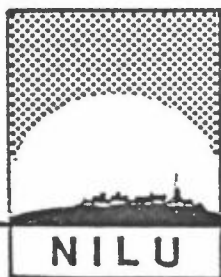


NILU : OR 10/85  
REFERANSE: O-8415  
DATO : FEBRUAR 1985

**SPREDNING AV TUNGE GASSER**  
**- ÅRSRAPPORT 1984 -**



**NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING**

---

POSTBOKS 130.- 2001 LILLESTRØM

NILU : OR 10/85  
REFERANSE: 0-8415  
DATO : FEBRUAR 1985

*SPREDNING AV TUNGE GASSER*  
*- ÅRSRAPPORT 1984 -*

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING  
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM  
NORGE

ISBN 82-7247-564-2

**INNHALDSFORTEGNELSE**

	Side	
1	INNLEDNING .....	4
1.1	Prosjektorganisasjn .....	4
1.2	Ansvarsfordeling .....	4
1.3	Økonomi .....	5
2	PROSJEKTMÅL .....	6
3	INNSAMLING, BEARBEIDELSE OG FYSISK TOLKNING AV MÅLEDATA .....	6
3.1	Innsamling og bearbeidelse av måledata fra spredningsforsøkene på Thorney Island .....	6
3.2	Fysisk tolkning av måledata .....	7
3.2.1	Forsøksopplegg .....	7
3.2.2	Databehandling .....	8
3.2.3	Resultater .....	8
3.2.4	Innflytelse av atmosfæreparametre .....	9
3.2.5	Sammenlikning med Eidsvik-modellen .....	10
3.2.6	Konklusjoner .....	11
4	NUMERISK ANALYSE AV TUNG GASSPREDNING .....	12
4.1	Det fysiske system .....	12
4.2	Belegningsmetode .....	12
4.3	Resultater og konklusjon .....	12
5	FYSISK SIMULERING .....	14
5.1	Vanntunnel .....	14
5.1.1	Eksperimenter .....	14
5.1.2	Resultater .....	14
5.1.3	Konklusjoner .....	15
5.1.3.1	Reproduserbarhet .....	15
5.1.3.2	Gasskonsentrasjoner .....	15
5.1.3.3	Ruhetsskalering .....	16
5.2	Vindtunnel .....	17
5.2.1	Modellering .....	17
5.2.1.1	Modelleringsparametre .....	17
5.2.1.2	Modell .....	18
5.2.2	Instrumentering .....	18
5.2.2.1	Strømningsinstrumentering .....	18
5.2.2.2	Hastighetsmålinger .....	19
5.2.2.3	Konsentrasjonsmålinger .....	19
5.2.3	Resultater .....	19
5.2.3.1	Strømningsinstrumentering .....	19
5.2.3.2	Konsentrasjonsmålinger .....	20
5.2.4	Diskusjon .....	20
5.2.5	Konklusjoner .....	21
6	MØTEAKTIVITET .....	21
6.1	Rapporter, publikasjoner, foredrag .....	21
7	FREMTIDIGE OPPGAVER .....	22

## SPREDNING AV TUNGE GASSER ÅRSRAPPORT

### 1 INNLEDNING

NILU-prosjektet "Spredning av tunge gasser" fikk i 1983 støtte av Statoil, Norsk Hydro og Borregaard fabrikker, foruten av NTNf. For bedre å samordne prosjektaktiviteter på området spredning av tunge gasser, ble det i desember samme år holdt et møte på NILU med representanter fra SINTEF/NTH. Dette har ført til betydelig utvidelse av prosjektet og til endringer i arbeidsplan og fordeling av oppgaver.

#### 1.1 PROSJEKTORGANISASJON

Kontrakter mellom Statoil, Norsk Hydro, Borregaard Fabrikker og Veritec som oppdragsgivere og NILU og SINTEF som utøvende parter ble inngått i mai-juni 1984. NILU var ansvarlig for prosjektadministrasjon i tillegg til bearbeidelse og fysisk tolkning av måledata fra Thorney Island. SINTEF har vært ansvarlig for delprosjektene:

- Numerisk simulering av tung gass spredning
- Simulering i vind- og vanntunnel

Styringsgruppen for prosjektet har bestått av en representant fra hver oppdragsgiver.

#### 1.2 ANSVARSFORDELING

Delprosjektene med ansvarlig institutt og person er som følger:

Delprosjekttittel	Institutt	Ansvarlig
Numerisk simulering,	Seksjon for teknisk varmelære	Prof. B.F. Magnussen
Vindtunnelsimulering,	Seksjon for gass- og aerodynamikk	Forsker A. Holdø
Vanntunnelsimulering,	Divisjon Vassdrags- og Havnelaboratoriet	Forsker R. Wighus
Bearbeidelse og fysisk tolkning,	Norsk Institutt for Luftforskning	Forskn.leder Y. Gotaas
Prosjektadministrasjon,	Norsk Institutt for Luftforskning	Forskn.leder Y. Gotaas

Forsker Trond Bøhler, NILU, har vært sekretær for prosjektet.

### 1.3 ØKONOMI

Oppdragsgiverne har bidratt med følgende midler:

NTNF*	kr 50.000,-
Statoil	kr 400.000,-
Norsk Hydro	kr 225.000,-
Borregaard	kr 25.000,-
Veritec	<u>kr 75.000,-</u>
	<u>kr 775.000,-</u>

Fordeling på fagfelt:

Fysisk simulering	kr 260.000,-
Numerisk simulering	kr 260.000,-
Database/Fysisk tolkning	kr 200.000,-
Administrasjon	<u>kr 55.000,-</u>
	<u>kr 775.000,-</u>

De bevilgede midler vil være brukt opp innen årets utgang.

---

\*Bevilgning til NILU.

## 2 PROSJEKTMÅL

I henhold til kontrakten er målene gitt nedenfor:

Langsiktig mål: Prosjektets langsiktige mål er å utvikle kunnskaper om spredning av tunge gasser i teknisk-industriell sammenheng.

Strategiske mål:

- Utvikling av matematiske modeller og fysiske simuleringsteknikker for spredning av tunge gasser. Metodene skal gjelde for utslipp fra ulike kilder, ta hensyn til variable atmosfæriske forhold og behandle komplisert geometri og topografi.
- Metodene skal gi kvantitativt grunnlag for konsekvensanalyser ved planlegging og for rasjonelle handlinger i uhellsituasjoner.
- Innsamling og bearbeiding av resultater fra feltforsøk og -målinger.

## 3 INNSAMLING, BEARBEIDELSE OG FYSISK TOLKNING AV MÅLEDATA

### 3.1 INNSAMLING OG BEARBEIDELSE AV MÅLEDATA FRA SPREDNINGSFORSØKENE PÅ THORNEY ISLAND

NILU har med støtte fra Miljøverndepartementet, Statens forurensningstilsyn og NTNf deltatt som bidragsyter til forsøkene på Thorney Island, og har derfor hatt tilgang til resultatene. Forsøkene ble formelt avsluttet i april 1984.

I fase I, spredning av tung gass uten fysiske hindringer, ble det utført i alt 15 forsøk, og i fase II, spredning med fysiske hindringer (vegg, bygning, "skog") ble 10 forsøk utført.

Offisielle sluttrapporter fra forsøkene i fase I og II vil ikke foreligge fra Health and Safety Executive (HSE) før i 1985.

NILU har samlet dokumentasjon fra alle forsøkene på Thorney Island og bearbeidet de noe slik at dataene kan brukes av andre fagmiljøer. I denne forbindelse ble det utviklet programmer som konverterer tapene fra HSE, midler måledata med variabel midlingstid og kan presentere resultatene for hvert målepunkt.

Etter gjennomgåelse av alle forsøkene i fase I, foreslo NILU at forsøkene 8, 12 og 18 ville være best egnet for nærmere studier ved numerisk analyse og vind-/vanntunnelsimulering. SINTEF og NILU ble deretter enige om at forsøk 8, fase I, skulle studeres ved bruk av numerisk og fysisk simulering.

Fra Shell Research Limited har NILU mottatt utførlige datasett fra Maplin Sands-forsøkene i 1980. Det gjelder 10 kontinuerlige utslipp av LNG, 11 kontinuerlige utslipp av flytende propan, samt 4 instantane utslipp: 2 LNG - 2 propan.

Som sponsor vil NILU ytterligere motta fra Health and Safety Executive data fra følgende forsøk utført i 1984: 4 kompletterende forsøk til fase I, hvorav 3 med kontinuerlig utslipp og ett utslipp i svak vind for US Gas Research Institute; samt flere utslipp i dike utført for US Department of Transportation.

## 3.2 FYSISK TOLKNING AV MÅLEDATA

### 3.2.1 Forsøksopplegg

Spredningsforsøkene på den nedlagte flyplassen, Thorney Island, ble gjennomført i to faser: Fase I tok sikte på å gi data for å verifisere modeller og øke forståelsen av fysiske prosesser. Fase II tok for seg innvirkningen på strømningsmønsteret av fysiske hindringer, en vegg, en bygning og en simulert skog.

Som tung gass ble brukt en blanding av nitrogen og freon og uttynningen ble registrert ved å måle oksygeninnholdet. Gassblandingen, 2000 m<sup>3</sup>, ble fylt i et telt med diameter 14 m og høyde 13 m. Vegger og tak ble plutselig fjernet, gassøylen falt hurtig sammen, og gassen spredte seg langs bakken.



For lettere å bestemme skyform og skydrift var det innblandet fargestoff. NILU har studert hvordan atmosfæreforholdene påvirket spredningen, og sammenholdt resultatene med NILUs (Eidsvik's) spredningsmodell.

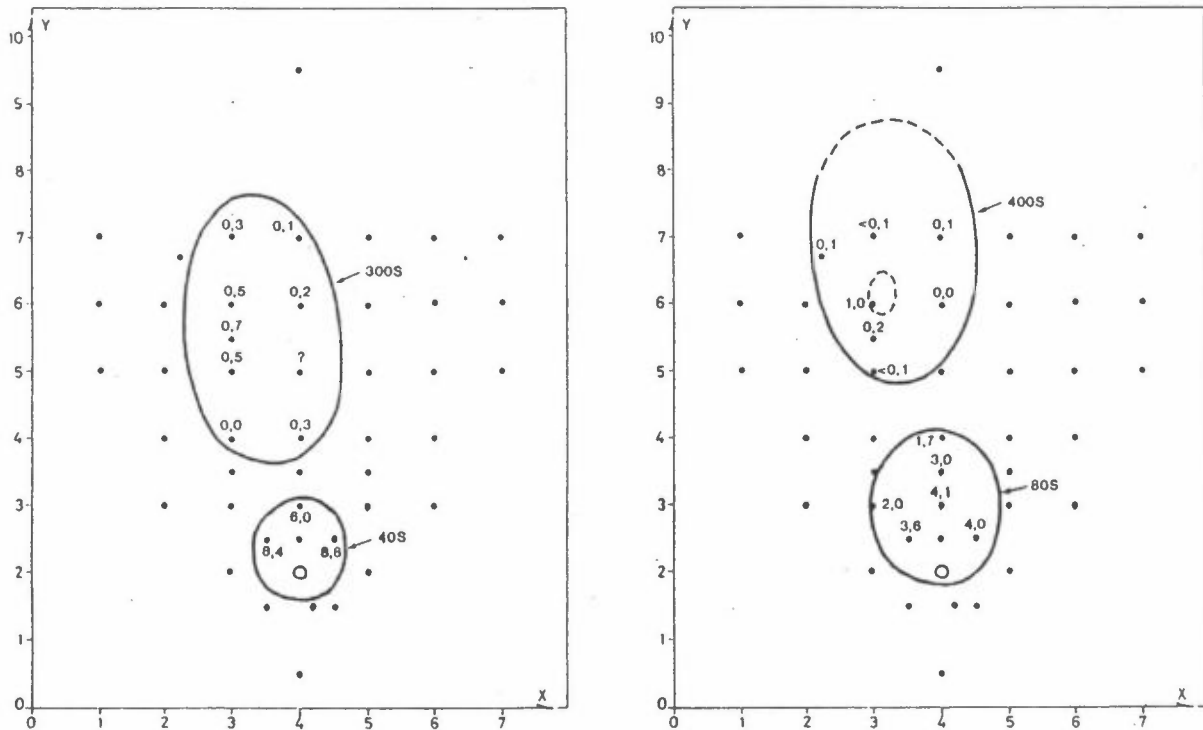
### 3.2.2 Databehandling

Bare data fra fase I er benyttet, da fase II data først ble tilgjengelige i desember 1984. Initialfasen, hvor skyen synker sammen og sprer seg langs bakken med dannelse av en markert frontbølge, varte på Thorney Island fra 40-100 sekunder, deretter flatet skyen seg ut og de høyeste konsentrasjoner ble observert vel inne i skyen. Det er denne fasen som er undersøkt ved middelkonsentrasjoner på henholdsvis 40, 80, 140, 200, 300, 400, 500 ... sekunder etter utslipp.

### 3.2.3 Resultater

Forsøk nr 8 er representativt for de fleste forsøk og er valgt for fysisk simulering i vind- og vanntunnel.

Fronthastigheten økte raskt til 3 m/s i avstand 100 m, holdt seg nær konstant neste 100 m, for så å stabilisere seg på et nivå tilnærmet lik vindhastigheten i 10 m over bakken som var 2.4 m/s.



Figur 1: Utstrekning av skyen under forsøk 8 ved forskjellig tidspunkt fra utslipp. Relativ konsentrasjoner i 0.4 m. Relativ tetthet 1.63. Vind i 10 m, 2.4 m/s. Nøytral stabilitet.

### 3.2.4 Innflytelse av atmosfæreparametre

Eidsvik-modellen viser at kritiske avstander er tilnærmet uavhengige av vindhastighet og atmosfærestabilitet. Disse parametre er derimot meget avgjørende for hvor hurtig skyen tynnes ut. En har valgt å se på i hvilken grad avstanden til konsentrasjonsnivåene 5%, 1% og 0.5% (utslipp = 100%) avhenger av vindhastighet, stabilitet og relativ tetthet ved utslipp. Tabell 1 viser forsøksdata, middelverdier og standard avvik for 12 forsøk.

Tabell 1: Forsøksdata fra Fase I, Thorney Island.

Forsøk nr	C=5%	C=1%	C=0.5%	Tid C=1% (S)	Relativ tetthet	Vind hastighet (m/s)	Turbulens m/s vert-RMS	Hastighet (m/s)	
								Front	Senter
7	150	400	520	270	1.75	3.2	0.27	3.2	1.8
8	150	385	500	350	1.63	2.4	.25	2.5	1.1
9	125	360	475	800	1.60	1.7	.08	2.5	.4
10	110	-	-	-	1.80	2.4	.26	-	-
11	160	280	340	190	1.96	5.1	.44	4.0	1.6
12	130	350	525	750	2.37	2.6	.14	2.0	.4
13	140	400	550	130	2.00	7.5	.47	7.0	4.0
14	125	425	500	120	1.76	6.8	.43	5.0	4.3
15	190	450	550	140	1.41	5.4	.47	4.9	4.3
16	150	400	550	190	1.68	4.8	.35	3.5	2.8
17*	(80)	(220)	(320)	(150)	(4.20)	(5.0)	(.43)	(3.5)	-
18	100	300	450	60	1.87	7.4	.58	6.2	3.8
19	120	320	450	130	2.12	6.4	.44	4.5	3.2
Middel	138	370	492	285	1.83	4.6	.35	4.1	2.5
St.avvik	23	51	60	243	0.25	2.0	.14	1.5	1.4

\*Ikke inkludert i middelerverdi og standard avvik.

Selv om antall forsøk statistisk sett er lite er det foretatt korrelasjonsanalyse, hvor vi finner at a) kritiske avstander er uavhengig av atmosfæreforhold, b) tiden for uttynning til 1% nivået avtar med vindhastigheten. En avtagning av tiden med tiltagende stabilitet synes ikke å være signifikant.

Det er videre en tendens til at de kritiske avstandene øker med avtagende tetthet. Dette kan forklares ved at mindre tetthet gir en høyere sky som beveger seg hurtigere pga. vindøkningen med høyden.

### 3.2.5 Sammenlikning med Eidsvik modellen

Modellen gir konsentrasjonsnivå, skyradius og skyhøyde som funksjon av tiden. Modellen forutsetter konstant konsentrasjon såvel horisontalt som vertikalt til et bestemt tidspunkt. For sammenlikning nyttes derfor en karakteristisk høyde, estimert fra de midlere konsentrasjoner i 0.4 m. I eksemplet, forsøk 8, faller skyhøyden i modellen til ca 1 m etter 20 sek. for så å øke jevnt. Etter 200 sek. er den 10 m. Observasjonene viser også konsentrasjoner til litt større høyder. Økningen av høyden med tiden stemmer imidlertid meget godt overens med modellen.

Såvel i modellen som i forsøkene øker skyarealet lineært med tiden, og konsentrasjonen avtar nær rettlinjert med tiden i et log/log diagram.

For avstanden,  $D$ , til konsentrasjonsnivå  $C\%$  gir modellen:

$$D = u t + R,$$

hvor  $u$  er vindhastighet i 10 m,  $t$  = transporttid og  $R$  = skyradius; begge ved konsentrasjon  $C\%$ .

Tabell 2 viser midlere verdier av forholdet,  $F$ , mellom varslet og observert maksimumskonsentrasjon, samt standardavvik. Som en ser gir modellen "sikre" verdier med best overensstemmelse for lave konsentrasjoner. Varslet tid for uttynning blir derimot for lav, dvs. modellen antar en for rask utbredelse av skyen.

Tabell 2: Forholdet mellom varslete og observerte avstander og mellom varslet og observert tid for uttynning til spesifikke konsentrasjonsnivå - 12 forsøk.

	F-avstand			F-tid
	5%	1%	0.5%	
Middel	1.7	1.3	1.3	0.6
St.avvik	0.3	0.2	0.2	0.3
Maks.	2.5	1.7	1.8	1.3
Min.	1.3	1.1	1.0	0.2

### 3.2.6 Konklusjoner

Etter den initielle fase med dannelse av en frontvirvel fører vindøkningen med høyden til en høy skyfront med relativt lave konsentrasjoner, og en lav bakkant med høyere konsentrasjoner, samtidig som skyen strekkes noe ut i vindretningen. Fronthastigheten er større enn skydriften. Avstand til kritiske konsentrasjonsnivå (1%-5%) er nær uavhengig av atmosfæreforhold i overensstemmelse med NILU (Eidsvik)-modellen. Det er god overensstemmelse mellom modell og observasjoner for avstanden til 1% konsentrasjon. En for hurtig reduksjon i konsentrasjonsnivået med transporttid kompenseres av en for høy transporthastighet i modellen, slik at beregnede resultater stemmer rimelig bra overens med forsøkene utført på Thorney Island.

## 4 NUMERISK ANALYSE AV TUNG GASSPREDNING

### 4.1 DET FYSISKE SYSTEM

Det aktuelle problem som betraktes her, er et 2-dimensjonalt utslipp av en tung gassøyle plassert i et lukket volum som er stort nok til å simulere et utslipp i friluft. Den omgivende luft er initielt i ro (ingen vind). Gassene antas å være ikke-viskøse slik at uttynningen ideelt sett skulle være neglisjerbar.

### 4.2 BEREGNINGSMETODE

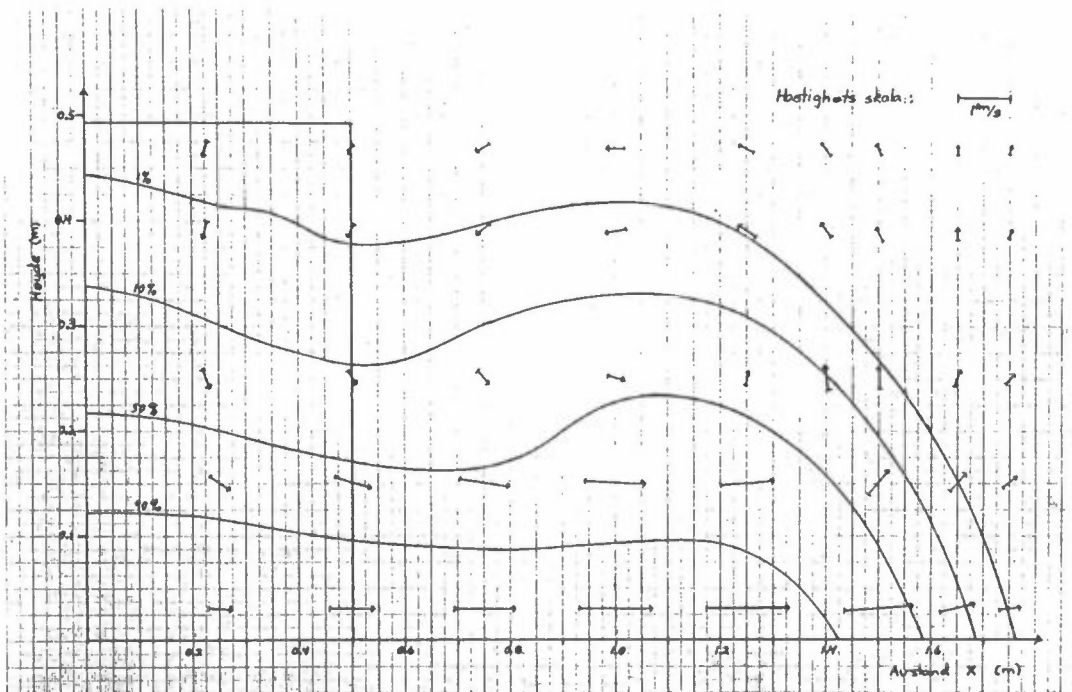
Systemet beskrives ved en kontinuitetsligning, to momentum ligninger (horizontal og vertikal komponent) og en ligning for gasskonsentrasjonen. Ligningssystemet løses ved en versjon av SIMPLE algoritmen gitt av Patankar. Metoden er i utgangspunktet beregnet for elliptiske systemer, men er også utviklet for transiente strømingsproblemer der den, anvendt på en-dimensjonal kompressibel strømning, har gitt bra resultater.

Ved å variere iterasjonsprosedyren vil løsningsmetoden bli mer eller mindre implisitt og resultatet vil da være avhengig av Courant-tallet. Fullt implisitt skjema vil gi store regnetider slik at en mindre omfattende iterasjonsprosedyre vil være viktig for reduksjon av regnetiden.

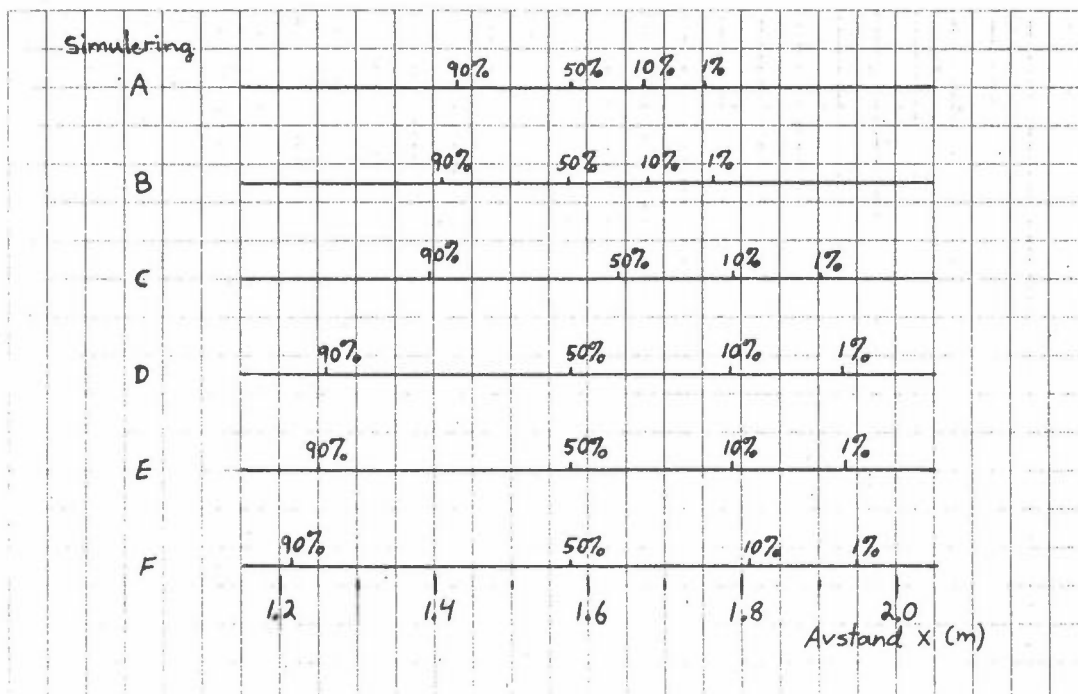
### 4.3 RESULTATER OG KONKLUSJON

Simulering av utslippet er gjort ved forskjellige iterasjonsprosedyrer og gridpunkter. En typisk beregning er vist i figur 2, for tiden  $t=1s$  etter utslippet. Det er benyttet  $68 \times 37$  punkter der karakteristiske lengder for den tunge gassen initielt er ca  $1/7$  av totalvolumets karakteristiske dimensjon.

Figuren viser en betydelig grad av uttynning og skyldes nok i stor grad metoden. Av figur 3 vil vi se at denne uttynningen varierer med de forskjellige simuleringene. Ved å inkludere turbulens og viskøse effekter vil denne numeriske feil reduseres.



Figur 2: Konsentrasjonskurver og hastighetsfeltet ved tiden  $t = 1s$ .



Figur 3: Konsentrasjonsfordelingen nær fronten ved tiden  $t = 1s$ .

## 5 FYSISK SIMULERING

### 5.1 VANNTUNNEL

Thorney Island forsøk nr 8 er simulert i NHLs vanntunnel. Tung gass er simulert ved hjelp av en tung saltløsning. Fargeindikator tilsettes utslippet, og ved et kalibrert syre/base-forhold er skyen synlig når konsentrasjonen er over en bestemt verdi, som har vært henholdsvis 5%, 2% og 1%. Teknikken er også brukt til å vise totalutbredelsen av skyen. Da benyttes fargetilsetning i stedet for indikator. Registrering skjer ved fotografering og video-opptak.

#### 5.1.1 Eksperimenter

Thorney Island forsøk nr. 8 er simulert ved å nytte identisk densimetrisk Froude-tall:

$$F = \frac{u^2}{L g \Delta\rho/\rho}$$

Modell/fullskala

lengde (L)	- 1/100
hastighet (u)	- 1/4
tid	- 1/20

Reynolds tall: 1/85

Antall forsøk = 10. Tetthetsforhold ( $\Delta\rho/\rho$ )  $\approx$  0.17. Visualisering: 4 forsøk - 5%, 4 forsøk - 2%, 1 forsøk - 1%, 1 forsøk farge.

#### 5.1.2 Resultater

Når teltet som gassen oppbevares i fjernes, faller gassen sammen og spres radielt. Frontvirvelen ruller oppvinds til den stagnerer. Sideveis får frontbølgen hesteskoform. Den stagnerer også her. Medvinds holdes fronten noe igjen, slik at den ender som en rett linje på tvers av bevegelsesret-

ningen. Nedstrøms teltposisjonen holder det seg en sone hvor gassen uttynnes mer effektivt, slik at de høyeste konsentrasjoner opptrer til side for senterlinjen. Forskjellen jevnes ut når gravitasjonsspredningen slutter.

I første fase mates frontbølgen fra bunnen og det oppstår en nese som akselereres nær bunnen. Litt bak nesene dannes et øvre lag som har omtrent dobbelt høyde. I en viss avstand taper frontbølgen energi og det utvikler seg et turbulent bakkesjikt med skjær. Rotasjonen i frontbølgen dør ut, og virvlene endrer rotasjonsretning. Skyen sprer seg sideveis til den når sideveggene. Dette skjer i fullskala lengde ca 150 m fra utslipp. Avstanden fra senterlinjen er her over 150 m. Nær sideveggene blir spredningen forskjellig fra fullskalaforsøket. Veggene reflekterer bølger, og dette påvirker den videre spredning nedstrøms. Nær senterlinjen vil det imidlertid holde seg en sone som ikke påvirkes av veggeffekter. Her kan spredningen studeres i lengre avstander.

Bak frontbølgen utvikler det seg flere markerte bølger og det dannes gasslommer med høye konsentrasjoner. Det dannes flak som driver lengre enn hovedskyen. Eksperimentene viser et lag av tung gass som holder seg tett nær bakken selv om overflaten er ru. Konsentrasjonen i dette gasslaget er høyere enn ved det visualiserte konsentrasjonsnivå, selv for 5%. Høy konsentrasjon i dette bunnsjiktet varer i en periode på ca 10 minutter, omregnet til fullskala tid.

### 5.1.3 Konklusjoner

#### 5.1.3.1 Reproduserbarhet

Kvalitativt sett er denne god. Parallellforsøk avviker meget lite innbyrdes både hva gjelder skydimensjoner og posisjoner av isokonsentrasjoner.

#### 5.1.3.2 Gasskonsentrasjoner

Tilsvarende fullskala avstand til 5% nivået er 100-110 m i vindretningen (strømningsretningen). Frontbølgen når denne distanse på 50s-55s. Til 2% nivået er tilsvarende avstand 140 m-155 m og til 1% nivået 155 m, mens



tabell 1 gir fullskala avstand til 1% nivået på 385 m. Oppstrøms overdrives derimot avstanden til stagnasjon i modellforsøkene noe. De gir ca 60 m mens fullskala gav 30 m.

#### 5.1.3.3 Ruhetsskalering

Det er ikke mulig å gjennomføre direkte geometrisk skalering av overflate-ruhet i modellforsøkene. Tidligere modellforsøk er utført med meget glatt overflate, og en får da en tydelig effekt av det laminære undersjiktet ned mot flaten. Konsentrasjonen i dette sjiktet er høy over lang tid, sett i forhold til hvor lenge skyen bruker på å passere. I modellforsøkene var det rester av uforyttnet "gass" i 1-3 minutter, som tilsvarer 20-60 minutter i fullskala tid. Dette forklares ved at dette sjiktet utgjør større del av grensesjiktet i modell enn i fullskala. Dessuten er den molekylære diffusivitet for saltløsning i vann vesentlig mindre enn for hydrokarboner i luft. Dette gjør tolkning av resultatene i modellskala usikker, og en har forsøkt å minske usikkerheten ved å redusere høyden av det laminære undersjiktet.

Ruhetsskalering etter en metode med sandbelegg i bunnen av tunnelens testseksjon er utprøvet. Forsøkene er utført med sandbelegg, med kornstørrelse 0.6-1.2 mm. Dette vil føre til at strømmingen i modellen vil være i en overgangstilstand mellom hydraulisk glatt og turbulent ru strømning. Resultatene viste at dette ikke var tilstrekkelig til å oppnå vesentlig endring i det laminære undersjiktet.

Tross denne usikkerhet med "markbelegget", er det fullt mulig å skille mellom den turbulente tyngdespredningen, spredning i grensesjiktet som utvikles i skyen mot bakken, og spredning i det lavturbulente (eller laminære) undersjiktet.

Spørsmålet er om dette utelukkende er skalaeffekter, eller om slikt "markbelegg" vil ha en varighet som bør tas med i betraktning i fullskala. Data om dette mangler, da de lavest plasserte gassensorene er i 0.4 m høyde.

## 5.2 VINDTUNNEL

Vindtunnelmodellering av tung gass er basert på forsøk 8, Fase I, fra Thorney Island.

### 5.2.1 Modellering

#### 5.2.1.1 Modelleringsparametre

Vindtunnel simulering av tung gass utslipp krever modellering av karakteristiske størrelser såvel av utslippet som av det atmosfæriske grensesjiktet. Dette krever konservering av følgende størrelser:

- a) Masse
- b) Impuls
- c) Energi

Følgende parametre bør være de samme i fullskala og modell:

- a) Rossby-tallet
- b) Richardsons-tallet
- c) Reynolds-tallet
- d) Prandtl-tallet
- e) Eckert-tallet

Kravet til ens Reynold-tall lar seg ikke oppfylle. Rossby-tallet er også vanskelig å simulere. Videre er temperaturforskjellene så små, og en har derfor i første rekke tatt sikte på best mulig simulering av:

- a) Hastighetsprofil
- b) Turbulensintensitetsprofil
- c) Skalert effektspektrum

Geometrisk similaritet krever at følgende parametre er like i modellen og i fullskala:

- a) tetthetsforhold
- b) Froude-tall
- c) dimensjonsstørrelser, massestrømstall

For gass nær luftens tetthet kan man foreta en Boussinesq tilnærming. Froude-tallet og tetthetstallet kan da slås sammen til et Richardsons-tall:

$$R_i = \frac{g \Delta \rho}{\rho} \frac{L}{u^2}$$

Dette betyr en relativt større hastighet i modellen dersom modellgasstettheten kan økes. Dette er en praktisk fordel i vindtunnelforsøk.

#### 5.2.1.2 Modell

Modellen av gassteltet på Thorney Island består av en gassbeholder med lokk. Holderen er fjærbelastet, kan nedsenkes i gulvet og lokket kan skyves vekk og fjernes på samme måte. Tiden for å fjerne teltet var under 1/30 sekund. Modellskalaen ble valgt til 1:50 i hovedsak pga gassmålerens størrelse og behov for avtrekk. Forsøk 008 ga følgende verdier i full skala:

$U(10) = 2.4$  m/s, rel. tetthet,  $\Delta r, = 1.63$  og  $Z_0 = 0.010$  m, hvor  $Z_0$  er ruhetsparameter.

Gjennom å bruke Boussinesq-tilnærmingen kan en oppnå høyere tunnelhastighet ved å bruke ren freon-gass i utslippet, altså en Richardsons-tall simulering. Dette ga et tetthetsforhold på 3.325, en modellhastighet av 0.73 m/s og en tidsskala av 1:15.2.

#### 5.2.2 Instrumentering

##### 5.2.2.1 Strømningsinstrumentering

Boksen ble fylt med gass til overspillsrørene viste at tung gass slapp ut, så ble røyk innblandet til gassen ble synlig under det gjennomsiktige

lokket. Oppfyllingen fortsatte inntil blandingen strømmet ut som en jevn sky. Denne ble fotografert med 35 mm kamera hvert 1/2 sekund og med videokamera. Fotograferingen var sett ovenfra og rett fra siden.

#### 5.2.2.2 Hastighetsmålinger

Hastigheter ble foretatt ved hjelp av et hetetrådsanemometer (T.S.I-1050 fra Thermal Systems Inc.). Signalet, som er ikke-lineært, ble digitalisert og gjennomsnittsverdi, turbulensintensitet og effektspektra ble regnet ut. Signalet ble linearisert ved bruk av en ISI-1040 linearisator. Det ble så filtrert gjennom et lavpass filter, satt til 200 Hz, og til slutt digitalisert for beregninger av gjennomsnittsverdier, turbulensintensiteter og effektspektre.

#### 5.2.2.3 Konsentrasjonsmålinger

Konsentrasjoner ble også målt ved hjelp av hetetrådsprinsippet. Laboratoriet har prober med en hetetråd plassert i en dyse under konstant avsug. Avsuget går gjennom en stor beholder, slik at forandringer i gasskonsentrasjoner ikke påvirker avsugningen. Probene ble kalibrert på hele det aktuelle gasskonsentrasjonsnivået. Målinger av gasskonsentrasjonen ble logget på samme måten som hastigheten, ved hjelp av en DEC PDP 11/23.

### 5.2.3 Resultater

#### 5.2.3.1 Strømningsinstrumentering

Foto-opptakene viser overensstemmelse på  $\pm 10\%$  i utstrekningen av skyen som en funksjon av tiden. Både oppstrøms og nedstrøms har skyen tilnærmet samme form i modell og fullskala. I modellforsøkene kan en også se tydelige hvirvelringer generert av utslippet. Fronthvirvelen er spesielt markert. Nedstrøms viser skyen tydelige merker av feltet ved at gasshastigheten er noe mindre i et område like bak der feltet var plassert.

### 5.2.3.2 Konsentrasjonsmålinger

Disse besto av 40 utslippsmålinger fra både dobbelt- og enkeltsonder. Repeterbarheten mellom eksperimentene var mellom  $\pm 5\%$  i nærheten av utslippet, lengre borte (over 40 m fullskala) er repeterbarheten noe dårligere, ca  $\pm 10\%$ . Noen av dobbeltpunktmålingene ble ødelagt pga sondefeil. Resultatene gir likevel et godt grunnlag. Selv om hetetrådene var plassert bare 3 cm fra innsuget inne i sonden for å oppnå høyfrekvensrespons, viste sammenligningen med fullskalaforsøkene at konsentrasjonstopper i et punkt like etter utslippet ikke ble registrert. Selve nivået er reprodusert innenfor  $\pm 5\%$  i nærheten av utslippet, mens reproduserbarheten lenger bort (50 m fullskala) ligger innenfor  $\pm 15\%$ . Dobbelt sondemålingene viser skyhastigheter innenfor  $\pm 5\%$  av fullskalaverdier.

### 5.2.4 Diskusjon

Grunnen til variasjon i resultatene kan være følgende:

a) Bruk av Richardsons tall-skalering.

Dette kan gi en noe feilaktig skalering pga Boussinesq tilnærmelsen. Imidlertid er skalert skyhastighet sammenlignbar i fullskala og modell.

b) Nedtrekkshastigheten av beholderen.

Denne er noe mindre i modellen enn i fullskala og kan muligens forandre skyen noe.

c) Frekvensrespons og konsentrasjonsmåler.

Frekvensresponsen er ikke målt og er vanskelig å estimere. Imidlertid er den i størrelsesorden 10-20 Hz. Dette er vesentlig lavere enn i fullskala og kan være skyld i at toppen på konsentrasjonstidskurven ikke ble registrert.

d) Avsugningsmengde til probene.

Sugehastigheten var satt til middelhastigheten i målehøyden. Dette kan ha vært dårlig tilpasset slik at falsk luft har vært suget inn i proben og dermed gitt et noe feilaktig konsentrasjonsnivå ved lavere konsentrasjoner. Fra nåværende målinger er det imidlertid vanskelig å skille ut målefeil fra skaleringsfeil.

### 5.2.5 Konklusjoner

- a) Utstrekningshastighet og form av gasskyen er godt reproduisert.
- b) Repeterbarheten av resultatene er god.
- c) Konsentrasjonsmålingene er gode, spesielt nær utslippspunktet.
- d) Fremtidige målinger bør rette seg mot å løse problemer for å oppnå større nøyaktighet av målinger lengre borte fra utslippspunktet.

## 6 MØTEAKTIVITET

Det er avholdt styremøter og arbeidsmøter. Y. Gotaas deltok i symposier om tung gass spredning i Sheffield, 3-4 april og i Bonn, 12-14 november 1984.

### 6.1 RAPPORTER, PUBLIKASJONER, FOREDRAG

Bøhler, T., Gotaas, Y., og Haugsbakk, I. (1984) Utdrag av måledata fra Thorney Island-forsøkene, Fase I. Lillestrøm (NILU TR 7/84).

Gotaas, Y. (1984) Spredning av tunge gasser - Thorney Island. Lillestrøm (NILU OR 6/84).

Gotaas, Y. (1984) Heavy gas dispersion and environmental conditions as revealed by the Thorney Island experiments. Lillestrøm (NILU OR 57/84). Akseptert for publisering i spesialutgave av Journal of Hazardous Materials.

Jacobsen, Ø. (1984) Numerisk-matematisk simulering av spredning av tung gass. Trondheim, SINTEF-rapport nr. STF 15, F84079.

Wighus, R. og Dahl, R. (1984) Water tunnel simulation of the Thorney Island heavy gas dispersion trials. Trondheim, NHL project no. 150285.

Gotaas, Y.(1984) Kort presentasjon om emnet: How the treatment and analysis of data have improved our knowledge of dispersion physics. Symposium i Sheffield 3-5 april 1984.

Gotaas, Y. (1984) Symposium on heavy gas dispersion trials on Thorney Island, Sheffield 3-5 April 1984. Lillestrøm (NILU RR 7/84).

Gotaas, Y. (1984) Heavy gases and risk assessment. Symposium-Bonn, 12-13 November 1984. Lillestrøm (NILU RR 25/84).

## **7 FREMTIDIGE OPPGAVER**

Detaljerte arbeidsplaner for 1985 er sendt til oppdragsgivere, slik at det her kan skisseres i grove trekk de hovedområdene som skal studeres i 1985.

SINTEF vil gjennomgå resultater fra simuleringsforsøkene for å bestemme innbyrdes omfang i bruk av vind og/eller vanntunnel. Forsøk vil gjennomføres med hindring i form av vegg, vegetasjon (skog) og bygning. I den numerisk/-matematiske simulering vil det gjennomføres et utvalg av 2-dimensjonale utslipp. Deretter vil modellen utvikles til å kunne behandle 3-dimensjonale problemstillinger. Sammenlikninger gjøres med Thorney Island data, fase II.

NILU vil inkludere data fra Maplin Sands forsøkene i databasen. De omfatter 25 forsøk i 1980 med utslipp av LNG og LPG ved munningen av Themsen. Resultatene vil legges tilrette for de fysiske og numeriske simuleringer på SINTEF. Det vil også bli utviklet programmer for grafisk presentasjon av måledata. Videre vil NILU fortsette studier av karakteristiske trekk ved spredning av tunge gasser og sammenholde med NILU (Eidsvik)-modellen for å utvikle enkle metoder for varsling av fareområder.

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

(NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FORSKNINGSRÅD)

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

RAPPORTTYPE Oppdragsrapport	RAPPORTNR. OR 10/85	ISBN-82-7247-564-2	
DATO	ANSV. SIGN. <i>Stovland</i>	ANT. SIDER 22	PRIS kr 20,00
TITTEL Spredning av tunge gasser. Årsrapport.		PROSJEKTLEDER Y. Gotaas	
		NILU PROSJEKT NR. O-8415	
FORFATTER(E) Redaksjon: Y. Gotaas T. Bøhler		TILGJENGELIGHET A	
		OPPDRAGSGIVERS REF.	
OPPDRAGSGIVER (NAVN OG ADRESSE) Styringskomiteen for prosjektet: "Spredning av tunge gasser".			
3 STIKKORD (å maks. 20 anslag) tung-gass                      spredningsforsøk                      simulering			
REFERAT (maks. 300 anslag, 7 linjer) Data fra forsøkene på Thorney Island er bearbeidet og sammenholdt med modellberegning. Et forsøk er simulert både i vind- og vann-tunnel.			

TITLE Dispersion of heavy gases. Project report.
ABSTRACT (max. 300 characters, 7 lines) Data from the Thorney Island trials are examined and compared to model prediction. One trial has been simulated both in a water tunnel and a wind tunnel.

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