

NILU
OPPDRAKSRAFFORT NR 2/79
REFERANSE: 25478
DATO: FEBRUAR 1979

SIKKERHETSSONER VED UKONTROLLERT
UTBLASING - SPREDNING
AV GASS-SKYER

AV
YNGVAR GOTAA8

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM
NORGE

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
1 INNLEDNING	5
2 DATAGRUNNLAG	5
2.1 Utstrømning	5
2.2 Turbulent jetstrøm	6
2.3 Værforhold	7
3 BEREGNEDE AVSTANDER TIL FAREGRENSER (NEDRE EKSPLOSJONS/ ANTENNELSESGRENSE)	9
4 SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	13
VEDLEGG A: Turbulent jetstrømning	15
VEDLEGG B: Turbulent spredning	21
VEDLEGG C: Meteorologiske forhold i Nordsjøen	33

SIKKERHETSSONER VED UKONTROLLERT UTBLÅSING - SPREDNING AV GASS-SKYER

1 INNLEDNING

Etter oppdrag fra Oljedirektoratet har NILU utført spredningsberegninger for en ukontrollert utblåsing av gass fra produksjonsplattformer på norsk-kontrollerte områder i Nordsjøen. Det er utført separate beregninger for hver av plattformene; Frigg-DP2, Statfjord "A", Ekofisk 2/4 A og COD 7/11 A.

Beregninger og vurderinger tar i første rekke sikte på å gi avstander til nedre eksplosjonsgrense for eksplosive gasser under mest ugunstige værforhold og i typiske forekommende værforhold.

Meteorologiske data fra Nordsjøen er høyst mangelfulle. Av pålitelige observasjoner gjennom en årrekke foreligger bare data fra værskipet Famita, og bare for vinterhalvåret. For vurdering av den mer nordlige del av Nordsjøen har en støttet seg på observasjoner fra værskipet Polarfront i Norskehavet.

2 DATAGRUNNLAG

2.1 Utstrømning

Oppgitte utstrømningsdata for de forskjellige plattformene er gitt i tabell 1.

Tabell 1: Utstrømningsdata

PLATTFORM	2/4 A	COD	St fj "A"	DP2
Utblåsningsrate olje-t/d	2500	300	9500	minimalt
Utblåsningsrate gass-Nm ³ /d	8·10 ⁶	1·10 ⁶	2.6·10 ⁶	2.5·10 ⁶
Temp brønnhode- °C	100	100	115	45
Innv. diameter på prod. rør-mm	100.4	100.4	153	174.7
GASS SAMMENSETNING - vol.prosent				
N ₂	0.3	1.2	1.0	0.6
CO ₂	1.4	0.8	0.8	0.3
C ₁	77.0	81.2	77.3	95.5
C ₂	10.2	7.7	11.7	3.6
C ₃	5.4	3.6	8.3	-
C ₄ ⁺	5.7	5.5	0.9	-
Molekylvekt (gassblanding)	21.8	20.8	20.7	16.7

Ved alle plattformene vil det skje en meget rask ekspansjon idet gassen strømmer ut. Trykket reduseres til atmosfæretrykk og gass-strømmen får hastighet lik lydshastigheten for gassblandingen. Innblanding av luft fører til at jetstrømmen antar en konisk form med konstant åpningsvinkel, en vinkel som antas konstant ved alle utstrømningene. Som følge av ekspansjonen må det brukes en modifisert utgangsdiameter, større enn rørdiameteren, ved beregning av høyden av jetstrømmen.

2.2 Turbulent jetstrøm

Tabell 2 gir beregnede verdier for den turbulente jetstrømmen. Vedlegg A gir en oversikt over de vurderinger og beregningsmetoder som er nyttet.

Tabell 2: Jetstrømdata

H = høyde over havet av rørmunning (m)
 Q = gassutstrømning (kg/s)
 $\gamma = c_p/c_v$ (estimert)
 T_2 = gasstemperatur etter ekspansjon (K)
 v_2 = utgangshastighet (lydhastighet) (m/s)
 ρ_2 = gasstetthet etter ekspansjonen (kg/m³)
 d = modifisert diameter

PLATTFORM	2/4 A	COD	St fj "A"	DP2
H	30	33	40	33
Q	90.1	10.7	27.8	21.6
γ	1.25	1.25	1.25	1.25
T_2	332	332	345	283
v_2	398	407	416	420
ρ_2	0.80	0.76	0.73	0.72
d	0.60	0.21	0.34	0.30

2.3 Værforhold

De antatt mest typiske værforhold i plattformområdene er vist i tabell 3.

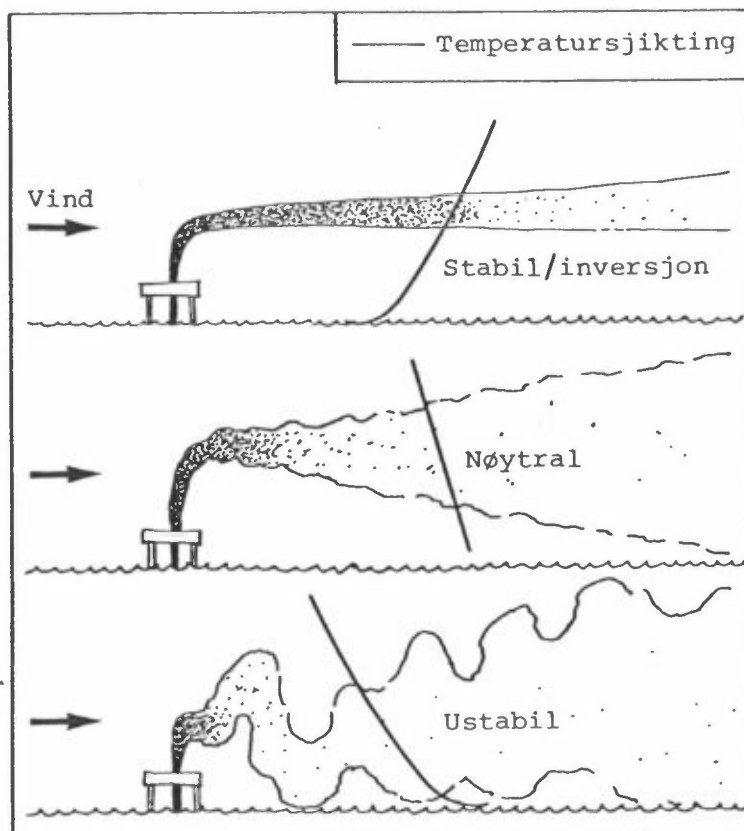
Tabell 3: Vanligst forekommende værforhold ved plattformene i Nordsjøen.

Område	Vindhastighet m/s	Stabilitet
<u>Ekofisk og Cod</u>		
Vinter	8	nøytral/ustabil
Vår	6	lett stabil/nøytral
Sommer	5	lett stabil/nøytral
Høst	6	nøytral
<u>Statfjord og Frigg</u>		
Vinter	10	nøytral/utstabil
Vår	8	nøytral
Sommer	5	lett stabil/nøytral
Høst	8	nøytral

Atmosfærens evne til å spre stoff fra en kontinuerlig kilde avhenger av to faktorer. Vindhastigheten bestemmer hvor fort stoffet føres bort. Turbulensen i luften bestemmer spredningen på tvers av vindretningen. Turbulensen avhenger foruten av type overflate og vindstyrke, også av luftstabiliteten. Nå måles turbulens sjelden direkte, og temperatursjiktingen inngår derfor som en av de viktigste spredningsparametre. Temperatursjiktingens innvirkning på spredningen er illustrert i figur 1.

I en nøytral atmosfære avtar temperaturen med 1°C pr 100 m (tørr luft). Avtar den mer enn 1° pr 100 m sier vi at atmosfæren er ustabil. Det oppstår termiske turbulensstrømmer som gir god vertikal spredning. Hvis temperaturen avtar med mindre enn 1° på 100 m er sjiktingen stabil. Stabil sjikting motvirker turbulens og hemmer vertikal blanding. Når temperaturen øker med høyden kalles den stabile sjiktingen en temperaturinversjon eller bare inversjon.

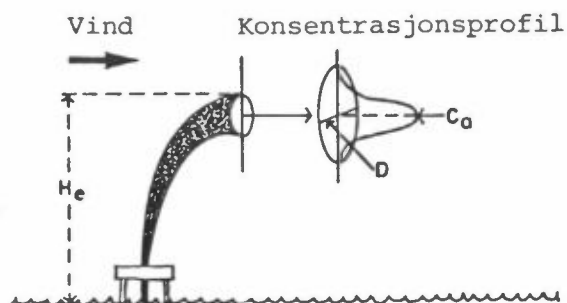
Vedlegg C viser vindfrekvens og temperaturdifferens luft/sjø i de aktuelle plattformområder. Temperaturdifferensen er knyttet til de aller laveste meter og er derfor ofte lite representativ for den termiske stabilitet i spredningssjiktet. Den er imidlertid den eneste tilgjengelige stabilitetsparameter. Under Bravo-utblåsing var sjøtemperaturen lavere enn i luften. Det skulle tilsi stabil termisk sjikting. I høyder over et par meter over havoverflaten var den imidlertid nøytral. Trolig kan noe tilsvarende være tilfelle når sjøen er varmere. Ved tilstrekkelig stor vindhastighet har en oftest nær nøytral sjikting.



Figur 1: Spredning og stabilitet

3 BEREGNEDE AVSTANDER TIL FAREGRENSENER (NEDRE EKSPLOSJONS/
ANTENNELSESGRENSE)

Grunnlaget for resultatene av spredningsberegningene er gitt i vedlegg B. Nedre eksplosjons/antennelsesgrense antas å ligge omkring 5 volumprosent. I følge beregninger presentert i tabell 4 og 5 vil fareområder være begrenset til den umiddelbare nærhet av plattformene. Karakteristiske størrelser gitt i tabell 4 er vist i figur 2.



Figur 2: Jetstrømparametre

En må imidlertid ta hensyn til at beregningsgrunnlaget er usikkert og at konsentrasjonsverdier kan fluktuere betydelig (se vedlegg B). Avstanden til midlere volumprosent 0.5 er derfor gitt i tabell 5.

De største forskjellene i spredningsforholdene opptrer mellom vinter og sommer. Vi vil derfor i fortsettelsen betrakte disse to årstider, og i de vanligst forekommende værforhold (tabell 3).

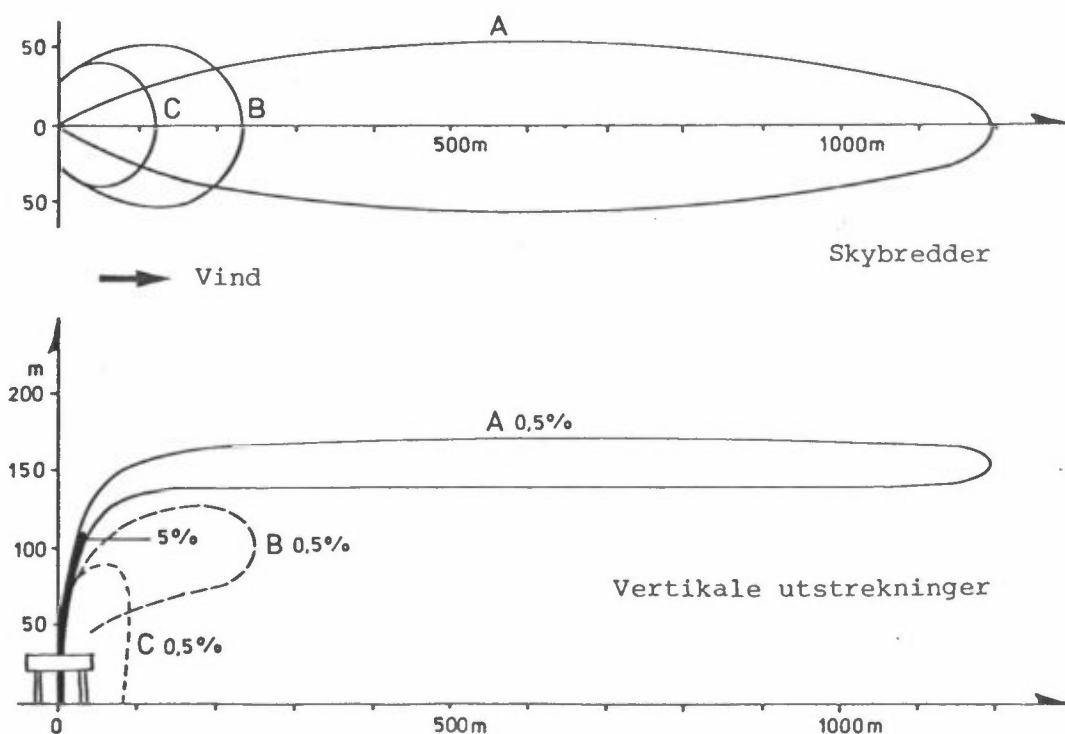
Tabell 4: Total høyde (H_e), diameter (D) og maksimalkonsentrasjon (aksial) av jetstrømmen^e (se figur 2). C_a = maksimalkonsentrasjon (volumprosent).

Plattform	2/4 A		COD		Statfj. "A"		DP2	
	Vinter	Sommer	Vinter	Sommer	Vinter	Sommer	Vinter	Sommer
H_e (m)	112	160	60	78	77	115	63	93
D (m)	26	42	9	15	12	24	10	19
C_a	5	3.5	5	3.5	7	3.5	8.5	4.5

Tabell 5: Avstand (km) langs skyaksen til volumprosent 0.5. Værforhold som gitt i tabell 3. Høyde som gitt i tabell 4.

Plattform	2/4		COD		Statfj. "A"		DP2	
	Vinter	Sommer	Vinter	Sommer	Vinter	Sommer	Vinter	Sommer
Avstand (km)	0.8	1.2	0.15	0.2	0.2	0.25	0.25	0.5

Figur 3 viser den romlig konsentrasjonsfordeling for en ren gass-sky ved Ekofisk 2/4 A. Som en ser gir beregningene en relativt tynn sky som ikke når ned til havoverflaten. Gassstrømmen er imidlertid blandet med oljedråper og vil delvis kunne treffe åpne konstruksjoner. Videre vil vannstrålene fra vannkanoner kunne representere et betydelig moment og rive med seg luft ned mot havoverflaten. Virkningen av disse effekter lar seg idag ikke beregne, men er forsøkt antydnet med utgangspunkt i fotografier og måleresultater under utblåsningen på Bravo-plattformen i 1977.



Figur 3: Utstrømning fra Ekofisk 2/4 A, sommer. (Nøytral/stabil - 5 m/s)
 A: Beregnet, - fri gassutstrømning
 B: Utstrømning av gass/olje som delvis treffer overliggende konstruksjon - grovt estimert.
 C: Som B samt effekt av bruk av vannkanner - grovt estimert.

Den maksimale vertikale utstrekning av faresonen vil inntreffe under nær vindstille forhold. (For beregningsmetode se vedlegg A.) Tabell 5 viser maksimale høyder til faregrenser tilsvarende 5 volumprosent og 0.5 volumprosent.

Tabell 5: Maksimale høyder over havet av faregrenser ($C = 5\%$ og 0.5%), og teoretisk avstand til $C = 0.5\%$ ved 1 m/s vind.

Plattform		2/4 A	COD	Statfjord	DP2
$C = 5\%$	Høyde (m)	95	70	65	50
$C = 0.5\%$	Høyde (m)	325	135	210	180
	Avstand (km)	8	1.8	3.5	4.5

Svake vinder er vanligvis forbundet med stabil sjikting og resulterer i høye konsentrasjoner. Antar vi at spredningsformlene kan brukes for vindstyrker ned til 1 m/s viser tabell 5 også teoretiske avstander for stabil sjikting over sjø til en konsentrasjon på 0.5 volumprosent.

En gjør igjen oppmerksom på at disse avstandene er teoretiske og vil opptre i ett tynt sjikt i relativt store høyder. En har her ikke forsøkt å estimere effekt av plattformkonstruksjoner og eventuell bruk av vannkanoner.

De lengste fareavstander vil inntreffe i svak vind og "vindstille". Da blir turbulensen over den glatte havoverflaten meget liten og uttynningen minimal. Trolig vil svake vinddrag føre til en lang og tynn sky. Spredningsberegninger under disse forhold er imidlertid usikre fordi en vet lite om hvor lav turbulensen er. Skyens dimensjon avtar med diffusjonskoeffisienten K . Usikkerheten i K under disse forhold er meget stor. Verdien vil ligge mellom $1 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ og $10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

4 SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

Basert på utslippsdata og tilgjengelige beregningsmetoder, er det estimert gasskonsentrasjoner under ukontrollert utblåsning på produksjonsplattformer i Nordsjøen. Beregninger er utført for hver av plattformene: Frigg - DP2, Statfjord "A", Ekofisk 2/4 "A", samt COD 7/11 A.

Avstanden til nedre eksplosjons/antennelsesgrense er i de mest typiske værforhold begrenset til plattformens umiddelbare nærhet. Dette er tilfelle selv når en tar hensyn til at konsentrasjonene i enkeltpunkter kan variere sterkt fra beregnede middelveier. Bare ved Ekofisk finner vi avstander opptil og kanskje litt over 1 km. Beregningene viser maksimale konsentrasjoner ved havoverflaten vel under nedre eksplosjonsgrense.

Spredningsberegningene avhenger i sterk grad av hvilke verdier som velges for de parametre (standardavvik) som gir fordelingen tvers vindretningen. Turbulensmålinger gir sikreste resultater, men foreligger ikke over Nordsjøen. De må erstattes av temperaturredifferansen sjø/luft, som gir et usikkert mål for stabiliteten. Videre har en i stor utstrekning vært henvist til parameterverdier funnet under forsøk utført over land. Alle usikkerheter tatt i betraktning, må en derfor regne med at oppgitte konsentrasjoner bare angir størrelsesorden.

De mest ugunstige værforhold er trolig svake vinder eller vindstille. En vet imidlertid lite om spredning under disse forhold. Oftest er temperatursjiktningen stabil og gass-skyen vil holde seg i god høyde over havoverflaten.

Tilgjengelig vindstatistikk viser at vind under 2 m/s forekommer i 5% av tiden på værskipet Famita, representativ for Ekofisk og Cod, og under 3-4% av tiden ved Frigg og Statfjord. Frekvensen av vindstille eller nær vindstille forhold (under 1 m/s) er trolig omtrent 2% og 1%. Slike forhold inntreffer oftest i sammenhengende perioder av noen varighet.

VEDLEGG A

TURBULENT JETUTSTRØMNING

TURBULENT JETUTSTRØMNING

Det følgende bygger i all vesentlighet på 2 arbeider av Cude (1), (2).

Ved gassutstrømning gjennom en sirkulær åpning fører innblanding av luft til at jetstrømmen antar en konisk form. Eksperimenter har vist at åpningsvinkelen, 2β , er konstant ($2 \cdot \tan \beta = 0.32$). Videre at konsentrasjonen er Gaussisk fordelt i et tverrsnitt, og at aksialkonsentrasjonen er den dobbelte av middelkonsentrasjonen.

Bevarelse av bevegelsesmengde gir:

$$(Q + m)/Q = v/w$$

$$= 2/C_a = 0.32 \cdot (\rho_a/\rho_g)^{0.5} \cdot h/d$$

hvor Q = utslipp (masse av gass pr. tidsenhet)

m = total masse av luft innblandet til høyde h

C_a = aksialkonsentrasjon (massefraksjon)

ρ_a = tetthet av luft

ρ_g = tetthet av gass

d = diameter av utslippsåpning

h = høyde over utslippsnivå

w = midlere hastighet gjennom tverrsnittet

v = utslippshastighet

Jetstrømmen mister sin "identitet" når vertikalhastigheten er lik vindhastigheten i høyde h . I praksis fører indre friksjon til dissipasjon av turbulent energi, slik at jetstrømmen når en endelig høyde selv når vindhastigheten går mot null. Som grenseverdi foreslår Cude en virtuell vindhastighet på 2 m/s.

Vinden vil avbøye jetstrømmen. Den horisontale avstanden fra utslippspunktet til der strømmen går over fra jet til vind-drevet blir lik $h/2$, uavhengig av vindhastigheten.

VEDLEGG B

TURBULENT SPREDNING

1 TURBULENT SPREDNING

Etter jetstrømmen har nådd sin endelige høyde skjer den videre uttynning ved atmosfærisk turbulens, samtidig som gassen transporteres vekk med vinden.

For en kontinuerlig punktkilde i høyde h , og med full refleksjon (ingen absorpsjon) av gass fra overflaten, gir den vanlige Gaussiske spredningsformel:

$$C(x, y, z) = Q / (2\pi v \sigma_y \sigma_z) \cdot \left[\exp\{-y^2/2\sigma_y^2 - (z-h)^2/2\sigma_z^2\} + \exp\{-y^2/2\sigma_y^2 - (z+h)^2/2\sigma_z^2\} \right]$$

Her er aksekorset lagt med x -retning i middelvindretningen og z -aksen vertikalt gjennom utslippspunktet. σ_y og σ_z er standardavvikene henholdsvis horisontalt og vertikalt. Praksis har vist at en med god tilnærming kan uttrykke standardavvikene som potensfunksjoner av avstanden:

$$\sigma_y = a x_r \left(\frac{x}{x_r}\right)^p$$

$$\sigma_z = b x_r \left(\frac{x}{x_r}\right)^q$$

Det gir $\sigma_y \sigma_z = a \cdot b \cdot x^{p+q}$, når avstanden uttrykkes i meter og $x_r = 1$ m.

For spredning fra en areal- eller volumkilde brukes virtuelle punktkilder i avstander oppvinds som justeres etter dimensjon av den virkelige kilde, slik at standardavviket i avstanden til kilden tilsvarer utstrekningen av denne. For en sirkulær arealkilde med diameter D tvers av vindretningen får vi:

$$\sigma_y = a(x+x_y)^p$$

$$\sigma_z = b(x+x_z)^q$$

hvor $x_y = \frac{1}{2} \left(\frac{D}{4.3a}\right)^{1/p}$

$$x_z = \frac{1}{2} \left(\frac{D}{4.3b}\right)^{1/q}$$

(Her er "bredden" av plumen regnet som avstanden mellom 1/10 aksialkonsentrasjon. I en Gaussisk fordeling er denne avstand 4.3 σ).

2 VALG AV PARAMETERVERDIER

Parametrene a, b, p og q avhenger alle av turbulensen. Denne måles imidlertid sjelden direkte. Derfor nyttes i stor grad den termiske stabilitet, ofte i kombinasjon med vindhastigheten. Det finnes få parameterverdier over sjø bestemt empirisk. De få data som finnes, gir alle uttrykk for langt mindre turbulent spredning enn under tilsvarende forhold over land. Dette skyldes den langt glattere overflate (mindre ruhet) selv under forhold med betydelige bølger.

Teoretiske betraktninger gir:

$$\sigma_{x_i} = \sigma_{\theta_i} f(x_r, I_i)$$

hvor σ_{θ_i} er standardavvik av vindvektoren og I er turbulensintensitet. For relativt korte avstander, 0.1 til 10 km,

$$\sigma_{x_i} = \sigma_{\theta_i} (x_r)^{1-p_i} x^{p_i}, \text{ og med } x_r = 1$$

$$\sigma_{x_i} = \sigma_{\theta_i} x^{p_i}$$

Ved bruk av σ_{θ_2} er det oppnådd god overensstemmelse med observerte verdier av σ_y . For σ_{θ_3} foreligger få observasjoner.

Verdien av $\sigma_{x_2} = \sigma_y$ øker med midlingstiden (måleperioden). Empiriske verdier er oftest basert på observerte konsentrasjoner over 10 min til 1 time. Sammenhengen mellom standardavvik og midlingstid er empirisk gitt som

$$t_1 = t_2 \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^{1/5}$$

Dessverre foreligger ikke turbulensmålinger over Nordsjøen eller på plattformene, slik at vi er henvist empiriske verdier basert på termisk stabilitet.

Av direkte målinger av σ_y over sjø vil vi nevne to sett. Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) lot en båt foreta gjentatte passeringer i en avstand av 500 m fra en kontinuerlig punktkilde. Det tok under $\frac{1}{2}$ min å krysse skyen. Under hver passering ble det tatt en serie konsentrasjonsmålinger, hver med varighet på 0.8 sek. Midlere verdier av tilsammen 180 kryssinger under 15 forskjellige forsøk ga som middel $\sigma_y = 11$ m. Nyttets temperaturforskjellen mellom mellom 100 og 2 meter som indikator for stabiliteten var det 4 tilfeller med inversjon, 2 stabile, 8 nær nøytrale og 1 ustabil tilfelle. Men det var ingen markert forskjell i skybredden for de forskjellige stabilitetsklasser. Dette gjaldt såvel skybredden under hver enkelt kryssing som middelveien etter en times sampling. Dette synes overraskende. Noe kan forklares ved at økende stabilitet først og fremst demper den vertikale turbulens, i langt mindre grad de horisontale svingninger. De maksimale konsentrasjonsverdier, og dette gjelder såvel øyeblikksverdier som midlere timesverdier, var imidlertid dobbelt så høye under inversjonsforhold som under nøytrale.

For nær nøytrale forhold antas $p = 0.85$ også over sjø (1). Det gir $\sigma_y = 0.06 x^{0.85}$ for $\sigma_y = 11$ m i avstand 500 m. Vindhastigheten varierte mellom 2 og 7 m/s. Den så heller ikke ut til å ha særlig innflytelse på skybredden.

Tilsvarende båtkryssninger i lée av en kontinuerlig punktkilde for oljerøyk er utført av Brookhaven National Laboratories (BNL) (2). Konsentrasjonsverdier ble estimert ved fotografering og densiometermålinger. For nær nøytrale forhold ga målingene ved regresjonsanalyser $\sigma_y = 0.06 x^{0.88}$. Det tilsvarer $\sigma_y = 14$ m i en avstand av 500 m. Overensstemmelsen med FFI målingene er forbausende god. Men denne må nok til en viss grad tilskrives tilfeldigheter, når en tar i betraktning den store spredning det er i begge datamengder. For stabile forhold var $\sigma_y = 0.13 x^{0.78}$ og for ustabile $\sigma_y = 0.01 x^{1.2}$. Det gir i begge tilfelle $\sigma_y = 17$ m i en avstand av 500 m. Følgelig var det heller ikke her noen signifikant variasjon med stabiliteten.

Som uttrykk for den vertikale spredning fant BNL:

sjikting

$$\begin{array}{ll} \text{ustabil} & \sigma_z = 0.25 x^{0.64} \rightarrow \sigma_z(500 \text{ m}) = 13 \text{ m} \\ \text{nøytral} & \sigma_z = 0.5 x^{0.42} \rightarrow \sigma_z(500 \text{ m}) = 7 \text{ m} \\ \text{stabil} & \sigma_z = 0.17 x^{0.58} \rightarrow \sigma_z(500 \text{ m}) = 6 \text{ m} \end{array}$$

Disse verdier stemmer ganske bra med forsøk FFI har foretatt i avstander fra 5 til 15 km, men gir en noe mindre økning med avstanden.

For turbulent spredning over sjø bruker en ofte spredningsparametre funnet over land, da disse er langt sikrere bestemt gjennom serier av forsøk. Det tas hensyn til forskjellen i overflateruhet ved valg av stabilitetsklasse. For nøytral sjikting over sjø velges f.eks. parameterverdier for stabile forhold over land. Vi vil her presentere de parameterverdier NILU bruker for utslipp fra et punkt over bakken (skorsteinsutslipp) (3), basert på målinger foretatt av BNL.

Parameter \ Sjikting	Ustabil	Nøytral	Stabil
a	0.36	0.32	0.31
b	0.33	0.22	0.06
p	0.86	0.78	0.71
q	0.86	0.78	0.71

De oppgitte verdier av standardavvikene σ_y og σ_z er middelverdier. Enkeltverdier kan variere meget fra forsøk til forsøk, selv under tilsynelatende like forhold. Figur 1 viser som eksempel frekvensfordeling av σ_y under 136 båt-kryssninger FFI foretok. I 5% av tilfellene var σ_y større enn 25 m, i 5% under 4.5 m. Figur 2 viser frekvensfordeling av de 136 maksimal-konsentrasjonene. Ser en på konsentrasjonsfordelingen i et enkelt punkt for maksimalt timesmiddel (fig. 3) viste 60%

av målingene null konsentrasjon. Dette understreker effekten av langperiodiske svinginger i luftstrømmen (meandering).

Under BNL forsøkene ble det, samtidig med røykutslippet over sjøen, sluppet røyk fra en liten øy. Under stabile forhold spredte skyen fra øya seg dobbelt så hurtig som fra båten og under stabile forhold fire ganger så hurtig. Det gir muligens en indikasjon av forhold en kan vente bak en plattform.

3 MAKSIMALKONSENTRASJONER

Konsentrasjon i vindretningen ($y = 0$), normalisert for utslipp og vindhastighet, er $CN = C \cdot U / Q$. For utslipp i høyden H_e og $Z = H_e$

$$CN_{H_e} = \frac{1}{2\sigma_y \sigma_z} \left[1 + \exp \left(- \frac{2H_e^2}{\sigma_z^2} \right) \right]$$

og ved bakken (overflaten)

$$CN_0 = \frac{1}{2\sigma_y \sigma_z} \cdot 2 \exp \left(- \frac{H_e^2}{2\sigma_z^2} \right)$$

Vi regner her med en effektiv utslippshøyde $H_e = H + h$, hvor H er virkelig utslippshøyde og h er overhøyden gassen får, her som følge av utslippshastigheten.

For aktuelle verdier av H_e og σ_z kan refleksjonsbidraget i CN_{H_e} neglisjeres. Bakkekonsentrasjonen CN_0 er forsvinnende nær kilden, men vokser raskt med avstanden og blir lik konsentrasjonen i høyde H_e i en avstand hvor $\sigma_z \approx 0.85 H_e$. Deretter nærmer den seg asymptotisk den dobbelte verdi, som er konsentrasjonen fra en like stor bakkekilde. Dette skjer i avstander som beregningsmessig er sterkt avhengig av σ_z . Som eksempel kan nevnes at med $H_e = 50$ m, blir $CN_H = CN_0$ i 66 km når vi velger BNL's verdier for σ_z for nøytrale forhold over sjø, i 10 km om vi velger verdier for stabile forhold over land, og i 850 m med verdier for σ_z for nøytral temperatursjiktning over land.

For avstander lik eller kortere enn denne kritiske, blir beregningsmessig maksimalkonsentrasjonen

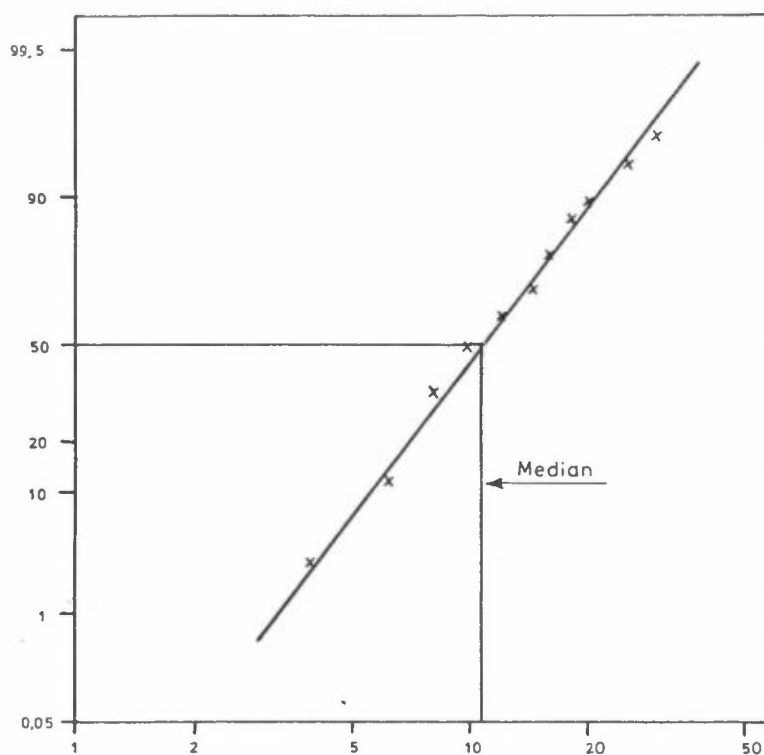
$$CN = 1/(2\pi\sigma_y\sigma_z)$$

Under Bravoblåsingene ble CN estimert (4). Sjiktingen var nøytral og vindstyrken 8 m/s. Verdien i 3 km (korteste avstand) stemmer meget godt overens med beregnet verdi for nær nøytrale forhold (NILU stabil).

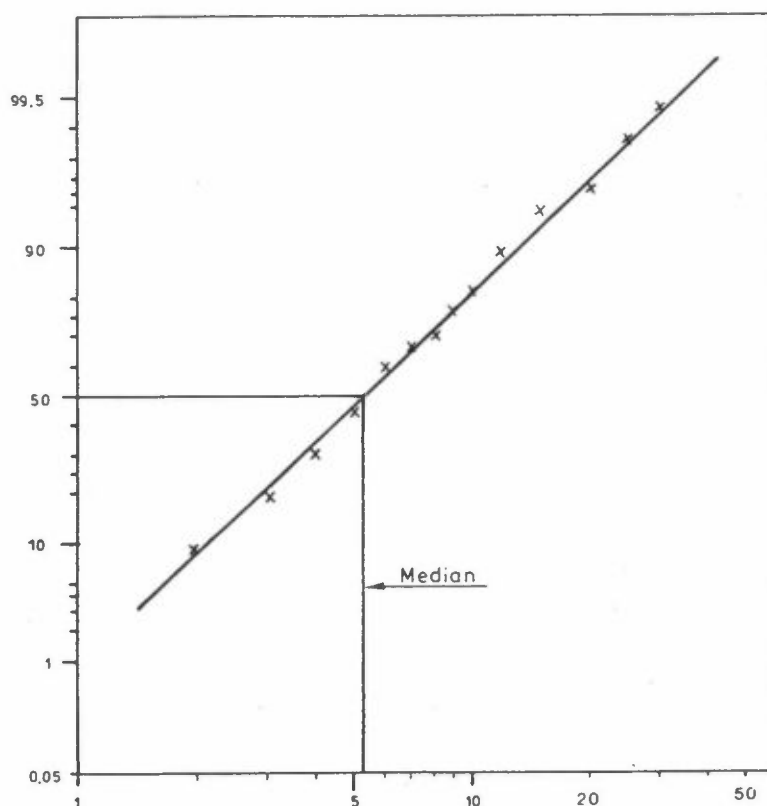
Den effektive utslippshøyde avtar med økende vindhastighet. De største bakkekonsentrasjonene inntreffer derfor ved en bestemt, kritisk vindhastighet. Hvordan vi finner denne hastighet, samt den tilsvarende avstand og maksimalkonsentrasjon er vist i (5).

REFERANSELISTE

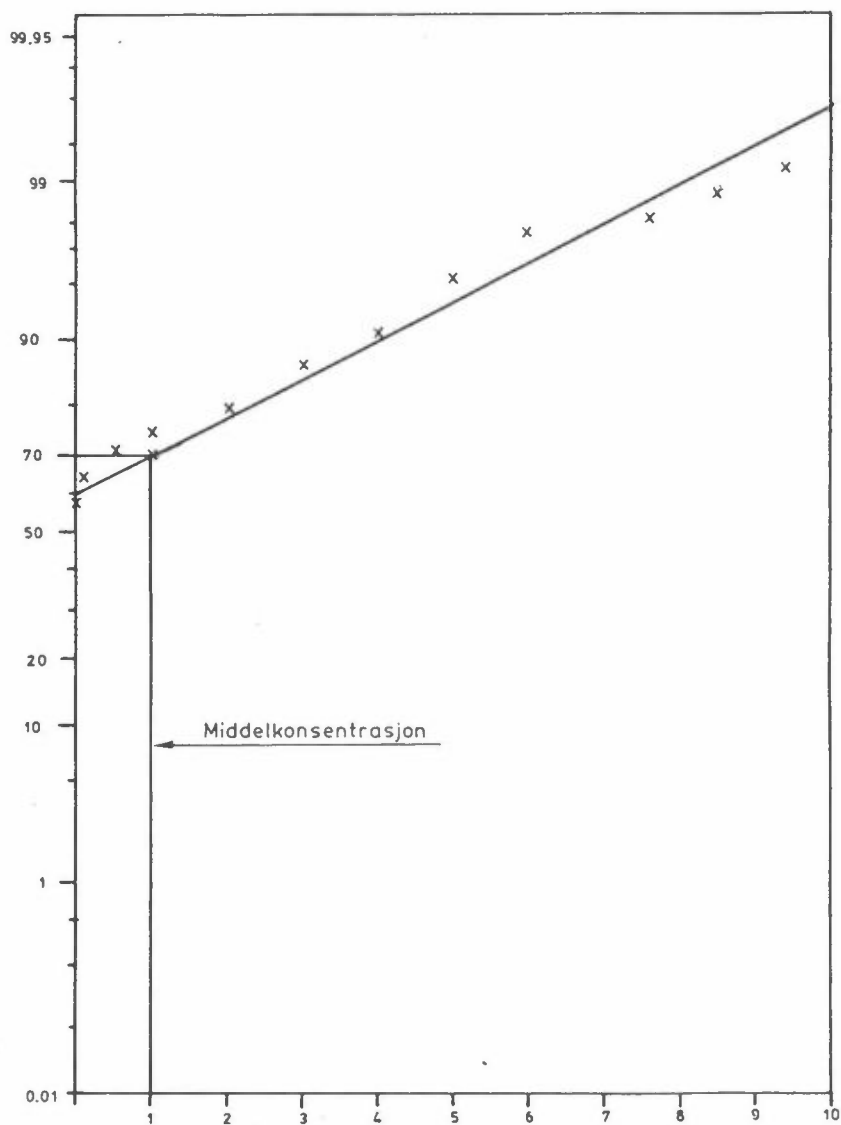
- (1) Hosker, R.P. A comparison of estimation procedures for over-water plume dispersion. *I: Proc. of the synop. on atm. diff. and air poll.* Santa Barbara, 1974, 281-288.
- (2) Raynor, G.S.
Brown, R.M.
SethuRaman, S. A comparison of diffusion from a small island and an undisturbed ocean site. *J.appl. met.* 17, 129-139 (1978).
- (3) Sivertsen, B. Plume rise calculations. Kjeller 1974 (NILU TN 80/74).
- (4) Gotaas, Y. The blowout at Ekofisk Bravo, April 1977 aircraft measurements of hydrocarbon concentrations in the air. Rev.ed. (NILU OR 19/77), Lillestrøm 1978.
- (5) Gotaas, Y. Estimating minimum stack height. A simplified procedure. *J. Air poll.contr. ass.* 27, 1205-1206 (1977).



Figur 1: Frekvensfordeling av observerte øyeblikksverdier av den horisontale spredningsparameter. (Målinger over sjø. FFI.)
 σ_y (relative enheter).



Figur 2: Frekvensfordeling av maksimale korttidskonsentrasjoner (relative enheter). (Målinger over sjø, FFI.)



Figur 3: Frekvensfordeling av forholdet mellom observerte øyeblikk- og tidsmiddelverdier av konsentrasjoner på det sted i en gass-sky hvor tidsmiddelverdien er høyest. (Målinger foretatt av FFI.)

VEDLEGG C

METEOROLOGISKE FORHOLD I NORDSJØEN

av

Leif O. Hagen

METEOROLOGISKE FORHOLD I NORDSJØEN

av

Leif O. Hagen

1 ANVENDTE DATA - DATAKVALITET

Hovedvekten er lagt på tilgjengelige data fra værskipene Famita (57.5°N , 2°E) og Polarfront (66°N , 2°E). Fra Famita foreligger målinger hver tredje time i månedene oktober-mars for årene 1959-1973, mens Polarfront har målinger hele året i perioden 1949-1973. Fra disse værskipene har en benyttet data for vindretning, vindstyrke, lufttemperatur og sjøtemperatur. Disse data har en fått oversendt fra Meteorologisk Institutt (MI). MI har også skaffet to detaljerte data-serier med fordelingen av sjøtemperatur for hele nordsjø-området for hver måned. Den ene serien er utarbeidet av Det Internasjonale Havforskningsråd i København og bygger på målinger i årene 1905-1954. Denne er benyttet til å bestemme sjøtemperaturen i Ekofisk/Cod- og Frigg/Statfjord-området. Denne dataserien viser lite avvik fra en tilsvarende serie utarbeidet av Deutsches Hydrographisches Institut. Overensstemmelsen med målinger av sjøtemperaturen på Famita i årene 1959-1973 er også meget god. Når det gjelder sjøtemperatur synes de anvendte data å gi et meget godt bilde av forholdene i Nordsjøen.

For lufttemperatur har en derimot ikke data for månedene april-september i det sentrale Nordsjø-området. En har imidlertid benyttet data fra Polarfront for hele året og for Famita fra vinterhalvåret. Disse indikerer at det er en systematisk årlig gang i forskjellen mellom sjø- og lufttemperatur. Ut fra denne sammenhengen har en kunnet anslå lufttemperaturen på Famita også for sommermånedene. For Frigg/Statfjord-området er forskjellen i sjø/lufttemperatur antatt å ligge mellom den tilsvarende forskjellen for Famita og Polarfront. For sommermånedene bekreftes dette av tilsvarende data fra de meteorologiske stasjonene i Lerwick på Shetland og Helløysøy fyr. Disse stasjonene synes imidlertid

å gi for stor forskjell mellom sjø- og lufttemperatur i vinterhalvåret.

Ut fra disse betraktninger kan en anta at de data en har fått fram om forskjellen i sjø- og lufttemperatur er realistiske. Antagelsen er mer usikker for sommermånedene i Ekofisk-Cod-området, mens vinterdataene bygger på 15 års målinger. For Frigg/Statfjord-området er de antatte lufttemperaturene noe mer usikre enn i Ekofisk/Cod-området.

For vindretning og vindstyrke har en heller ingen data fra Famita for sommerhalvåret april-september. Ellers i året synes det å være liten forskjell i vindfrekvenser mellom Famita og Polarfront, mens vindstyrken systematisk er høyere på Polarfront. For Frigg/Statfjord-området, som ligger midt mellom disse værskipene, er det rimelig å anta en vindfrekvensfordeling lik midlet av Famita og Polarfront. Data fra Lerwick, som ligger på samme breddegrad som Frigg/Statfjord synes å være for mye påvirket av lokale forhold til å gi et godt bilde av vindretningsfrekvensfordelingen i åpent farvann.

De eksisterende data for vindretning og vindstyrke fra Famita og Polarfront synes å være tilstrekkelige til å gi et representativt bilde både ved Ekofisk/Cod- og Frigg/Statfjord-området.

2 RESULTATER

2.1 Vindretning

Frekvensfordeling av vind fra 12 hovedvindretninger for værskipene Famita og Polarfront er gitt i henholdsvis figur 1 og figur 2. For Famita, som er representativ for Ekofisk/Cod-området, har en ikke data for månedene april-september. I figur 1 har en slått sammen mars, oktober og november som representative for vår- og høst-månedene. Ved Famita blåser det oftest i en bred sektor fra sørøst til nordvest (dreiet med urviseren), mens vind fra nordøst har relativt liten hyppighet.

Ved Polarfront er det mindre forskjeller i frekvens av vind fra forskjellige retninger enn ved Famita, og det er også relativt små forskjeller fra årstid til årstid. De fleste vindretninger har en hyppighet på 5-10% alle årstider. Mest markert er sørlige og sørvestlige vinder om høsten.

2.2 Vindstyrke

Figur 3 gir en frekvensfordeling av observerte vindstyrker ved Famita og Polarfront for hver årstid. Kurvene viser eksempelvis at det ved Famita om vinteren er under 3 m/s i 10% av tiden, under 8 m/s i 50% av tiden og under 16 m/s i 10% av tiden.

På grunnlag av figur 3 har en i tabell 1 satt opp en antatt vindfrekvensfordeling for områdene omkring Ekofisk/Cod og Frigg/Statfjord. Innenfor den nøyaktighet en her kan regne med har en funnet det mest hensiktsmessig å gi samme verdier både for vårmånedene mars-mai og høstmånedene september-november i gjennomsnitt. Dette er gjort på grunnlag av at de tilsvarende kurver for Polarfront ligger svært nær hverandre. Tabell 1 viser gjennomgående litt høyere vindstyrker ved Frigg/Statfjord enn ved Ekofisk/Cod. Forskjellen er relativt sett størst om vinteren og minst om sommeren.

2.3 Luft- og sjøtemperatur

Figur 4 gir månedsmiddelverdier av luft- og sjøtemperatur i Ekofisk/Cod- og Frigg/Statfjord-området og ved Polarfront. Sjøtemperaturdataene bygger på mange mange års observasjoner, mens når det gjelder lufttemperatur har en støttet seg til data fra Polarfront for hele året og for Famita i vinterhalvåret oktober-mars.

Tabell 2 gir en oppsummering av luft- og sjøtemperaturen og forskjellen mellom dem, som er et mål for stabilitetsforholdene like over havflaten, fordelt på måneder og årstider. Ved

Ekofisk/Cod er lufttemperaturen høyere enn sjøtemperaturen fra april til september, mens ved Frigg/Statfjord er lufttemperaturen høyest bare i sommermånedene juni til august, og da er også forskjellen svært liten.

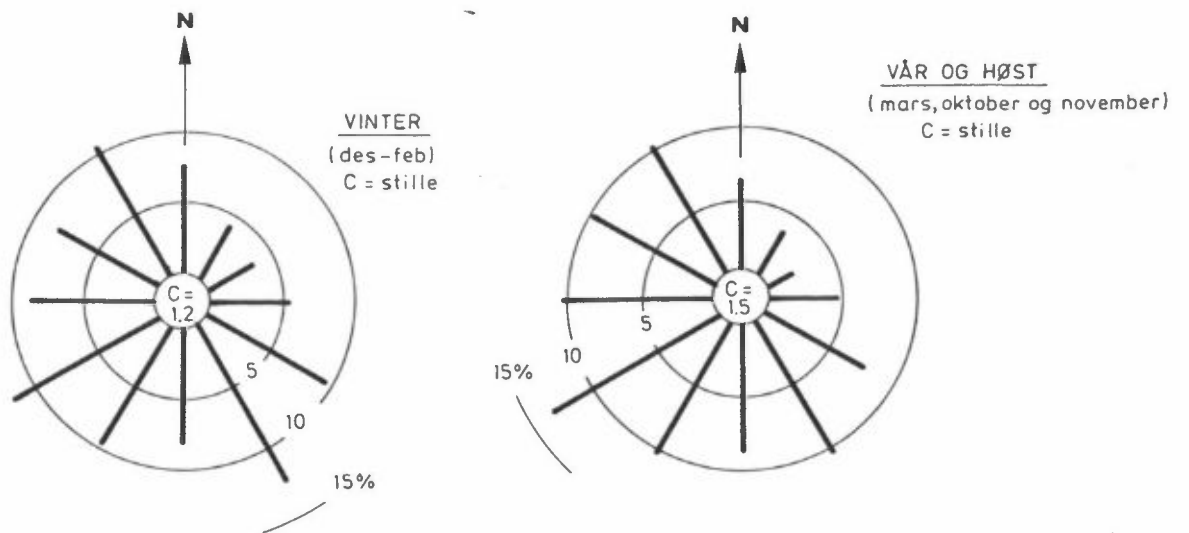
Figur 5 gir en frekvensfordeling av forskjellen mellom luft- og sjøtemperatur ved Famita og Polarfront for hver årstid. Ved Polarfront er eksempelvis sjøtemperaturen høyere enn lufttemperaturen i 96% av tiden i vintermånedene desember-februar, mens tilsvarende tall for Famita er 81%. Om sommeren er sjøtemperaturen høyest i omlag 85% av tiden ved Polarfront og 50% av tiden ved Famita.

Tabell 1: Antatt vindstyrkefrekvensfordeling i Nordsjøen.

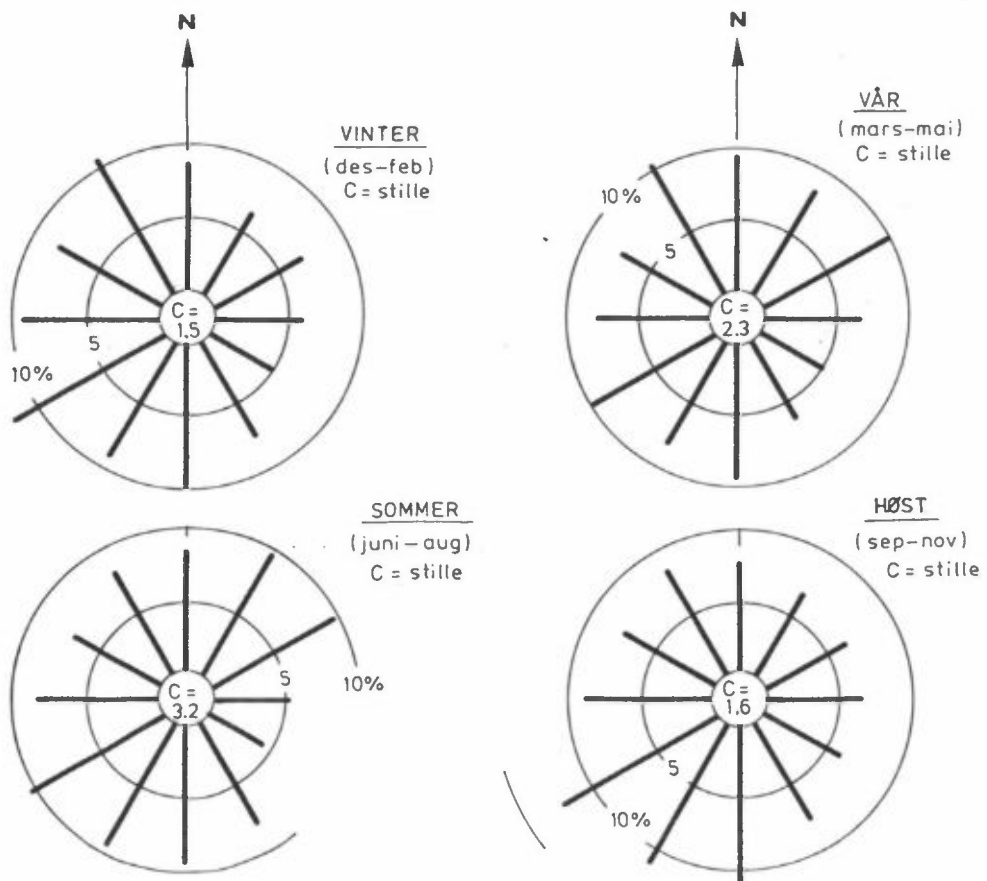
Område	EKOFISK/COD				FRIGG/STAFFJORD			
	Vinter	Vår	Sommer	Høst	Vinter	Vår	Sommer	Høst
99	21	19	14	19	23	20	15	20
95	18	15	11	15	19	17	12	17
90	16	13	9	13	17	14	10	14
75	12	9	7	9	13	11	8	11
50	8	6	5	6	10	8	5	8
25	5	4	3	4	6	5	3	5
10	3	2	1	2	4	3	1	3
5	1	0.5	<0.5	0.5	2	1	<0.5	1

Tabell 2: Antatt temperaturfordeling i Nordsjøen.

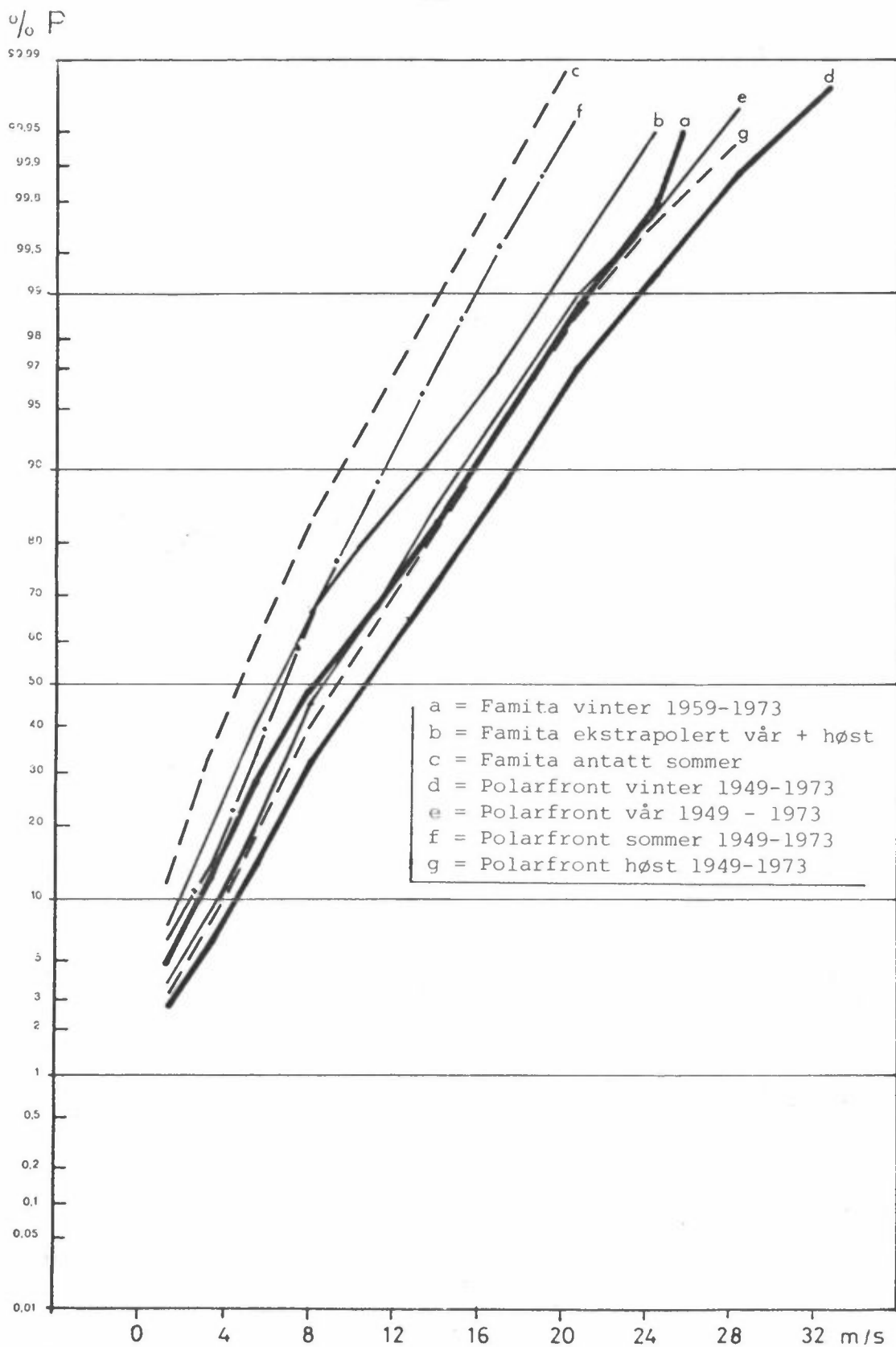
Område	EKOFISK/COD		(°C)		FRIGG/STATFJORD			(°C)
	Luft	Sjø	Luft - Sjø	Luft	Sjø	Luft - Sjø		
Måned								
Januar	5.5	6.8	- 1.3	4.9	7.6	- 2.7		
Februar	4.9	6.1	- 1.2	4.5	7.0	- 2.5		
Mars	5.4	5.8	- 0.4	4.9	6.8	- 1.9		
April	6.6	6.3	0.3	6.0	7.2	- 1.2		
Mai	9.0	8.1	0.9	8.3	8.6	- 0.3		
Juni	12.3	11.3	1.0	10.8	10.6	0.2		
Juli	15.0	13.9	1.1	13.4	13.1	0.3		
August	15.8	14.9	0.9	13.8	13.6	0.2		
September	14.2	13.7	0.5	12.2	12.6	- 0.4		
Oktober	11.1	11.4	- 0.3	9.4	10.4	- 1.0		
November	7.9	9.1	- 1.2	7.6	9.3	- 1.7		
Desember	6.5	7.8	- 1.3	6.1	8.5	- 2.4		
Vinter	5.6	6.9	- 1.3	5.2	7.7	- 2.5		
Vår	7.0	6.7	0.3	6.4	7.5	- 1.1		
Sommer	14.4	13.4	1.0	12.7	12.4	0.3		
Høst	11.1	11.4	- 0.3	9.7	10.8	- 1.1		



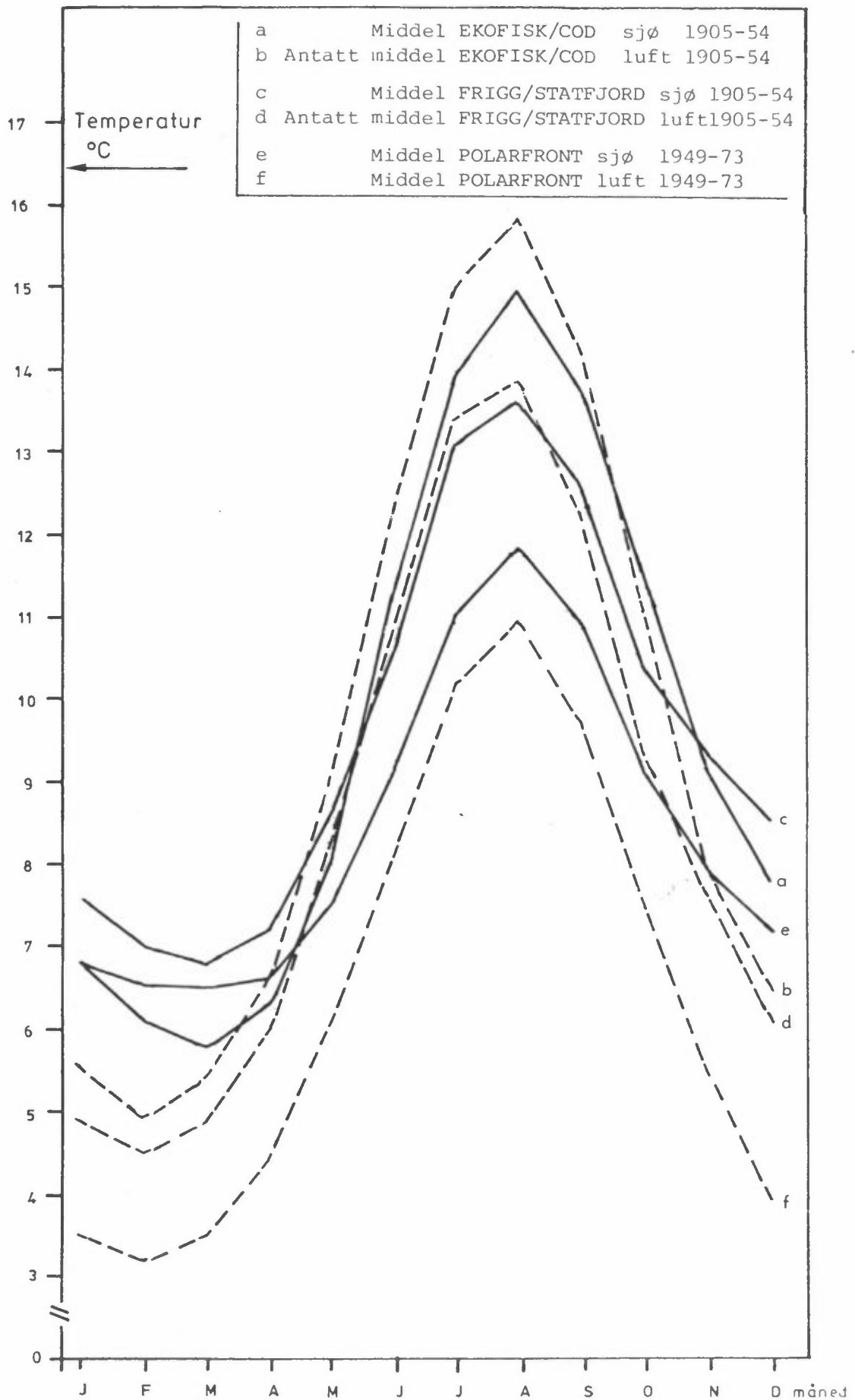
Figur 1: Vindroser for Famita for perioden 1959-1973.



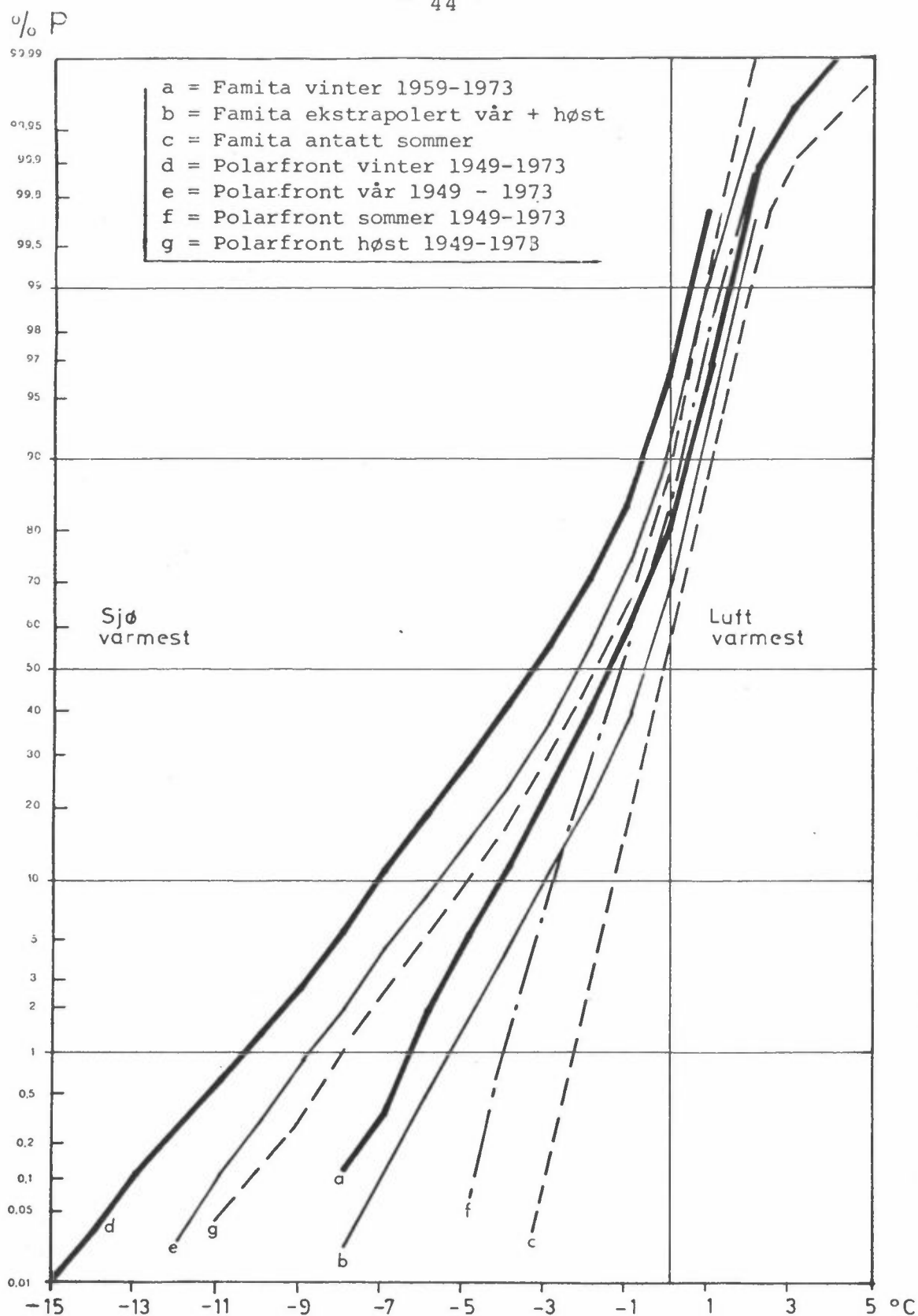
Figur 2: Vindroser for Polarfront for perioden 1949-1973.



Figur 3: Frekvensfordeling av vindstyrke ved Famita og Polarfront for hver årstid.



Figur 4: Sjø- og lufttemperatur i forskjellige områder i Nordsjøen (°C)



Figur 5: Frekvensfordeling av temperaturforskjell mellom luft og sjø ved Famita og Polarfront for hver årstid.

