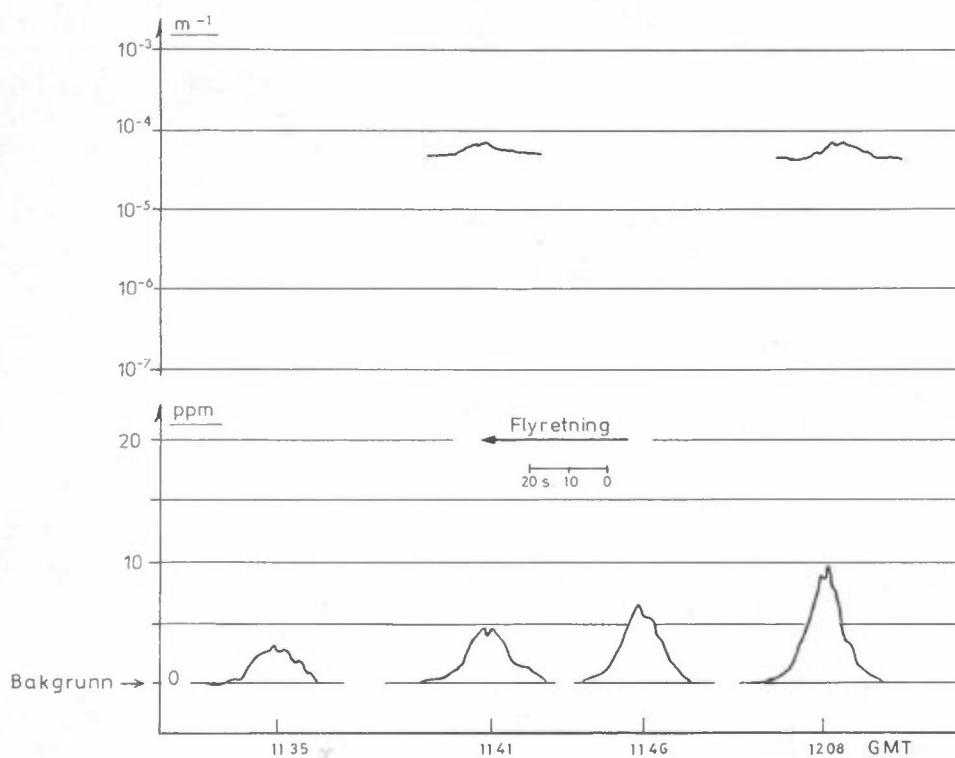
De største flytekniske problemer knyttet seg til avstands- og posisjonsbestemmelsene. En savnet flyradar, samt bedre elektronisk navigasjonsutstyr. Men takket være fastpunkter, i form av andre plattformer og posisjoner av korvetten Stavanger, kunne avstandene til Bravo estimeres med tilstrekkelig nøyaktighet.

REFERENSER

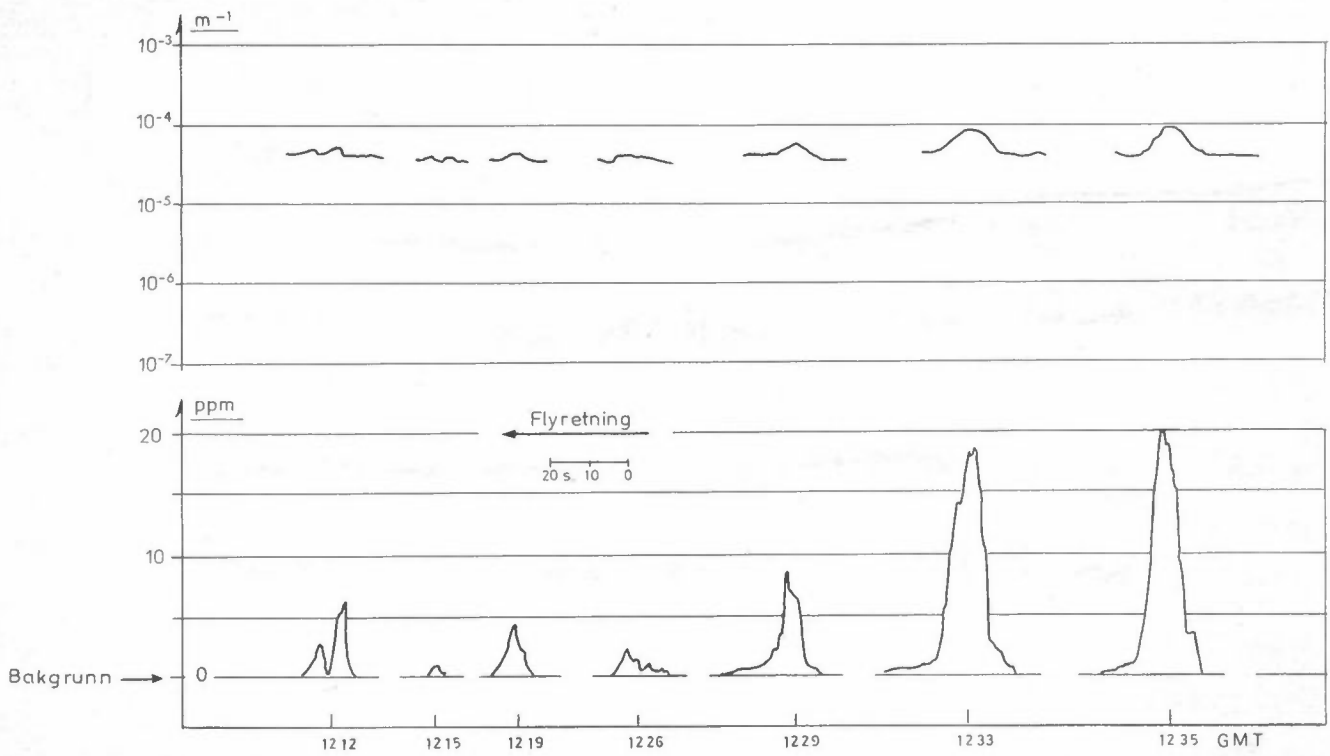
- (1) Pasquill, F. Atmospheric Diffusion. 2nd Edition. John Wiley & Sons, London, 1974.
- (2) Turner, D.B. Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates. PHS Publ. No. 999-AP-26. 1967.



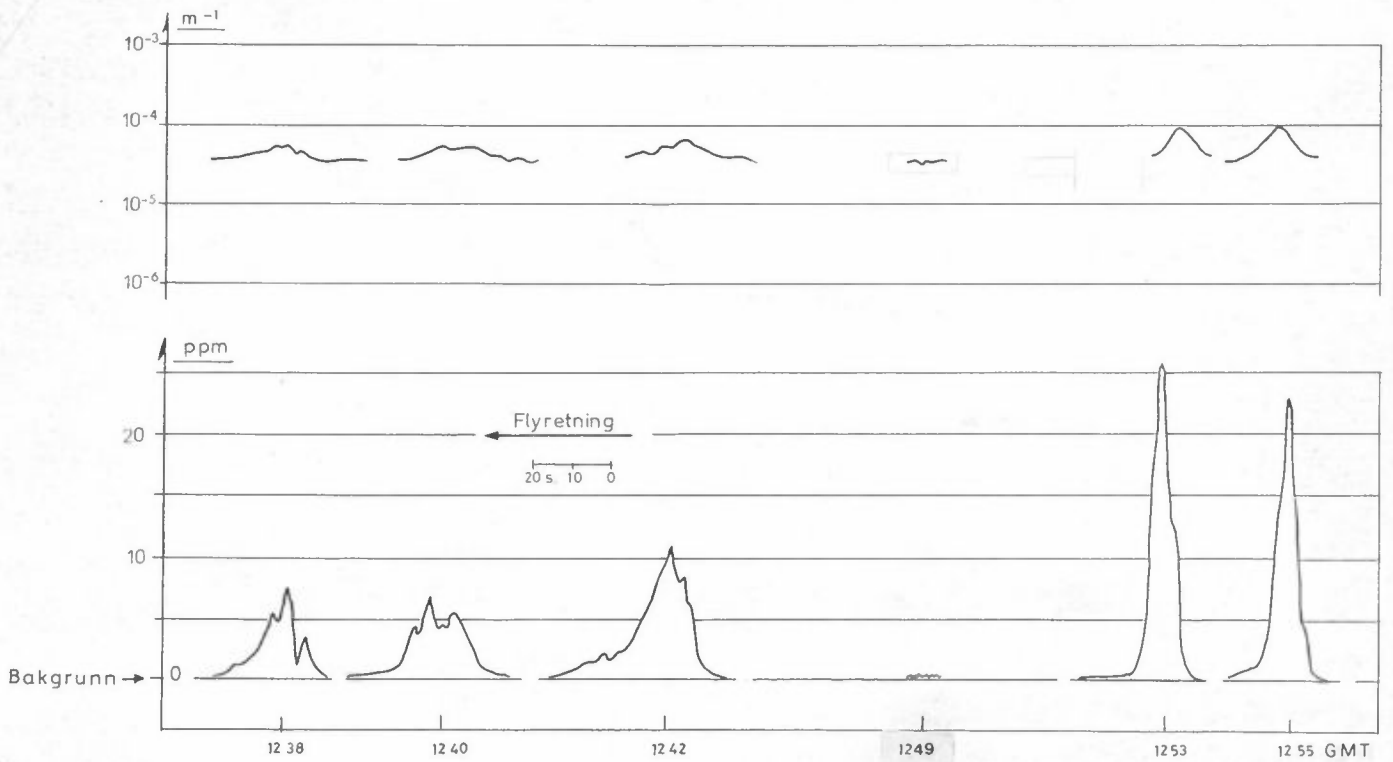
Figur 1: Temperaturprofiler, Ekofisk, 27. og 29. april 1977.



Figur 2a: Hydrokarbonkonsentrasjoner, ppm, og spredningskoeffisient,  $m^{-1}$ , 27. april 1977.

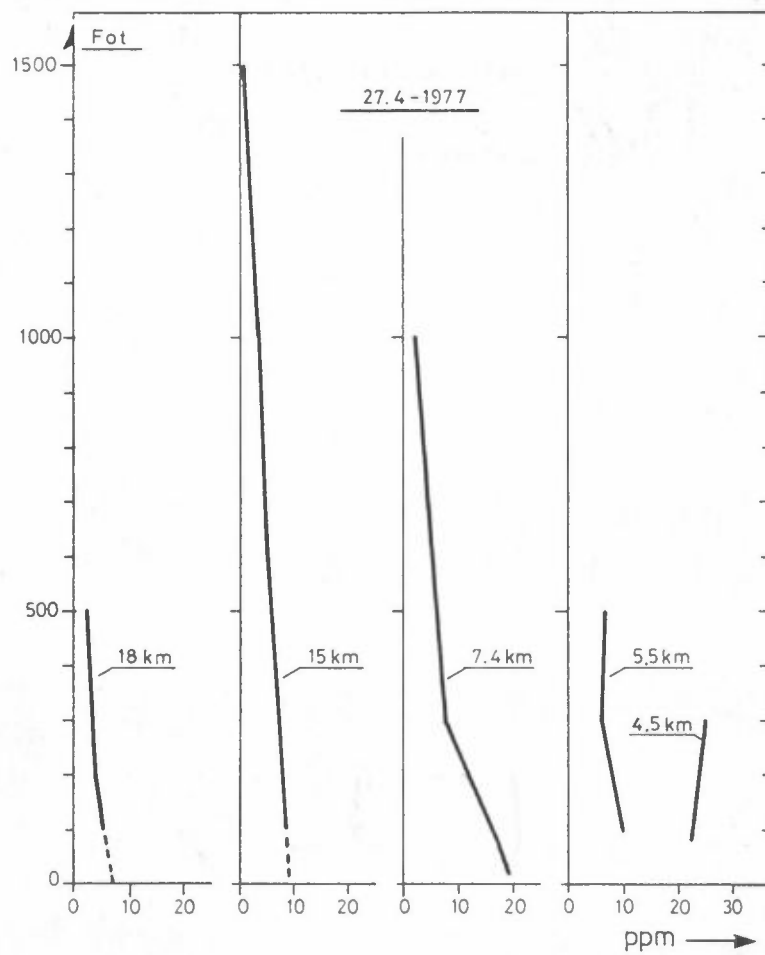


Figur 2b: Hydrokarbonkonsentrasjoner, ppm, og spredningskoeffisient,  $m^{-1}$ , 27. april 1977.

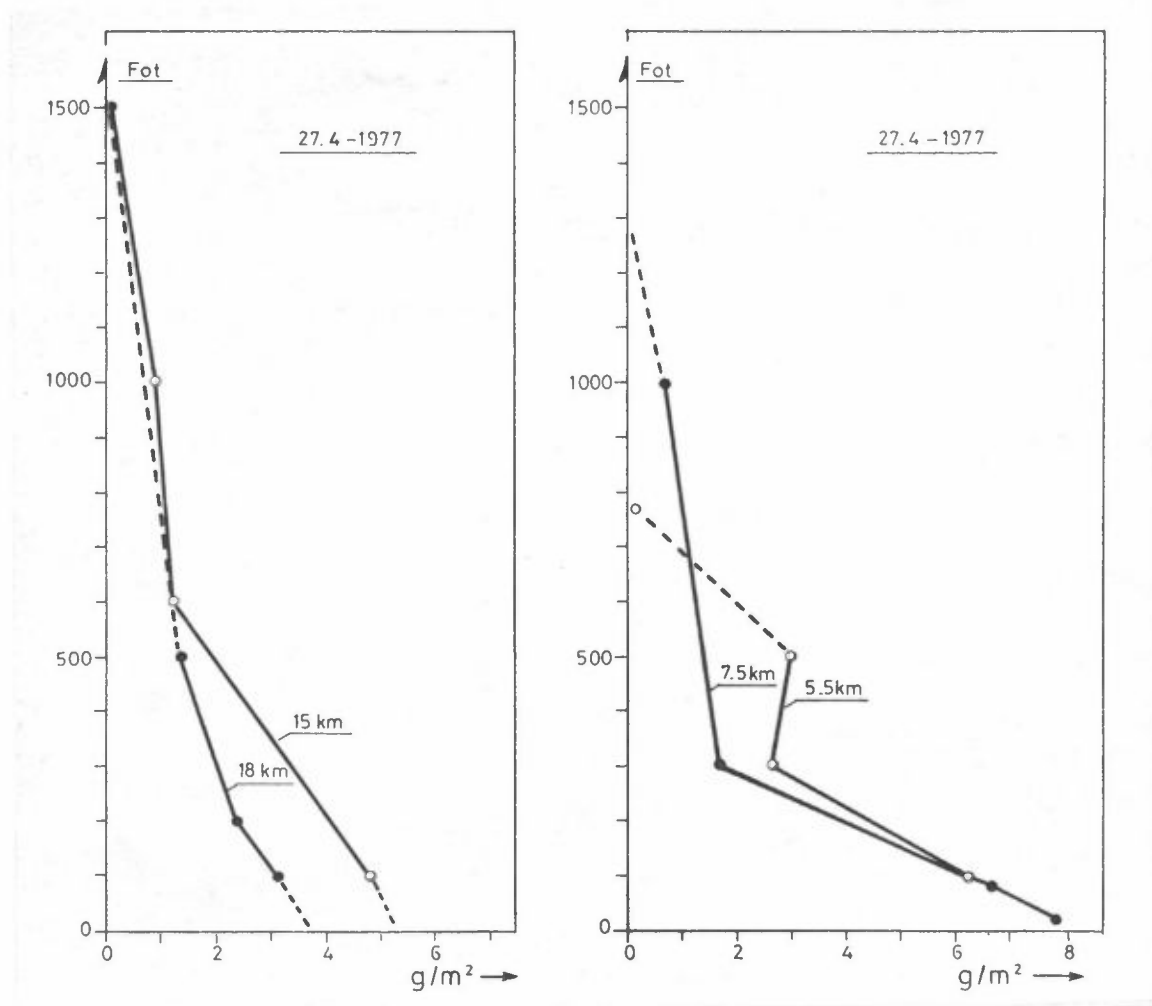


Figur 2c: Hydrokarbonkonsentrasjoner, ppm, og spredningskoeffisient,  $m^{-1}$ , 27. april 1977.

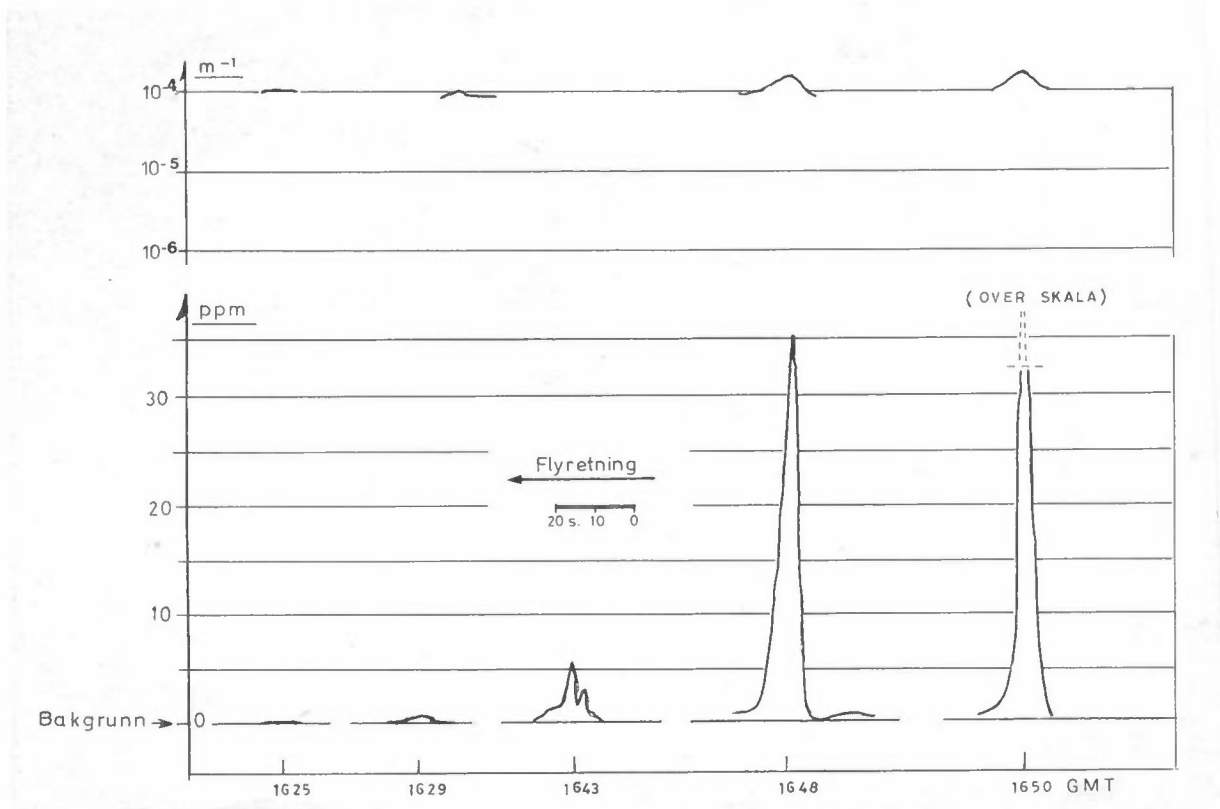




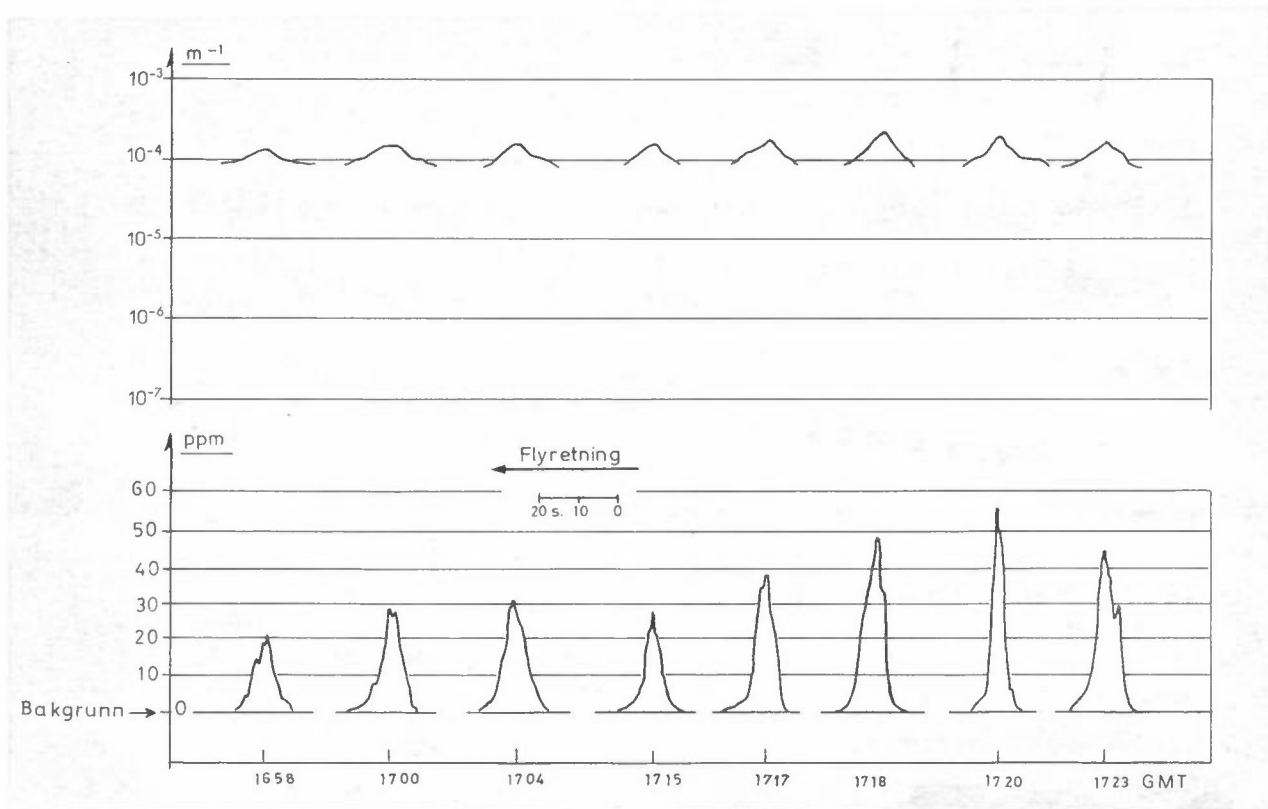
Figur 3: Vertikalfordeling av maksimumskonsentrasjoner, 27. april 77.



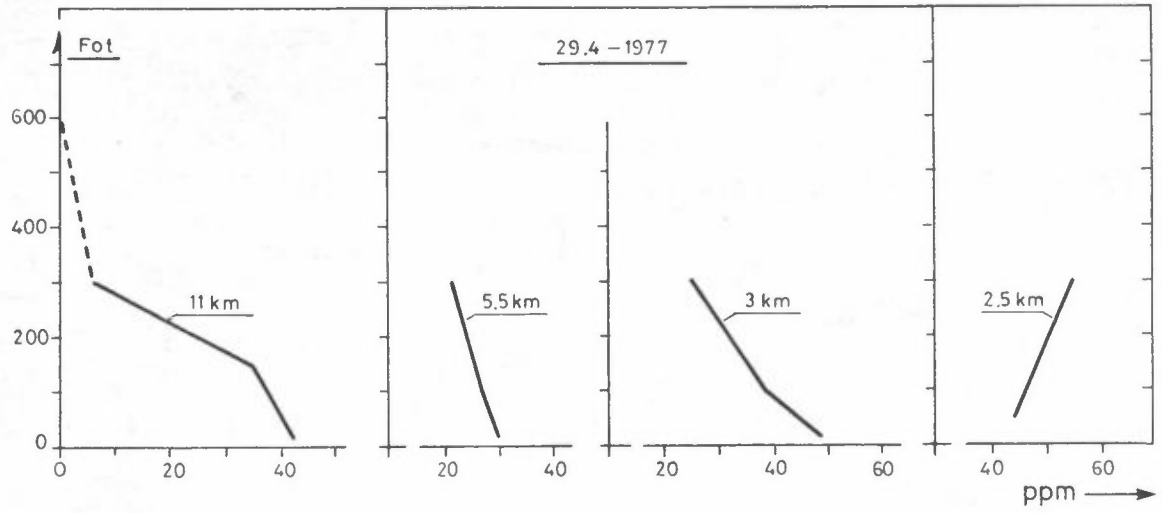
Figur 4: Vertikalfordeling av integrerte konsentrasjoner, 27. april 77.



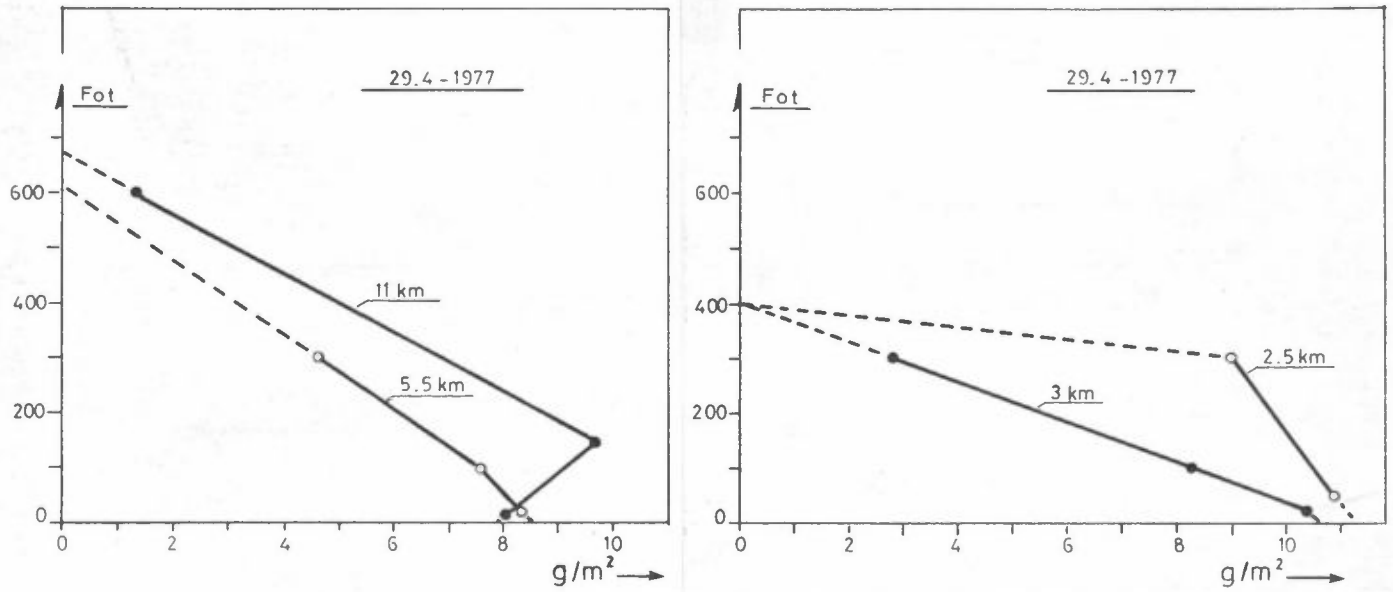
Figur 5a: Hydrokarbonkonsentrasjoner, ppm, og spredningskoeffisient,  $m^{-1}$ , 29. april 1977.



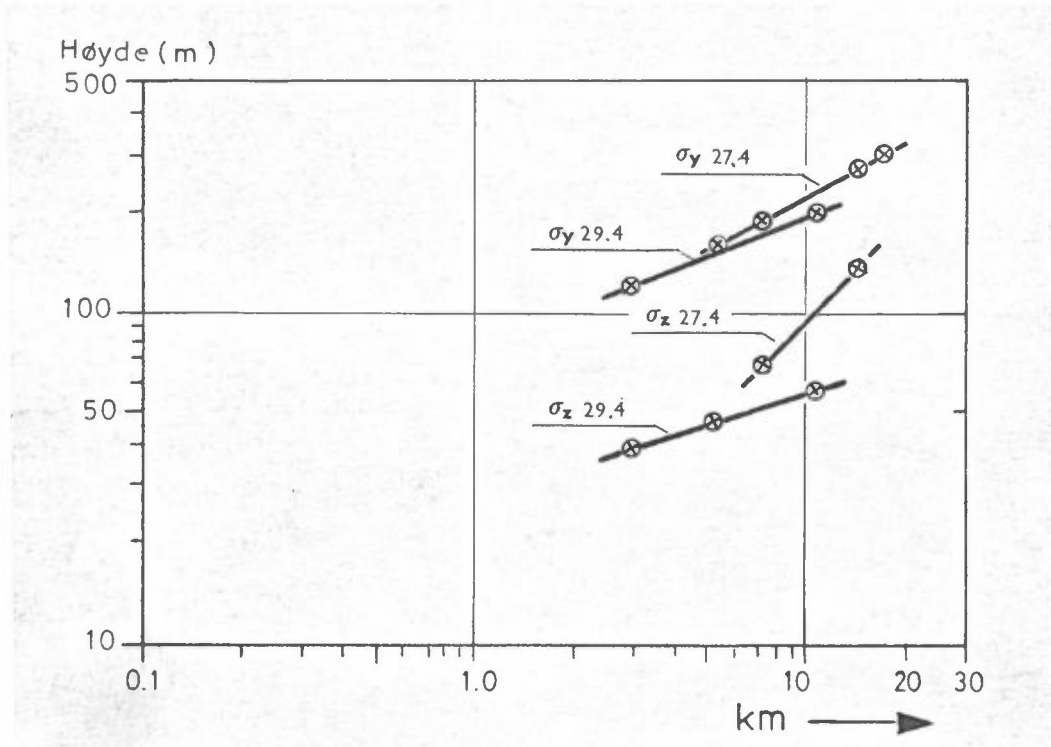
Figur 5b: Hydrokarbonkonsentrasjoner, ppm, og spredningskoeffisient,  $m^{-1}$ , 29. april 1977.



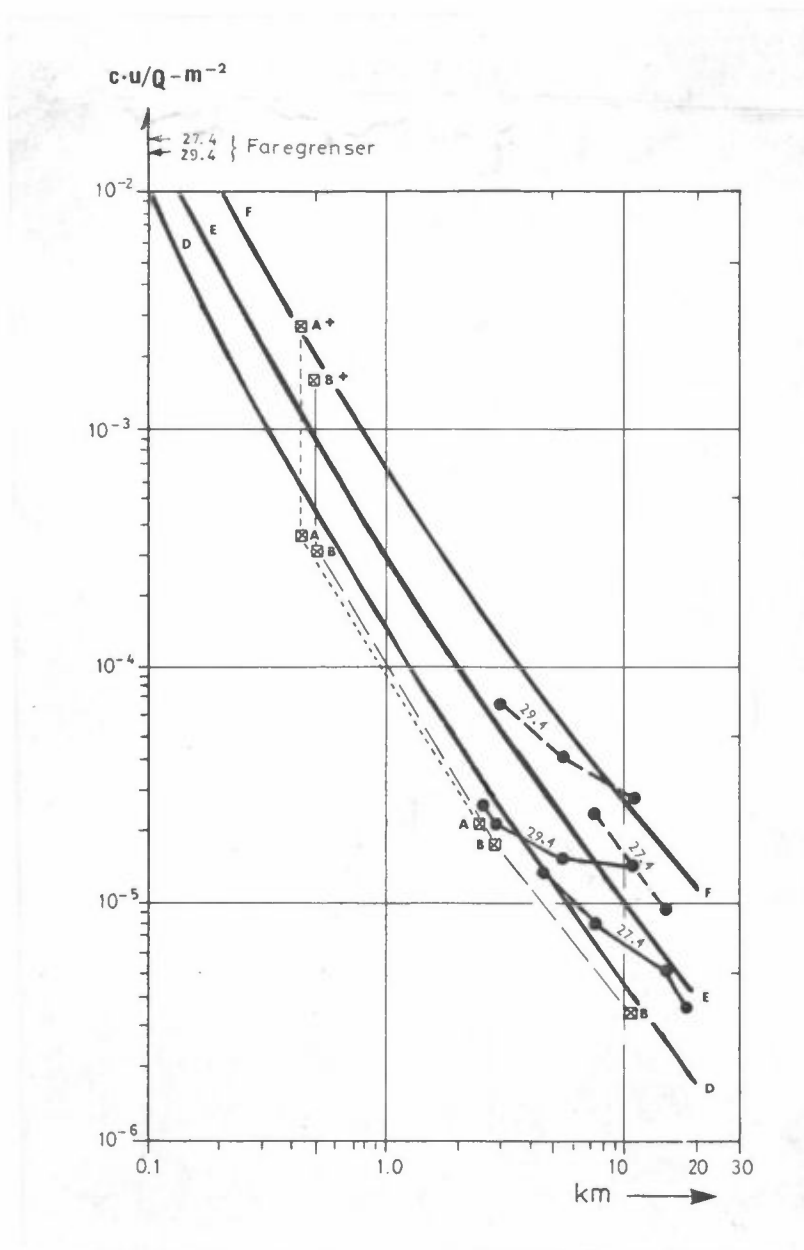
Figur 6: Vertikalfordeling av maksimumskonsentrasjoner, 29. april 77.



Figur 7: Vertikalfordeling av integrerte konsentrasjoner, 29. april 77.



Figur 8: Estimerte standardavvik 27. og 29. april.



Figur 9: Normaliserte konsentrasjoner,  $c u/Q m^{-2}$ .

$c$  = maksimalkonsentrasjon  
 $u$  = vindhastighet  
 $Q$  = utslipp

———— Ekofisk 27. og 29. april, basert på standardavvik, tabell 7,  $Q = 16.7 \text{ kg/s}$

- - - - Ekofisk 27. og 29. april, basert på estimerte konsentrasjoner, tabell 8,  $Q = 16.7 \text{ kg/s}$

A,B : Observasjoner over sjø, Forsvarets Forskningsinstitutt, timesmidler.

A<sup>+</sup>,B<sup>+</sup> : tilsvarende sekundverdier.

D,E,F : kurver tatt fra Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates (1).