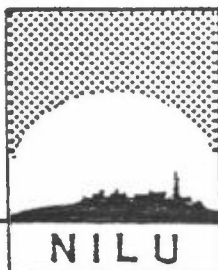


NILU OR : 8/86  
REFERANSE: N-8434, O-8328  
DATO : JANUAR 1986

**OKSIDANTDANNELSE I FORBINDELSE MED UTSLIPP  
FRA BRENNING AV NATURGASS PÅ OLJEFELTENE  
I NORDSJØEN**

Øystein Hov



**NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING**

Postboks 130 - 2001 Lillestrøm

NILU OR : 8/86  
REFERANSE: N-8434, O-8328  
DATO : JANUAR 1986

**OKSIDANTDANNELSE I FORBINDELSE MED UTSLIPP  
FRA BRENNING AV NATURGASS PÅ OLJEFELTENE  
I NORDSJØEN**

Øystein Hov

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING  
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM  
NORGE

ISBN 82-7247-674-6

## **SAMMENDRAG**

NILU har hatt i oppdrag fra Statens Forurensningstilsyn å vurdere muligheten for dannelse av fotokjemiske oksidanter i forbindelse med utslipp av uforbrente hydrokarboner og nitrogenoksider fra brenning av naturgass på oljefeltene i Nordsjøen.

En betydelig gassmengde brennes i fakler i Nordsjøen. På årsbasis brennes det gass med et energiinnhold svarende til halvparten av det norske oljeforbruket (sammenlagt for norsk og engelsk sektor). Gassflammene er konstruert slik at varmestrålingen på plattformene er akseptabel. Forurensningsfaren i forbindelse med utslipp av hydrokarboner og nitrogenoksider har vært lite påaktet. Et anslag viser at det samlede utslippet på engelsk og norsk sokkel av lette hydrokarboner (med unntak av metan) i Nordsjøen på grunn av gassbrenning i fakler, er 5-70 kt/a. Det nasjonale utslipp i Storbritannia er ca 1160 kt/a, i Norge 170 kt/a. Utslippet av nitrogenoksider i Nordsjøen på grunn av gassbrenning, anslås til 30-45 kt  $\text{NO}_2$ /a, mens de nasjonale utslipp er 1730 kt  $\text{NO}_2$ /a i Storbritannia og 120 kt/a i Norge, og av aldehyder 0.24-0.35 kt/a, mens de nasjonale utslipp er 11-30 kt/a i Storbritannia og 2-5 kt/a i Norge. Disse overslagene for forurensningsutslipp i Nordsjøen av hydrokarboner og nitrogenoksider, viser at utslippene er for små til å bidra mer enn maksimalt noen få prosent til oppbygningen av oksidanter i nordvest-Europa.

Utslippsestimatene baserer seg imidlertid på et svært usikkert datagrunnlag. Delvis er det brukt emisjonsfaktorer for brenning av naturgass i kraftverk, hvor forbrenningsforholdene er bedre kontrollert enn i fakler. Det er mulig at bl.a. aldehydutslippet er vesentlig høyere fra gassfakler enn fra kraftverk som brenner naturgass. Hvis det er tilfelle, kan det gi opphav til oksidantdannelse av betydning. Det foreslås derfor et begrenset måleprogram hvor sammensetningen og mengden av hydrokarboner (deriblant aldehyder) og  $\text{NO}_x$  bestemmes i en røykfane fra en gassfakkel. Det vil kunne gi et bedre grunnlag til å vurdere omfanget av hydrokarbon- og nitrogenoksid-utslippene fra gassfakler i Nordsjøen.

**INNHALDSFORTEGNELSE**

	Side
SAMMENDRAG .....	3
1 OMFANG, UTSLIPP AV NITROGENOKSIDER OG ORGANISKE GASSER .....	5
2 VURDERING .....	7
3 REFERANSER .....	8

## OKSIDANTDANNELSE I FORBINDELSE MED UTSLIPP FRA BRENNING AV NATURGASS PÅ OLJEFELTENE I NORDSJØEN

### 1 OMFANG. UTSLIPP AV NITROGENOKSIDER OG ORGANISKE GASSER

Naturgassforekomster til havs kan enten komprimeres og sendes til lands i skip eller rør, føres tilbake i brønnen, eller brennes i fakler. Utformingen av en fakkel er avgjørende for å få høy forbrenningseffektivitet med lite sotdannelse og minst mulig strålingsvarme. Forbrenningen vil aldri være 100%, dvs. en del av hydrokarbonene forbrennes ikke fullstendig. Under bestemte forhold med hensyn til trykk og temperatur, vil det i en brennende luft-hydrokarbonblanding kunne oppstå soner med såkalt kalde flammer, som skjærer igjennom blandingen. Slike bleke, kalde flammer har et spektrum som lett kan skilles fra vanlige flammer ved at det bl.a. dannes formaldehyd (Gaydon og Wolfhard, 1979). Vind- og turbulensforhold og gassens strømnings-hastighet er viktige for forbrenningseffektiviteten. Feltundersøkelser tyder på at forbrenningseffektiviteten i gassfakler kan ligge mellom 90 og 99% (Straitz, 1977; Siegel, 1980; Howes et al., 1981). Organiske gasser kan være metan, andre lette alkaner og formaldehyd. Feltene sør i Nordsjøen produserer naturgass som for det meste består av metan. Fra feltene lenger nord er naturgassen mer sammensatt med metan, etan, propan, butan og aromatiske gasser som viktige bestanddeler (Derwent, 1982). Det ble tatt luftprøver på flere forskningstokter med et tysk fartøy nordover og sydover i Atlanterhavet i 1979-1981. Som det går fram av fig. 1, ble det målt høye konsentrasjoner av etan, propan og butan rundt 50-60<sup>0</sup>N i situasjoner med vind fra Nordsjøen i forhold til nivåene i svært ren luft (Rudolph et al., 1982).

Nitrogenoksider dannes fra luftas oksygen og nitrogen under høye temperaturer. Når en blanding av hydrokarboner og nitrogenoksider bestråles av sollys, dannes det sekundære gasser som f.eks. ozon og peroksyacetylnitrat (PAN). Dannelsen skjer i løpet av noen timer hvis forholdene ligger til rette for det.

Utslippene av hydrokarboner og nitrogenoksider i Nordsjøen har vært brukt til å forklare høye ozonkonsentrasjoner som har vært målt i Nederland

(Schneider, 1982). Det kan derfor være grunn til å vurdere om brenning av naturgass i Nordsjøen kan gi opphav til utslipp av hydrokarboner og nitrogenoksider av et omfang som kan gi oksidantdannelse av betydning. I tabell 1 er vist hvor mye gass som ble brent i fakler i løpet av årene 1978-1981 på engelsk sokkel og i årene 1980 og 1982 på norsk sokkel.

Tabell 1: Omfang av naturgassbrenning i fakler i Nordsjøen ( $10^6 \text{ Nm}^3/\text{a}$ ).

	1978	1979	1980	1981	1982
Engelsk sokkel (Derwent, 1982)	4548	6607	4365	4033	
Norsk sokkel (Oljedirektoratet 1980, 1982)			737 (1522)*		286 (1270)*
			4200*		

\*) hvis også gass brukt til brensel på plattformene inkluderes

\* ) gassmengde brent fra fakkel på norsk sokkel fram til 31/12-1980, svarer til 7.1% av all gass produsert fra norske oljefelt i perioden.

Tallene i tabell 1 kan sammenlignes med det totale salg av petroleumsprodukter i Norge, som er ca  $8000 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{a}$ . Dette er energimessig ekvivalent med ca.  $8000 \times 10^6 \text{ Nm}^3$  naturgass, eller omtrent det dobbelte av den totale gassmengde brent i fakler på norsk sokkel fram til 31/12-1980.

Hvis det anslås at  $5-7 \times 10^9 \text{ Nm}^3$  naturgass brennes årlig i fakler i Nordsjøen, er utslippet av organiske gasser 50-70 kt/a ved 99% forbrenningseffektivitet og 500-700 kt/a ved 90% forbrenningseffektivitet, for det meste trolig som metan. Metan bidrar ikke til ozondannelse over så kort tidsrom som noen dager. EPA (1972) oppgir en utslippsfaktor på  $6250 \text{ kg}(\text{NO}_2)/10^6 \text{ Nm}^3$  som  $\text{NO}_x$ -utslipp ved brenning av naturgass i kraftverk. Hvis denne faktoren brukes ved brenning av gass i fakler, svarer  $5-7 \times 10^9 \text{ Nm}^3$  naturgass til 30-45  $\text{kt}(\text{NO}_2)/\text{a}$ . EPA (1972) oppgir også en emisjonsfaktor for aldehyder ved brenning av naturgass i kraftverk,  $48 \text{ kg}/10^6 \text{ Nm}^3$ . Dette svarer til et årlig aldehydutslipp på 0.24-0.34 kt/a. I den grad gassfakkelen har en kald flammes egenskaper, kan aldehydutslippet trolig være mye høyere enn for gassbrenning i kraftverk. I tabell 2 er gjort en sammenstilling av utslippsestimatene for ikke-metan-hydrokarboner og nitrogenoksider fra

gassfaklene i Nordsjøen, sammenlignet med de årlige utslipp i Storbritannia (Apling et al., 1979) og Norge (Semb, 1979, OECD, 1982). Det anslås at 90% av hydrokarbonutslippene fra brenning av naturgass i fakler består av metan. Det foreligger ikke måledata som kan understøtte denne antagelsen.

Tabell 2: Årlige ikke-metan-hydrokarbon-utslipp og nitrogenoksid-utslipp fra brenning av naturgass i fakler i Nordsjøen, sammenlignet med utslippene i Norge og Storbritannia.

	Nordsjøen	Storbritannia	Norge
Ikke-metan-hydrokarboner (kt/a)	5-70	1158	170
Nitrogenoksider (kt NO <sub>2</sub> /a)	30-45	1730	120*
Aldehyder (kt/a)	0.24-0.35	11-30	2-5

\*) inkl. innenriks sjøtransport og fiske.

Det bør føyes til at ikke-metan-hydrokarbon-fraksjonen i Nordsjøen består av langsomt reagerende alkaner, som bidrar lite til oksidantdannelsen i løpet av de første døgnene etter utslipp. De nasjonale utslipp domineres av hydrokarboner fra bileksos, hvor innholdet av reaktive alkener og aromatiske forbindelser er vesentlig større.

Ved oljeinstallasjoner foregår gassbrenningen i fakler vesentlig i en oppstartingsfase før injiserings- eller rørsystemer for transport er klare, eller ved sporadiske uhell og driftsforstyrrelser. I fig. 2 er vist hvordan brenningen av gass har foregått på Statfjord A i perioden 1980-1982. Fluktuasjonene er betydelige.

## 2 VURDERING

Det brennes mye gass i fakler. I perioder har energiinnholdet i gassen brent i fakler på Statfjord A, vært opptil 10% av det gjennomsnittlige døgnlige oljeforbruket i Norge. Det brennes gass i fakler i Nordsjøen (engelsk og norsk sokkel) som tilsvarende energiinnholdet i omtrent halvparten av det norske oljeforbruket på årsbasis.

Gassflammene konstrueres utfra sikkerhetshensyn med hensyn til strålingsvarme på plattformene. Utslipet av forurensninger er ikke vurdert, etter de opplysninger det har vært mulig å få gjennom kontakt med oljeselskapene. Det



har ikke vært mulig å skaffe til veie data for sammensetningen og konsentrasjonen av nitrogenoksider og organiske gasser i røykfanene fra gassfakler. Grunnlaget for utslippsvurderingene i tabell 2 er derfor spinkelt. Hvis utslippene av  $\text{NO}_x$  og organiske gasser er såpass beskjedne som angitt i tabellen, er det liten grunn til å tro at utslippene bidrar merkbart til oksidantdannelsen som kan finne sted i nordvest-Europa på godværsdager.

Det knytter seg stor uvisshet til vurderingen av utslippet av  $\text{NO}_x$ , formaldehyd og sammensetningen av de organiske gassene i røykmassen. Hvis aldehyd-utslippet er vesentlig større, eller hvis de organiske gasser har et merkbart innslag av tyngre alkaner, aromatiske forbindelser eller alkener, kan det være grunn til å vente at det er økning i den fotokjemiske aktiviteten i le av gassfaklene i godværsperioder. Dette kan gi opphav til økt konsentrasjon av ozon, peroxyacetylnitrat (PAN), salpetersyre og svovelsyre.

I episoder er omfanget av gassbrenning i fakler så stort at det kan være grunn til å foreslå et måleprogram hvor det tas flaskeprøver av lufta i røykfanen fra en gassfakkell. Prøvene bør tas fra fly. Samtidig bør  $\text{NO}_x$  måles kontinuerlig. Flaskeprøvene bør analyseres med hensyn på mengde og sammensetning av hydrokarboner, og konsentrasjonsnivået av formaldehyd bør bestemmes. Sammenholdt med vinddata og data for mengder av gass som brennes, bør måleresultatene kunne gi et sikrere vurderingsgrunnlag for omfanget av utslipp av  $\text{NO}_x$  og organiske gasser fra brenning av gass i fakler.

### 3 REFERANSER

Apling, A., Potter, C.J., og Williams, M.L. (1979) Air pollution from oxides of nitrogen, carbon monoxide and hydrocarbons. Stevenage (Warren Spring Laboratory LR 306 (AP)).

Derwent, R.G. (1982) Personlig meddelelse.

EPA(1972) Compilation of pollutant emission factors. Research Triangle Park, NC (AP-42).

Gaydon, A.G. og Wolfhard, H.G. (1979) Flames. Their structure, radiation and temperature. 4. utg. London, Chapman and Hall, 449 s.

Howes, J.E. Jr., Hill, T.E., Smith, R.N., Ward, G.F. og Herget, W.F. (1981) Development of flare emission measurements methodology. Draft final report. EPA 14/8-1981, Battelle Columbus Laboratories.

OECD (1982) Photochemical smog. Contribution of volatile organic compounds. Paris.

Oljedirektoratet (1980 og 1982) Årsberetning. Stavanger.

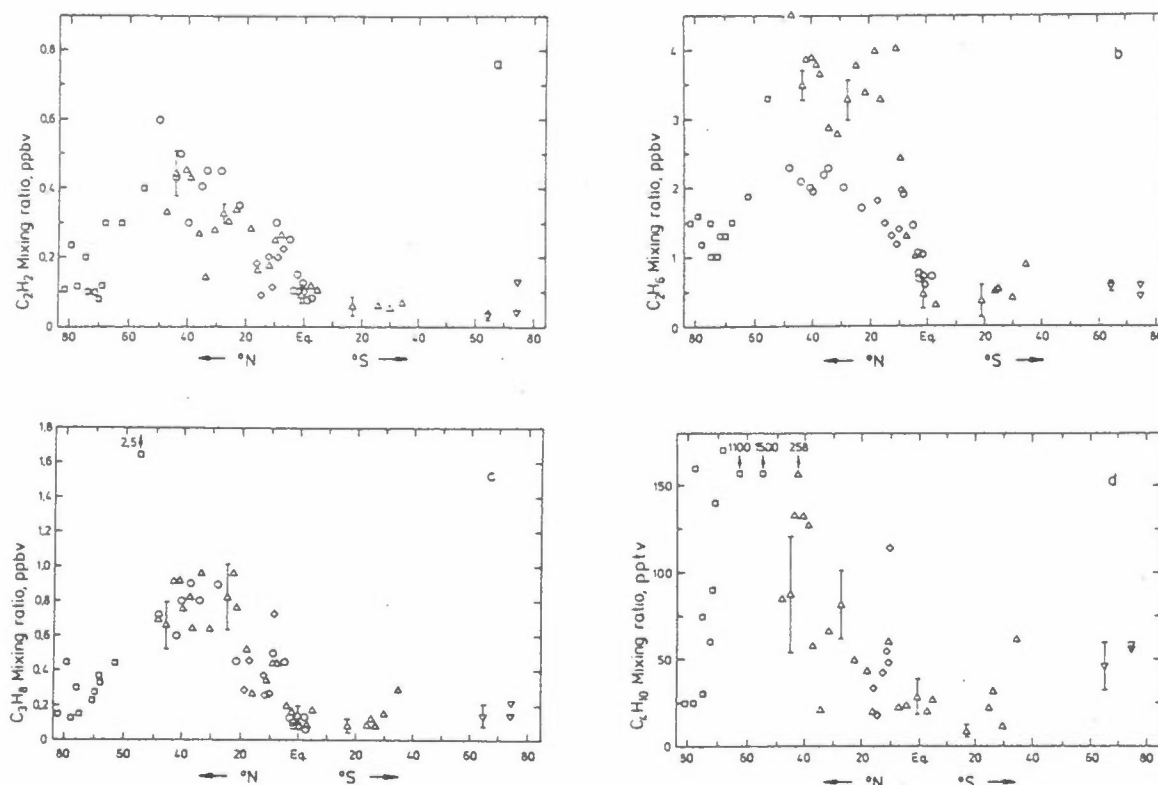
Rudolph, J., Ehhalt, D.H., Khedim, A. og Jebsen, C. (1982) Latitudinal profiles of some C<sub>2</sub>-C<sub>5</sub> hydrocarbons in the clean troposphere over the Atlantic. I: Symposium on the composition of the nonurban troposphere, 2. 25-28 May, 1982. Proc. Boston, Am. Met. Soc., s. 284-286.

Schneider, T. (1982) Measurement of air pollution in time and space. I: Chemistry of the unpolluted and polluted troposphere. Red. av H.W. Georgii og W. Jaeschke. Dordrecht, D. Reidel Publishing Company, s. 457-481.

Semb, A. (1979) Emissions of gaseous and particulate matter in relation to long-range transport of pollutants. I: WMO Symp. on the long-range transport of pollutants. Sofia, 1-5 oktober 1979. Papers. Geneva (WMO-No. 538) ref. 1.1.

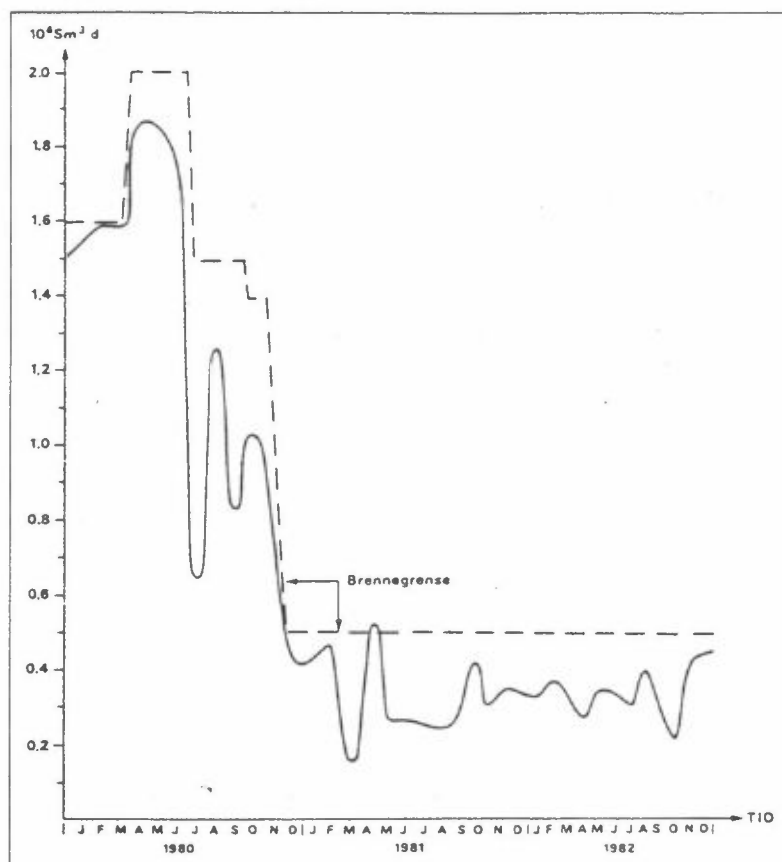
Siegel, K.D. (1980) Degree of conversion of flare gas in refinery high flares. Ph.D. avhandling, Universitetet i Karlsruhe.

Straitz, J.F., III (1977) Make the flare protect the environment. Hydrocarbon Processing, Oct. issue.



Figur 1: Breddegradsfordeling av konsentrasjonen av  $C_2H_2$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_3H_8$  og  $C_4H_{10}$  målt for forskningsfartøy i Atlanterhavet (Rudolph et al., 1982). Målepunkter angitt ved sirkler svarer til prøver tatt i januar og februar 1979, kvadrater august-september 1979, ruter oktober-november 1980 og trekanter mars-april 1981. Høye konsentrasjoner av  $C_3H_8$  og  $C_4H_{10}$  på 50-60°N ble målt i det østlige Atlanterhavet under påvirkning av østlige vinder (fra Nordsjøen).

## Brenning av gass på Statfjord A Gas flared on Statfjord A



Figur 2: Omfanget av brenning av gass på Statfjord A i 1980-1982, i  $10^6 \text{ Sm}^3/\text{d}$  (Oljedirektoratets årsberetning, 1982).

**NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING (NILU)  
NORWEGIAN INSTITUTE FOR AIR RESEARCH**

POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM (ELVEGT. 52), NORGE

RAPPORTTYPE Oppdragsrapport	RAPPORTNR. OR 8/86	ISBN-82-7247-674-6	
DATO JANUAR 1986	ANSV. SIGN. <i>J. Schjorøe</i>	ANT. SIDER 11	PRIS kr. 20,-
TITTEL Oksidantdannelse i forbindelse med utslipp fra brenning av naturgass på oljefeltene i Nordsjøen.		PROSJEKTLEDER Ø. Hov	
		NILU PROSJEKT NR. N-8434, O-8328	
FORFATTER(E)  Øystein Hov		TILGJENGELIGHET A	
		OPPDRAAGSGIVERS REF.	
OPPDRAAGSGIVER (NAVN OG ADRESSE) MD, SFT, NTN			
3 STIKKORD (å maks. 20 anslag) Naturgass                      Fakler                      Oksidanter			
REFERAT (maks. 300 anslag, 7 linjer) Det er gjort et overslag som viser at utslippene av ikke-metan hydrokarboner og nitrogenoksider i forbindelse med brenning av gass i fakler i Nordsjøen, sannsynligvis er så små at det er liten mulighet for nevneverdig oksidantdannelse. Utslippsestimater hviler på et usikkert datamateriale, og det foreslås et begrenset måleprogram for hydrokarboner (bl.a. aldehyder) og nitrogenoksider i en røykfane fra en fakkell for å forbedre datagrunnlaget.			

TITLE Formation of oxidants in gas flare plumes in the North Sea
ABSTRACT (max. 300 characters, 7 lines) Estimation of the emissions of non methane hydrocarbons (NMHC) and nitrogen oxides (NOx) from gas flares in the North Sea, gives an indication that the emissions are minor and little to worry about in the context of photochemical oxidants. The data base for the estimates is very weak, however, and a limited program for measurements of NMHC (including aldehydes) and NOx in a gas flare plume, is proposed in order to improve the emission estimates.

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