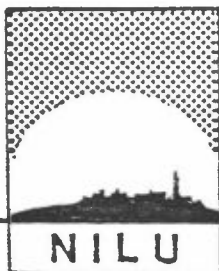


NILU OR : 81/85  
REFERANSE: O-8415  
DATO : DESEMBER 1985

**SPREDNING AV TUNGE GASSER  
ÅRSRAPPORT 1985**

Trond Bøhler og Yngvar Gotaas



NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING

Postboks 130 - 2001 Lillestrøm

NILU OR : 81/85  
REFERANSE: O-8415  
DATO : DESEMBER 1985

**SPREDNING AV TUNGE GASSER  
ÅRSRAPPORT 1985**

Trond Bøhler og Yngvar Gotaas

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING  
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM  
NORGE

ISBN 82-7247-661-4

**INNHOOLD**

	Side
1	INNLEDNING ..... 5
	1.1 Prosjektorganisasjon ..... 5
	1.2 Ansvarsfordeling ..... 5
	1.3 Økonomi ..... 6
	1.4 Møteaktivitet ..... 7
2	PROSJEKTMÅL ..... 7
3	BEARBEIDELSE OG TOLKNING AV MÅLEDATA - DATABASE ..... 7
	3.1 Bearbeidelse og tolkning ..... 7
	3.2 Database - presentasjon av måledata ..... 11
	3.2.1 Tidsplott ..... 11
	3.2.2 Gridplott ..... 11
4	NUMERISK BEREGNING AV TUNG GASS SPREDNING ..... 13
	4.1 Ligningssystemet ..... 13
	4.2 Konklusjoner og resultater ..... 16
5	FYSISK SIMULERING AV TUNG GASS SPREDNING ..... 21
	5.1 To dimensjoner, kontinuerlig utslipp ..... 21
	5.2 Tre dimensjoner, transient utslipp ..... 21
6	ARBEIDSPLAN 1986 ..... 27
	6.1 Fysisk simulering - SINTEF ..... 27
	6.2 Numerisk-matematisk simulering - SINTEF ..... 27
	6.3 Atmosfærisk spredning - SINTEF/NILU ..... 27
	6.4 Eidsviksmodellen - NILU ..... 27
	6.5 Bearbeidelse av måledata - NILU ..... 28
7	PUBLIKASJONER ..... 28



## **SPREDNING AV TUNGE GASSER ÅRSRAPPORT 1985**

### **1 INNLEDNING**

Aktiviteter på NILU og SINTEF som omhandlet spredning av tunge gasser ble i 1984 samordnet i et samarbeidsprosjekt mellom de to institutter, kalt: "Spredning av tunge gasser". Oppdragsgivere har vært Statoil, Norsk Hydro, Borregaard og Veritec (kun 1984). I tillegg har NTNf støttet prosjektet økonomisk.

#### **1.1 PROSJEKTORGANISASJON**

Kontrakter som var inngått i 1984 ble forlenget til å gjelde ut 1985 ved undertegnelsen av et Amendment to contract T.6073. Utøvende parter har vært NILU og SINTEF 15, med prosjektleder: Forskningsleder Yngvar Gotaas, NILU. Leder for SINTEF-aktivitetene har i 1985 vært forsker Ragnar Wighus, SINTEF. NILU var ansvarlig for prosjektadministrasjon i tillegg til bearbeidelse og fysisk tolkning av måledata fra Thorney Island. SINTEF har vært ansvarlig for delprosjektene fysisk og numerisk simulering av tung gass spredning.

Styringsgruppen har bestått av en representant fra hver oppdragsgiver, samt en fra hvert delprosjekt.

Som sekretær har fungert forsker Trond Bøhler, NILU.

Formann i styringsgruppen i 1985 har vært Knut Emblem, Norsk Hydro.

#### **1.2 ANSVARSFORDELING, PERSONELL**

Delprosjektene med ansvarlig institutt og bemanning er som gitt i tabell 1.

Tabell 1: Ansvarsfordeling og bemanning av delprosjektene i 1985.

Delaktivitet	Institutt	Personer
Numerisk simulering	Seksjon for teknisk varmelære	Prof. B.F. Magnussen, NTH Forsker Ø. Jacobsen
Fysisk simulering	Seksjon for aero- og gassdynamikk	Forsker A. Holdø (til 1.3.85) Seniorforsker P.A. Krogstad (fra 1.8.85) Forsker S. Knudsen
Bearbeidelse og fysisk tolkning	Norsk institutt for luftforskning	Forskningsleder Y. Gotaas Forsker T. Bøhler
Prosjektadministrasjon	NILU SINTEF	Forskningsleder Y. Gotaas Forsker R. Wighus

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

### 1.3 ØKONOMI

Oppdragsgiverne har bidratt med følgende midler:

NTNF	: kr 300.000,-
Statoil	: " 300.000,- (inkl. tilleggsbev. kr 50.000,-)
Norsk Hydro	: " 320.000,- ( " " " 20.000,-)
Borregaard	: " <u>25.000,-</u>
Totalt	: <u>kr 945.000,-</u>

Fordeling på fagfelt:

Fysisk simulering	: kr 310.000,-
Numerisk simulering	: " 310.000,-
Database/fysisk tolkning:	" 240.000,-
Administrasjon	: " <u>85.000,-</u>
	<u>kr 945.000,-</u>

De bevilgede midler vil være brukt opp innen årets utgang.

#### 1.4 MØTEAKTIVITET

Det er avholdt fem møter i styringsgruppen 1985: 25. januar, 19. april, 7. juni, 6. september og 21. november. De to første ble holdt på Veritec, de øvrige på SINTEF.

## 2 PROSJEKT MÅL

Målsettingen for 1985 har vært uendret, og i henhold til kontrakten er målene som 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 uhellssituasjoner.
- Innsamling og bearbeiding av resultater fra feltforsøk og -målinger.

## 3 BEARBEIDELSE OG TOLKNING AV MÅLEDATA - DATABASE

### 3.1 BEARBEIDELSE OG TOLKNING

Rapporter er nå mottatt fra samtlige spredningsforsøk på Thorney Island fase 1 og 2, unntatt et forsøk fra fase 1, som ble utført med resterende gass fra en annen forsøksserie. Måledataene er presentert ved figurer for hver sensor som beskriver tidsutviklingen i dette målepunktet for hvert forsøk. I til-



legg er det bestilt tre magnetbånd med "rensede" data fra henholdsvis forsøk 8, fase 1 og forsøk 20 og 21 for fase 2. Samlet sluttrapport for fase 1 og fase 2 er mottatt og tidligere sendt medlemmer av styringsgruppen. I fase 2 er det utført i alt 12 forsøk, hvorav 9 med hindringer plassert nedstrøms og tre med kontinuerlige utslipp uten hindringer. Utslippsbetingelser og kommentarer for hvert forsøk i fase 2 er gitt i tabell 2 og 3.

Tabell 2: Thorney Island - forsøk fase 2. Spredning med hindringer. Stabilitetsklasser (Pasquill/Gifford - klasser i parentes): U: Ustabilt (B), N: Nøytralt (C,D), LS: Lett stabilt (E), S: Stabilt (F).

Forsøk nr.	Type hindring	Relativ tetthet	Vindhast. m/s	Stabilitet	Merknader
20	Vegg	1.92	5.7	N	Front delvis rundt - gass holdes tilbake
21	"	2.02	3.9	LS	Som 20 - forsterket
22	"	4.2	5.9	LS	Utslippsproblemer - ikke synlig på video
25	"	1.95	1.4	LS	Meget markerte effekter
23	Gjennomtrengelige skjerm	1.92	5.8	N	2 rekker - små effekter
24	"	2.03	6.8	S	4 rekker - gass delvis holdt tilbake
26	Bygning	2.00	1.9	U	Skyfront opp vegg
27	"	4.20	2.2	LS	Skjev vindretning
28	"	2.00	9.0	N	Utslippsproblemer
29	Bygning oppstrøms	2.00	5.6	N	OK, men lite lys for fotovideo

Tabell 3: Fase 2 - Thorney Island - "kontinuerlige" utslipp uten hindringer

Forsøk nr.	Utslippvarighet	Relativ tetthet	Vindkast m/s	Stabilitet	Merknader
45	7 1/2 min.	2.00	2.1	S	OK
46	6 1/2 min.	2.00	3.2	N	Skjev vindretning
47	7 3/4 min.	2.05	1.5	S	Variabel vindretning

Målsetningen for fase 2-forsøkene var i første rekke å kunne verifisere laboratorieforsøk av spredning over/rundt hindringer.

Som hindringer ble benyttet:

- 1 - Fast vegg, 5 m høy, plassert i en halvsirkel 50 m nedstrøms.
- 2 - Gjennomhullede skjermer, 2 eller 4 rekker, 10 m høye, 50 m nedstrøms.
- 3 - Bygning, 9 m x 9 m x 9 m, 50 m nedstrøms eller 20 m oppstrøms.

I de 3 forsøkene uten hindringer ble gassen sluppet i bakkehøyde under en sirkulær plate (diameter 2 m) 0.5 m over bakken. Varigheten var ca 7 minutter.

Resymé av resultater, og av sammenligninger med forsøk fra fase 1, utført under tilsvarende utslippsforhold:

Vegg: Sterk vind gir overstrømming. Skyen kan da heves til dobbelt høyde eller mer. Ved svak vind holdes gassen tilbake. I begge tilfelle strømmer det en del gass rundt veggen. Sammenlikningen med tilsvarende utslipp fra fase 1 viser reduserte konsentrasjoner, ca 1/5 nedstrøms, se figur 1 og 2.

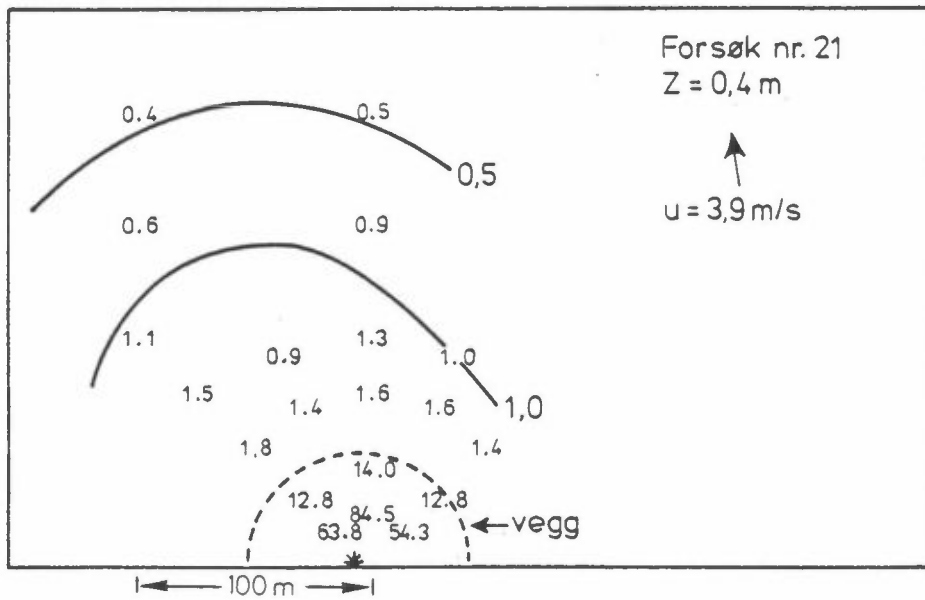
Gjennomhullede skjermer: Skyhøyden heves og transporthastigheten avtar. Bakkekonsentrasjonen endres lite i forhold til tilsvarende fase 1-forsøk.

Bygning: Skyfronten heves. Ved sterk vind føres den over. Konsentrasjonen avtar i levirvelen. Bygningen har liten innvirkning lengre ned i feltet, sammenlignet med forsøk uten hindringer.

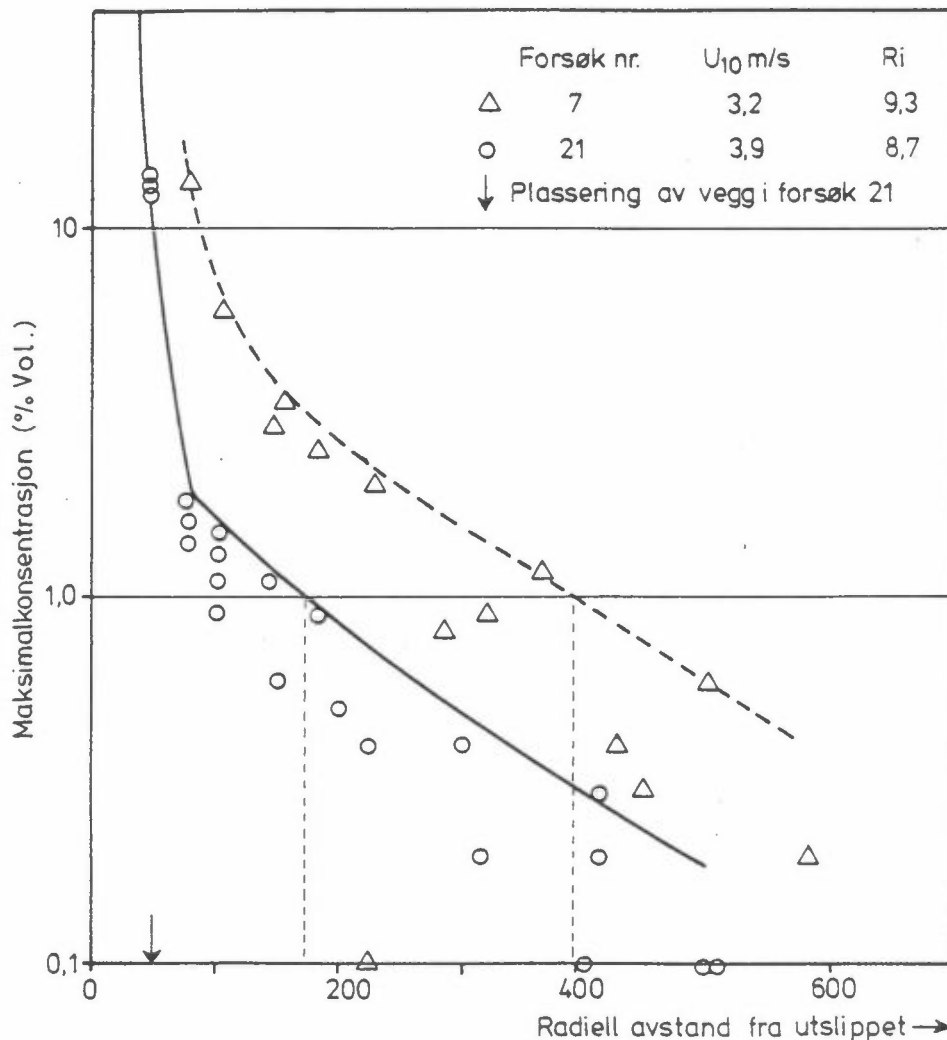
Disse resultatene stemmer kvalitativt meget godt overens med tilsvarende forsøk, utført i vindtunnel før fase 2-forsøkene.

De kontinuerlige forsøkene:

Utslippet foregikk i bakkehøyde under en sirkulær skjerm, diameter 2 m, i 0.5 m høyde. Gass-skyen holdt seg under 1 m - 2 m over bakken nedover i feltet. Det anses tvilsomt om laveste gass-sensor i 0.4 m representerer bakkenivået. Mye tyder på at maksimal bakkekonsentrasjon inntraff etter at hovedskyen var passert. (Dette var trolig også tilfelle under fase 1 forsøk



Figur 1: Maksimumskonsentrasjoner (% vol) i høyde 0.4 m over bakken i forsøk 21 med vegg.



Figur 2: Sammenligning av maksimumskonsentrasjoner som funksjon av radiell avstand for forsøk 7 uten hindringer og forsøk 21 med vegg.

i meget svak vind, hvor gass i ett tilfelle ble påvist i timer etter sky-passasje). Nær kilden viser konsentrasjonskurven bratt stigning til en tilnærmet konstant verdi for så å falle tilsvarende bratt av. Varigheten av denne konstante fasen avtar med avstanden fra utslippet og kurven antar etter hvert en sinusform.

### 3.2 DATABASE - PRESENTASJON AV MÅLEDATA

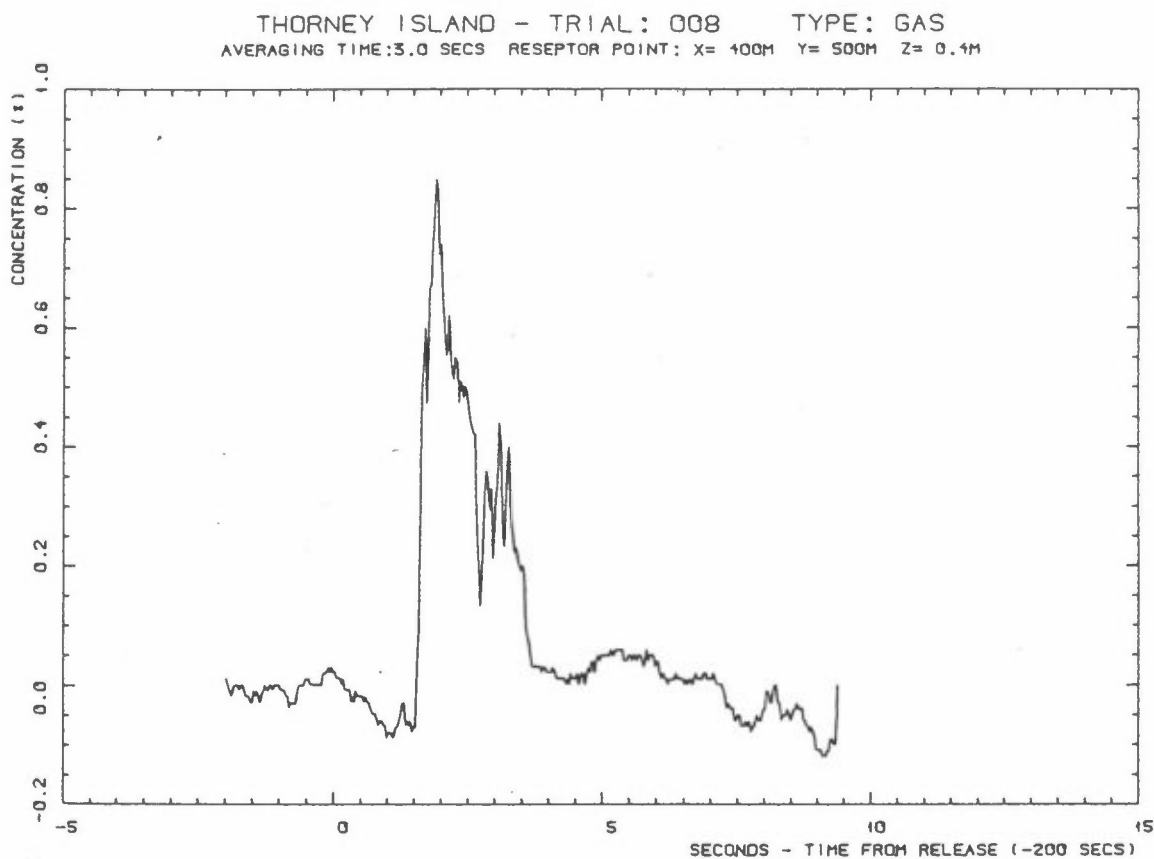
I forbindelse med prosjektet er det innkjøpt måledata på magnetbånd for tre forsøk. Disse er nå lest inn på en egen disk ved NILUs ND560-anlegg, slik at de er klare for videre bearbeiding. Det er utviklet en serie med programmer til å lese, omstrukturere, beregne nye verdier og presentere dataene for videre bruk til f.eks. sammenligning med vindtunnelforsøk og numerisk simulering. Disse programmene er kort presentert nedenfor med eksempel på tilhørende figurer.

#### 3.2.1 Tidsplott

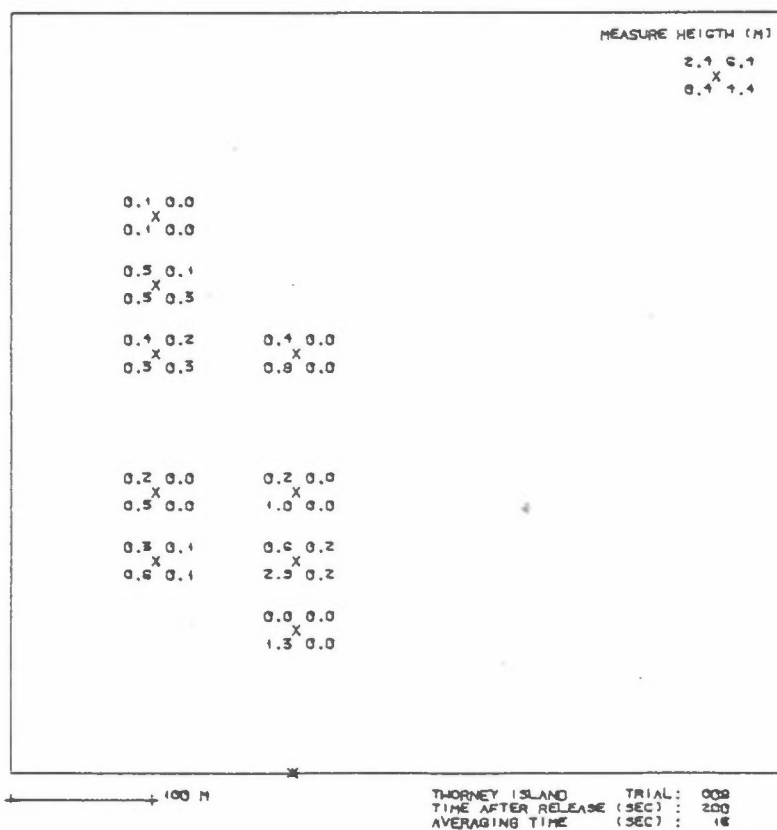
Dette programmet presenterer figurer av tidsutviklingen for en sensor i ett forsøk. Det er mulig å variere midlingstid etter behov. Et eksempel på en slik figur er vist i figur 3.

#### 3.2.2 Grid-plott

Dette programmet presenterer verdier for alle høyder i hvert målepunkt ved et gitt tidspunkt etter utslipp. Midlingstiden ved tidspunktet kan velges etter ønske. Denne presentasjonen gir både horisontale og vertikale snitt av øyeblikksverdier ved gitte tidspunkter (se figur 4).



Figur 3: Tidsplott.  
 Konsentrasjonen (% vol) som funksjon av tiden for en sensor.



Figur 4: Verdier i et gitt tidspunkt for alle sensorer på et målested.  
 Angivelse av høyde over bakken for hver sensor på et målested er angitt øverst til høyre på figuren.

#### 4 NUMERISK BEREGNING AV TUNG GASS SPREDNING

Et to-dimensjonalt program for beregning av spredning av tung gass er utviklet.

Programmet tok i utgangspunktet sikte på å simulere Thorney Island eksperimentene. Direkte sammenligning mellom de 2-dimensjonale modeller og disse eksperimentene er ikke helt enkel. Derfor har vi også sett på simulering av kontinuerlige utslipp for å sammenligne med 2-dimensjonale utslipp i vind-tunnel.

Slik det numeriske programmet nå er utformet tar det hensyn til utslipp fra kontinuerlige eller momentane utslipp på horisontalt underlag. Det er mulig å legge inn hindringer som gjerder eller bygninger. En  $k-\epsilon$  modell er lagt inn for å beregne den turbulente diffusjon.

Den matematiske modell som ligger til grunn for beregningene er kort beskrevet under.

##### 4.1 LIGNINGSSYSTEMET

De grunnleggende differensialligninger som benyttes er:

1. Ligning for massebevarelse
2. Ligning for massebevarelse av tung gass (konsentrasjon)
3. Ligning for x-momentum (horisontal retning)
4. Ligning for y-momentum (vertikal retning)

Ved modelleringen av de forskjellige ledd i disse ligningene, kan det være aktuelt å innføre flere variable og dermed flere ligninger.  $k-\epsilon$  modellen som vi skal bruke her, krever i tillegg to nye ligninger.

5. Ligning for turbulent kinetisk energi
6. Ligning for dissipasjon

Ligningen kan generelt uttrykkes på følgende form:

$$\frac{\delta}{\delta t} (\rho \phi) + \frac{\delta}{\delta x_j} (\rho \phi u_j) - \frac{\delta}{\delta x_j} \left[ \Gamma_{\phi j} \frac{\delta \phi}{\delta x_j} \right] = S_{\phi}$$

der  $\phi$  står for den aktuelle variabel.

Diffusjonsleddet, tredje ledd på venstre side, er modellert som en gradient diffusjon i analogi med de laminære relasjoner.

Både kildeleddet  $S_{\phi}$  og diffusjonskoeffisienten  $\Gamma_{\phi}$  vil variere med variabelen og tabellen under viser hvordan disse ledd er modellert.

variabel ligning	$\phi$	$S_{\phi}$	$\Gamma_{\phi}$
kont.	1	0	0
x-momentum	u	$\frac{\delta p}{\delta x}$	$\Gamma$
y-momentum	v	$\frac{\delta p}{\delta y} - (\rho - \rho_a)g$	$\Gamma$
konsentrasjon (masseandel)	c		$\Gamma/Pr_c$
turb-kinetisk energi	k	$\text{Prod} - \rho \epsilon + \Gamma_c \frac{\rho}{\rho_g} \frac{\rho_g - \rho_a}{\rho_a} \frac{\delta c}{\delta y} g$	$\Gamma/Pr_k$
dissipasjon	$\epsilon$	$c_1 \rho \frac{\epsilon}{k} \text{Prod} - c_2 \rho \epsilon^2 / k$	$\Gamma/Pr_{\epsilon}$

Trykket p er redusert med hensyn til det atmosfæriske hydrostatiske trykk. Gravitasjonsdelen av kildeleddet for den vertikale momentumligning blir dermed proporsjonalt med forskjellen i tetthet mellom gass-sky og atmosfæren.

Produksjonen av turbulent kinetisk energi er gitt ved

$$\text{Prod} = \rho \left\{ 2 \left[ \left( \frac{\delta u}{\delta x} \right)^2 + \left( \frac{\delta v}{\delta y} \right)^2 \right] + \left( \frac{\delta u}{\delta x} + \frac{\delta v}{\delta y} \right)^2 \right\}$$

Reduksjon av den turbulente kinetiske energi skjer gjennom dissipasjon og ved stabil sjiktning ( $\frac{\delta c}{\delta y} < 0$ ).

Diffusjonskoeffisientene for de forskjellige variable er antatt proporsjonale med hverandre slik at  $Pr_\phi$  er gitt som konstanter.

For  $k$ - $\epsilon$ -modeller er diffusjonskoeffisienten gitt ved

$$\Gamma = C_D \rho k^2 / \epsilon$$

Med utgangspunkt i den logaritimiske hastighetsprofil vil vi også benytte en forenklet modell der diffusjonskoeffisienten antas lineær med høyden

$$\Gamma = 0.4 U^* \rho y$$

I dette tilfelle er det ikke behov for ligningene for de turbulente størrelsene  $k$  og  $\epsilon$ .

Tetthetsgradienter vil redusere uttynningen ved stabil sjiktning. Diffusjonskoeffisienten er i henhold til dette redusert med en faktor

$$(1 + \beta Ri)^{-0.5}$$

der  $Ri$  er det lokale Richardsons tallet

$$Ri = -9.81 \frac{\Delta \rho}{\rho} \frac{\Delta y}{(\Delta u)^2}$$

For de forskjellige konstanter som inngår i uttrykkene over, er følgende verdier benyttet:

$$\begin{array}{lll} C_D = 0.09 & Pr_c = 0.7 & \beta = 10 \\ C_1 = 0.13 & Pr_k = 1 & \\ C_2 = 1.92 & Pr_\epsilon = 1.3 & \end{array}$$



I tillegg til differensialligningene benyttes følgende relasjoner mellom skytetthet  $\rho$ , massekonsentrasjon  $c$  og volumkonsentrasjon  $C_{vol}$ :

$$\rho = \rho_a (1 + c(R_g/R_a - 1))^{-1}$$

$$C_{vol} = c \rho / \rho_g$$

$R_g$  og  $R_a$  er gasskonstanter for henholdsvis gass og luft, og  $\rho_g$  er gasstetthet ved den aktuelle temperatur. Blandingsprosessen er antatt isoterm.

#### 4.2 KONKLUSJON OG RESULTATER

Ligningssystemet er løst ved forskjellige iterasjonsprosedyrer og generelt har det vært en tendens til instabilitet når vi har et utslipp av gass med tetthet forskjellig fra det omgivende medium. Det viser seg imidlertid at ved å iterere minst mulig på trykk-korreksjonsligningen elimineres denne instabiliteten.

Figur 5-7 viser resultater fra simulering av et 2-dimensjonalt kontinuerlig utslipp som også er simulert i vindtunnelen. Freon med tetthet  $5 \text{ kg/m}^3$  er sluppet ut mot et 4.5 cm høyt hinder 47 cm nedstrøms for kilden. Utslippsraten er  $0.000368 \text{ m}^3/\text{s}$  og vindhastighet i 25 cm høyde oppstrøms for kilden er 2.0 m/s. Antall gridpunkter er 29 x 18 og utspenner et felt der horisontalkoordinaten ligger i området (-15 cm, 1.56 cm) og vertikalkoordinaten (0, 0.37 cm). Beregning av vindfeltet før utslippet startes er gjort med 400 tidssteg og en CPU-tid på 5 min 45 s, de 150 første med et tidssteg på 0.05 s, mens de siste på 0.01 s. Utslippsperioden er beregnet fram til 8.5 s etter utslippsstart. Dette er gjort på 1000 tidssteg der de 300 første har et tidssteg på 0.005 og resten 0.01. Den totale CPU-tid er 22 min 26 s, og det er benyttet en k- $\epsilon$ -modell.

Fig. 5 viser tidsutviklingen av gass-spredningen fra start av utslipp til den stasjonære tilstand er oppnådd. Det synes som om dette tar omkring 6 s.

Fig. 6 viser den stasjonære tilstand med hastighetsvektorer og isokonsentrasjonskurver. Resultater fra simuleringen i vindtunnel er også vist på figuren og beregningen gir åpenbart en for stor uttynning av skyen, spesielt nær nedstrøms grenseflate.

Sammenligning av numerisk og vindtunnel simulering er også gjort i figur 7 der hastighetsprofiler for forskjellige horisontale posisjoner er vist. Avviket er betydelig ved nedstrøms grenseflate. Disse avvikene kan i noen grad skyldes at det er gjort visse justeringer med taket i vindtunnelen for å holde fristrøms hastigheten konstant.

Beregninger er også gjort med den enkle turbulensmodellen og resultatene blir omtrent de samme bortsett fra regnetiden som blir redusert med rundt 40%. For flere detaljer henvises til SINTEF rapport SFT15 F86003, Numerisk simulering av 2-dimensjonal tung-gass spredning.

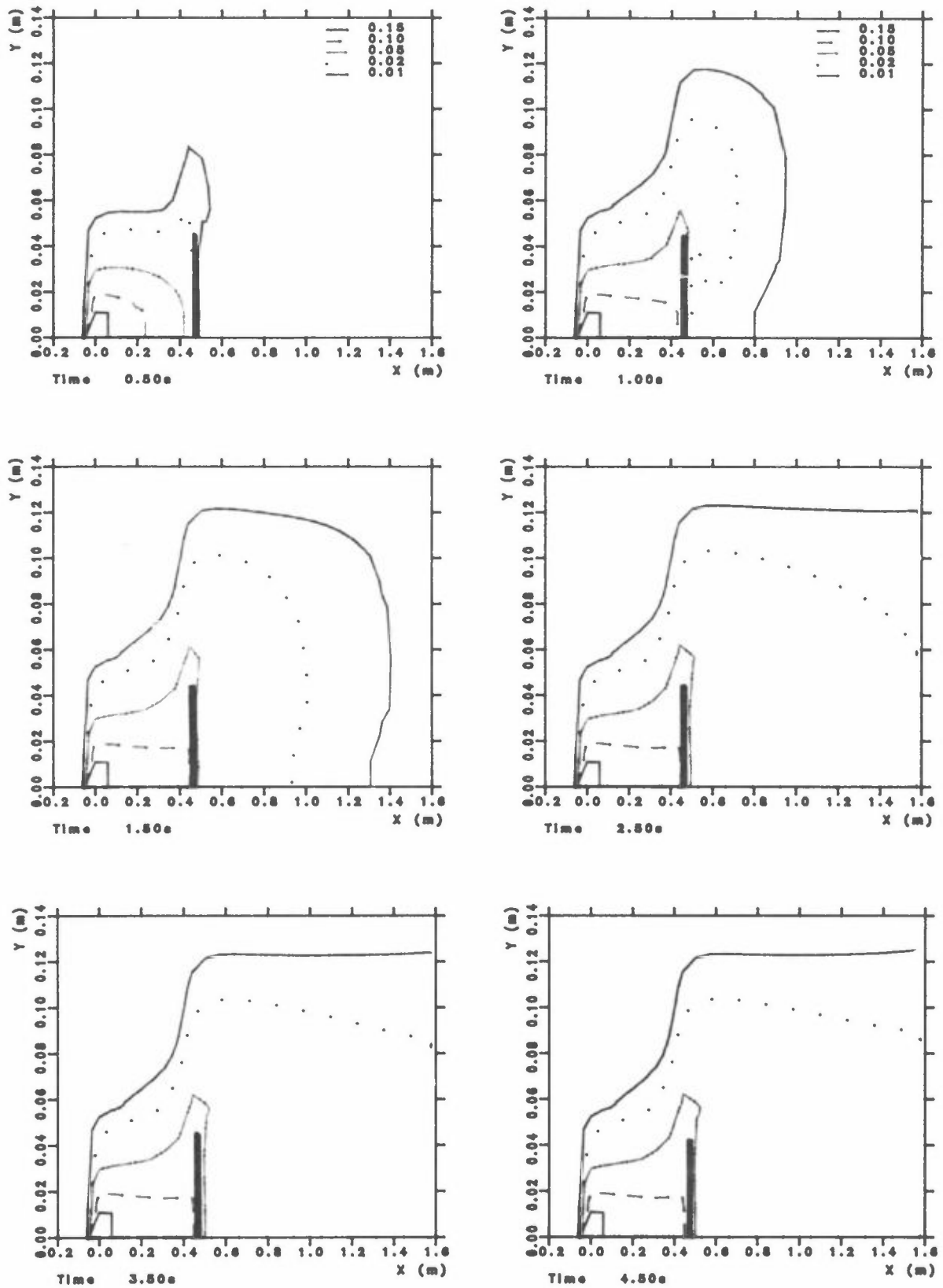


FIG. 5; VOLUMKONSENTRASJON VED FORSKJELLIGE TIDSPUNKT ETTER START AV UTSLIPP.  $Pr_c = 0.7, \beta = 10$ .

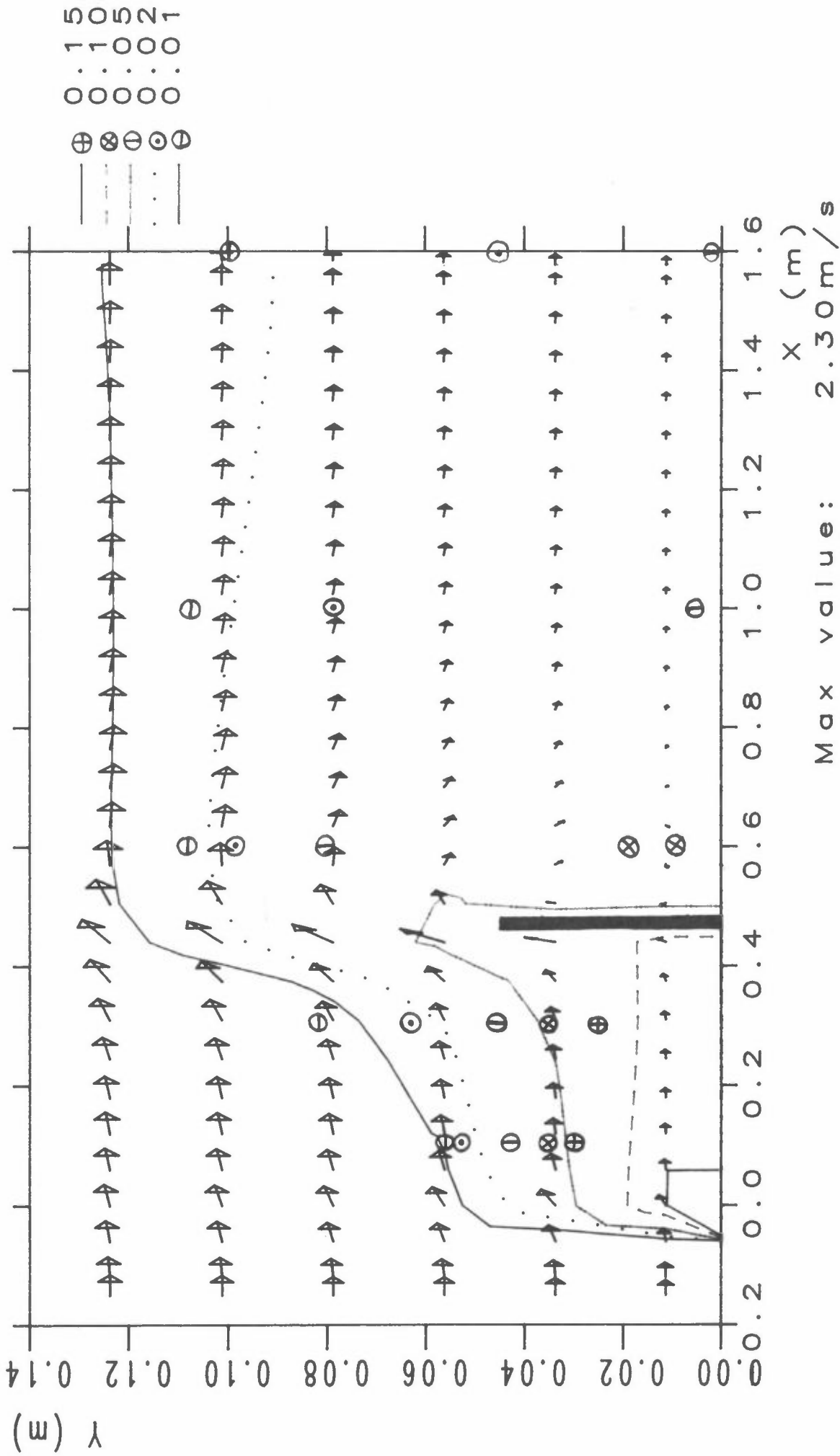


FIG. 6: VOLUMKONSENTRASJON OG HASTIGHETSFELT FOR STASJONÆRT, KONTINUERLIG UTSLIPP.  $Pr_c = 0.7$ ,  $\beta = 10$   
 ○ - EKSPERIMENTELLE VERDIER

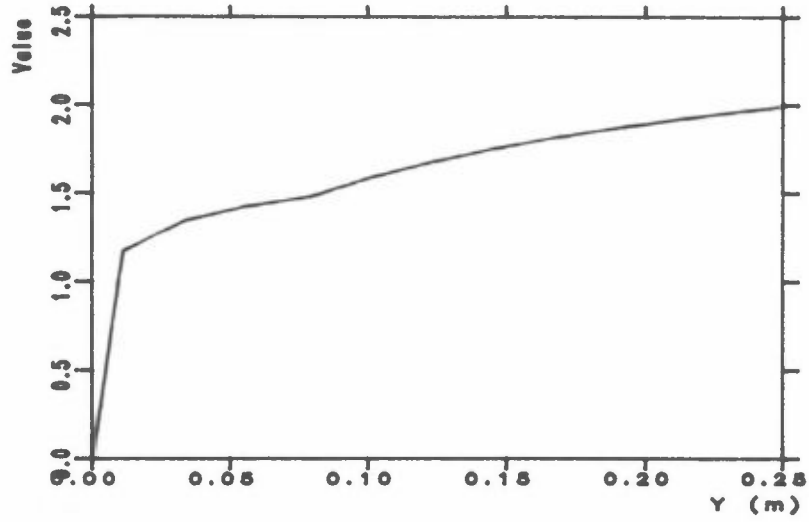


Fig. 7a : HASTIGHETSPROFIL 0.15m OPPSTRØMS FOR KILDEN

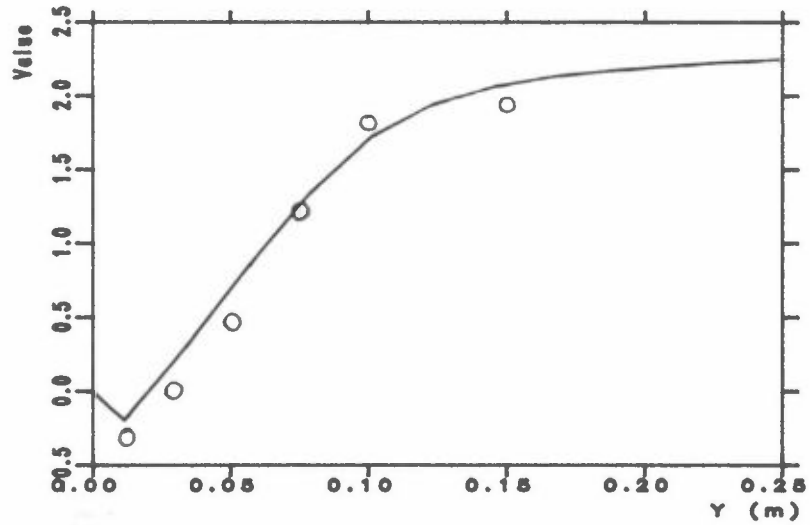


Fig. 7b : HASTIGHETSPROFIL 0.6m NEDSTRØMS FOR KILDEN  
 ○ - EXPERIMENTELLE VERDIER

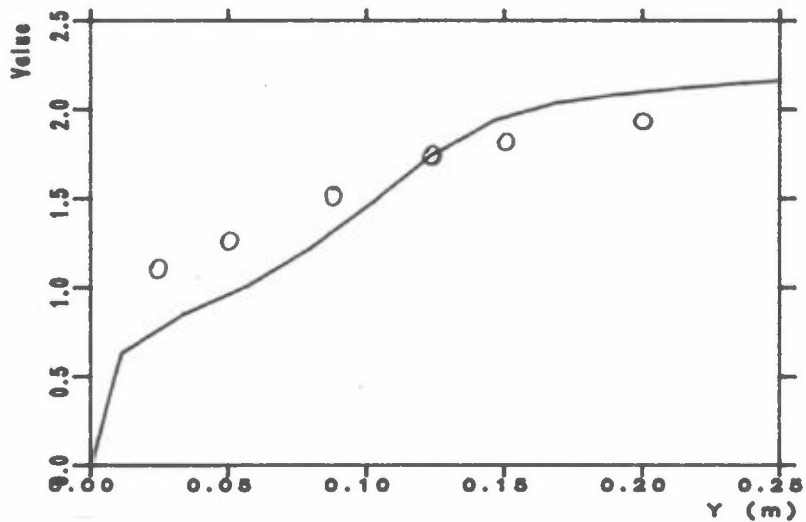


Fig. 7c : HASTIGHETSPROFIL 1.58m NEDSTRØMS FOR KILDEN  
 ○ - EXPERIMENTELLE VERDIER

## 5 FYSISK SIMULERING AV TUNG GASS

### 5.1 TO DIMENSJONER, KONTINUERLIG UTSLIPP

Ut fra ønsket om å kunne verifisere de numeriske to-dimensjonale beregningene og for å forsøke å kople to-dimensjonale kontinuerlige utslipp med tre-dimensjonale transiente utslipp, ble det laget et to-dimensjonalt forsøksoppsett, der en skulle undersøke innvirkningen av en ugjennomtrengelig vegg på en to-dimensjonal strømning. Hastighetsprofil og konsentrasjonsprofil er oppmålt i detalj, med og uten vegg. Typiske profiler med vegg er vist i figur 8 og 9.

Det blir henvist til den endelige rapporten for nærmere beskrivelse av forsøket.

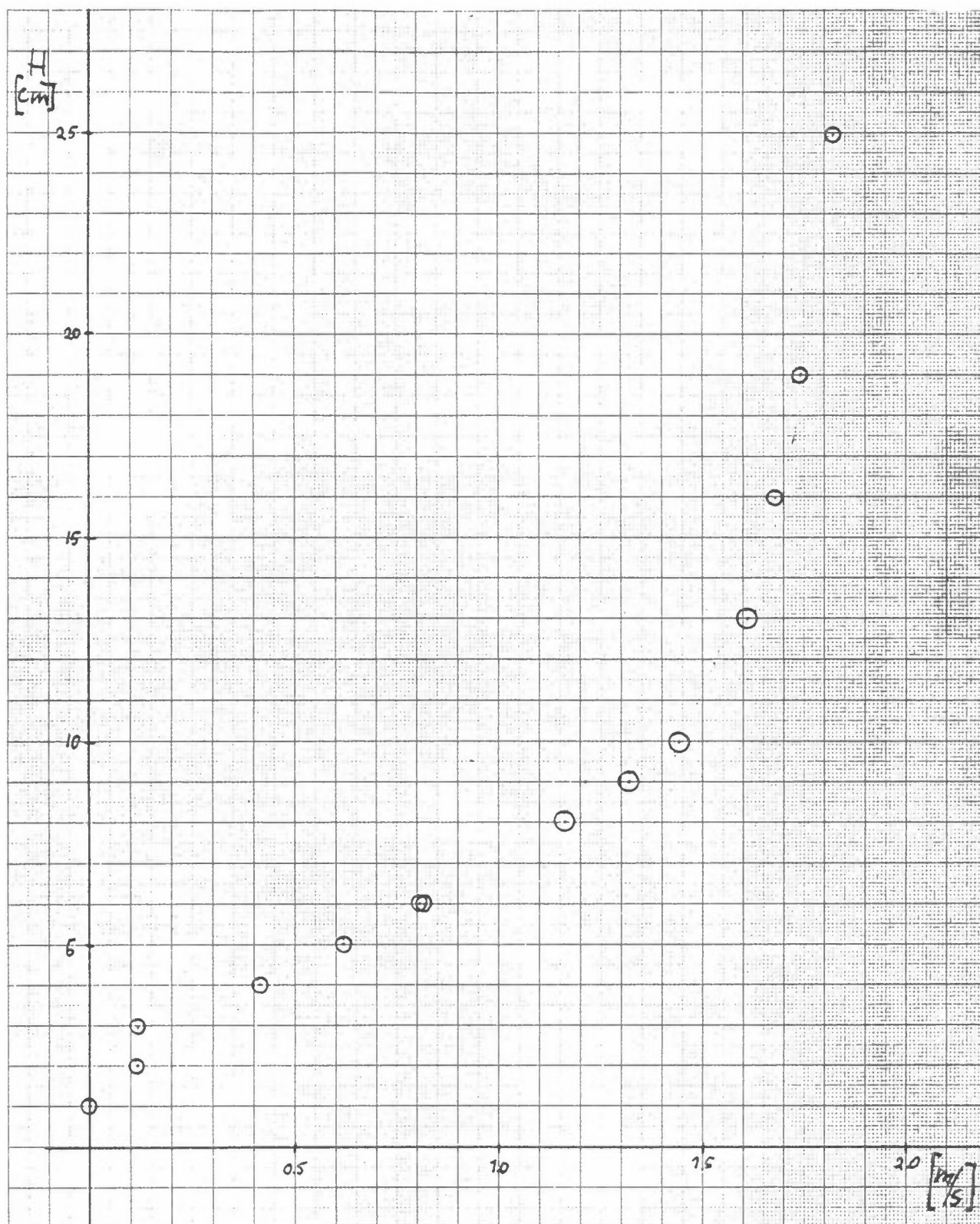
### 5.2 TRE DIMENSJONER, TRANSIENTUTSLIPP

Måleteknikken for å måle gasskonsentrasjon, som eksisterte på Aero- og gassdynamikk var beregnet på å måle middelkonsentrasjoner. Frekvens-responsen til proben ble målt til ca 10 Hz. Dette viste seg å være for lite til å måle transiente forløp med den tidsskala som ble forventet at en skulle få i Thorney Island forsøkene. Derfor ble det satt i gang arbeide med å forbedre måleteknikken med hensyn på frekvensrespons. En ny probe ble konstruert og bygget. Den ble vurdert til å kunne klare å måle transienter med de tidsforløp som vi venter å få i forsøkene våre.

Det er modellert et forsøk fra Thorney Island fase 2. Det forsøket som ble valgt ut var forsøk nr. 20. Hindringen i dette forsøket er en halvsirkelformet ugjennomtrengelig vegg. Forsøket ble modellert med gjennomsnittlig Richardson tall.

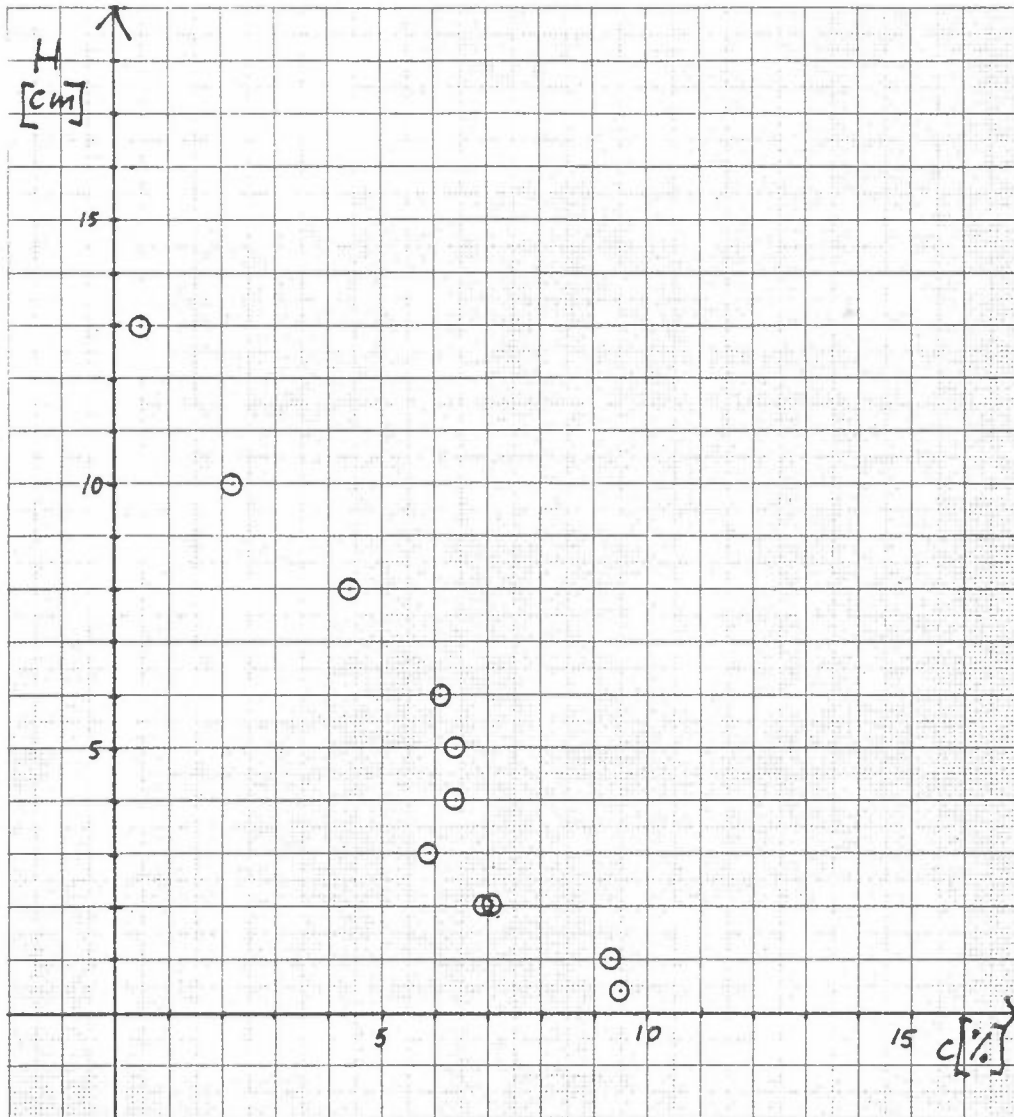
Målingene er gjennomført og plottet ut. Undersøkelser om hvorledes midlingstid spiller inn på maksimumskonsentrasjonen viser at midlingstiden over måleserien ikke har noen dramatisk effekt på maksimalverdien som kommer fram. Maksimalverdien endrer seg ikke vesentlig selv om det midles over 17 måle punkter. Figur 10 og 11 viser samme loggeserie, men med forskjellige midlingstider. Merk at figur 11 viser bare de første 4 sekundene av hendelsesforløpet.

Ved sammenligning mellom fullskala og modellforsøk finner vi at maksimalverdien i målepunktene stemmer godt overens. Dette gjelder også konsentrasjonsnivået etter maksimalverdien. Gass-skyens tidspassasje lar seg også reprodusere. Gass-skyen ankommer målestasjonene til rett tidspunkt og den kan spores i tilnærmet riktig tidsrom. Typisk måleserie for fullskala og modell finnes i figur 12 og 13.

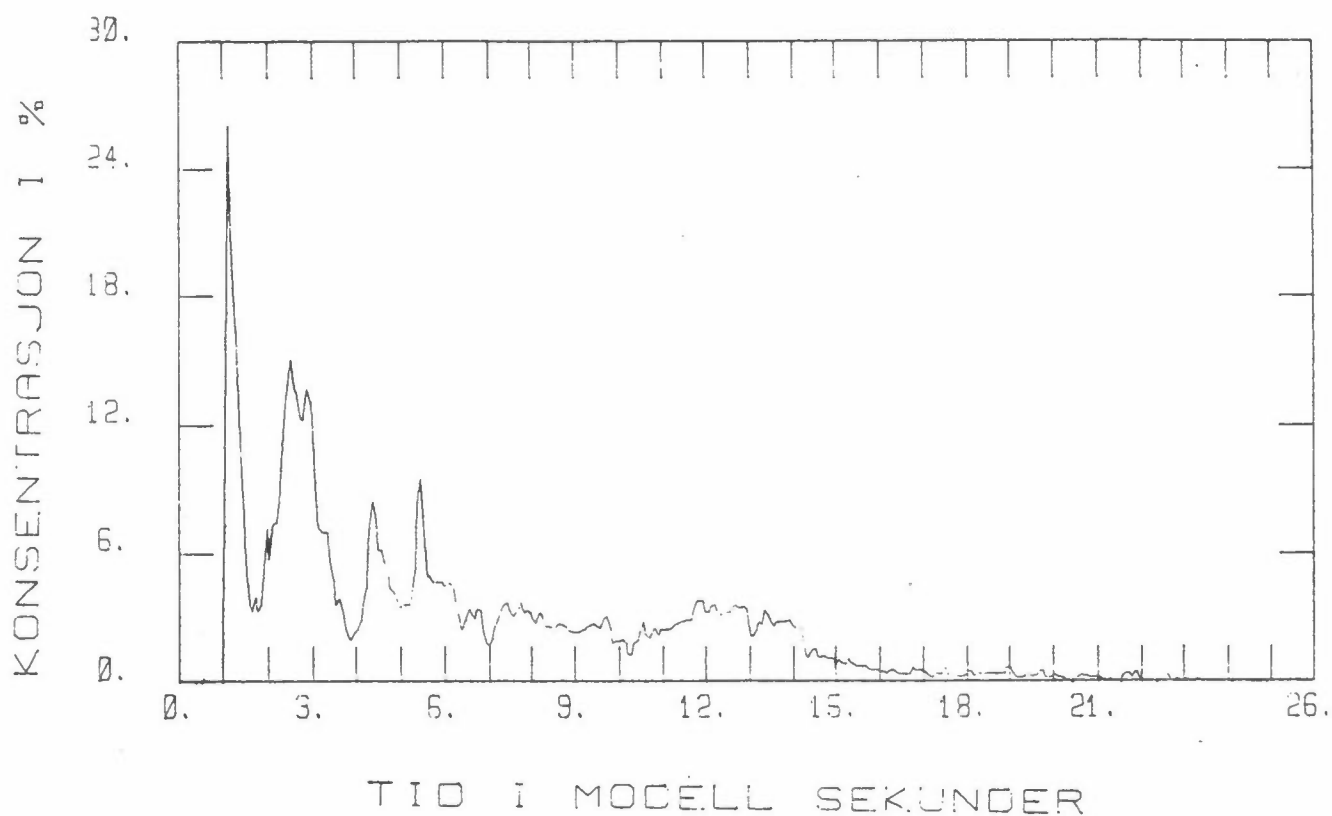


Figur 8: Hastighetsprofilen 70 cm fra kilden 25 cm fra vegg.

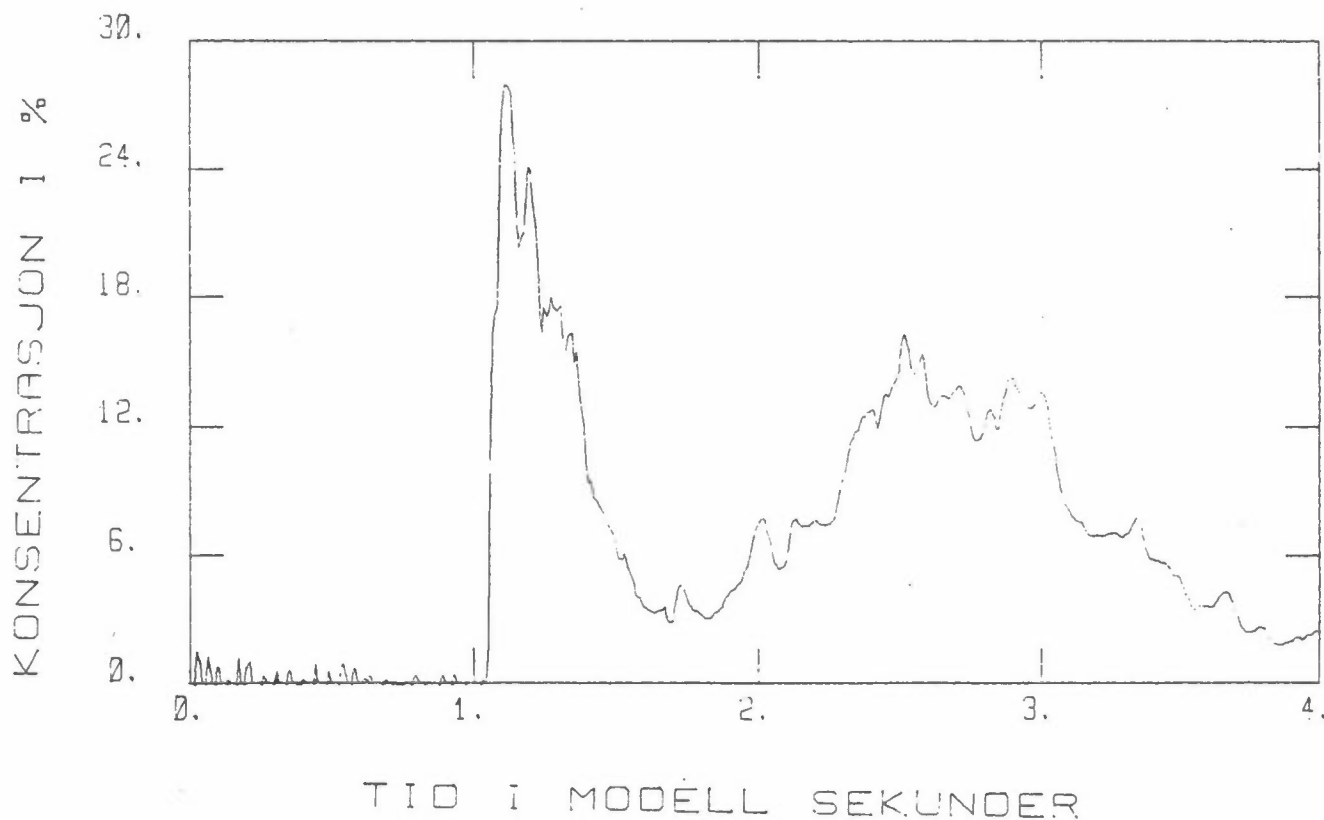




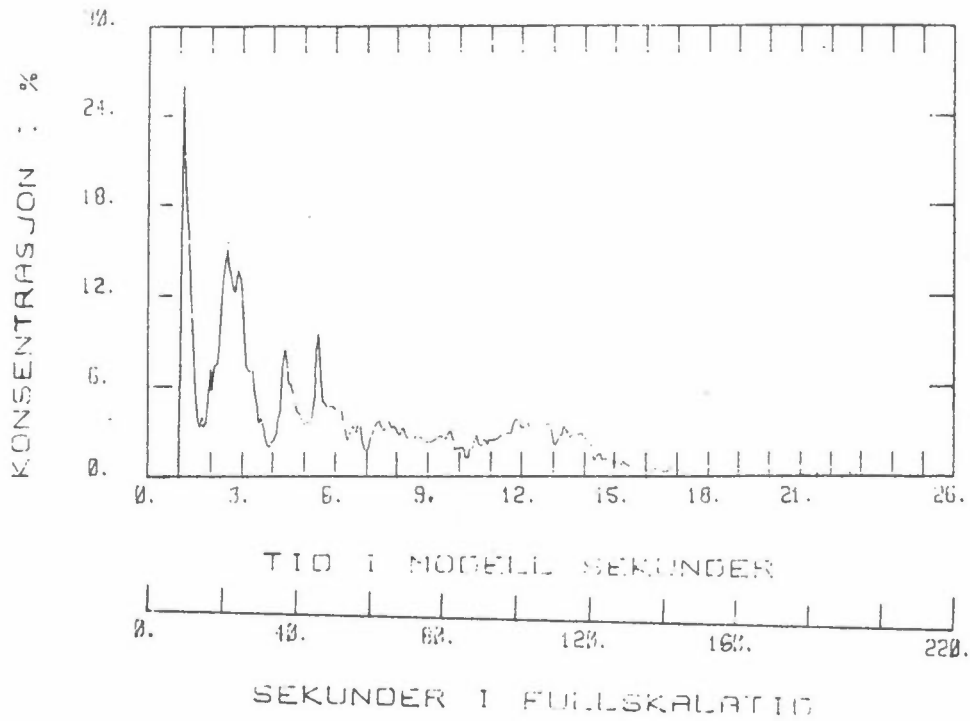
Figur 9: Konsentrasjonsprofilet 70 cm fra kilden 25 cm fra vegg.



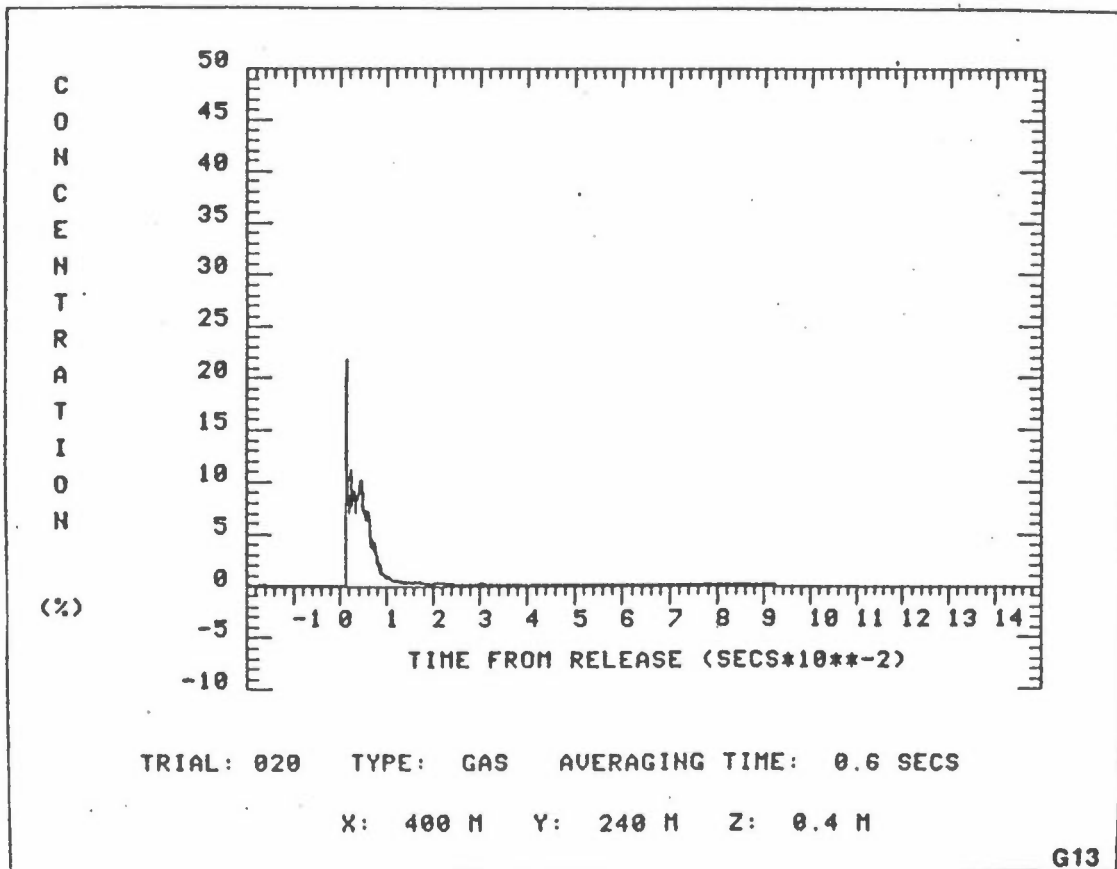
Figur 10: Måleserie tatt for 400, 240 tidsmidlet over 17 punkter.



Figur 11: Samme måleserie som i figur 10, men med annen midlingstid. Det er her midlet over to punkter.



Figur 12: Denne figuren viser måleserien fra figur 10 midlet over fullskala 0.6 s.



Figur 13: Denne figuren viser måleserien fra fullskala midlet over 0.6 s.

## 6 ARBEIDSPLAN 1986

Detaljerte arbeidsplaner for 1986 er sendt oppdragsgiverne, slik at det her kun skisseres i grove trekk de hovedområdene som skal studeres i 1986.

### 6.1 FYSISK SIMULERING - SINTEF

Simulering av spredning med hindringer fortsettes. Resultalter sammenholdes med numeriske beregninger. Virkningen av hellende terreng inkluderes. Turbulent innblanding i stratifikasjonslaget vil bli studert spesielt.

### 6.2 NUMERISK-MATEMATISK SIMULERING - SINTEF

Modellering av todimensjonal gravitasjonsdrevet strømming over hindringer fortsetter ved SINTEF. En tredimensjonal modell utvikles for spredning rund hindringer og i komplisert terreng. Effekt av hellende terreng modelleres i samspill med den fysiske simuleringen.

### 6.3 ATMOSFÆRISK SPREDNING - SINTEF/NILU

SINTEF-modellen nevnt ovenfor vil bli utviklet til å omhandle atmosfærisk spredning av utslippet etter at tyngdeforskjellen blir ubetydelig. Dette vil skje i samarbeid med NILU som vil utvikle de nødvendige rutiner som beskriver de atmosfæriske forhold.

### 6.4 EIDSVIKSMODELLEN - NILU

NILU ønsker å forbedre og utvikle Eidsviks-modellen, som bl.a. behandler utslipp av nedkjølte gasser inkludert effekten av en væskefase. Den atmosfæriske spredningen skal også forbedres, og dessuten vil effekten av hellende terreng studeres nærmere.

## 6.5 BEARBEIDELSE AV MÅLEDATA - NILU

Tilrettelegging og bearbeidelse av måledata fra Thorney Island-forsøkene fortsetter, tilpasset brukernes behov. Det vil også være aktuelt å legge inn resultater fra andre forsøk i databasen, som f.eks. Maplin Sands-forsøkene. Nye programmer som bearbeider og presenterer måledata vil også utvikles i samråd med SINTEF.

## 7 PUBLIKASJONER

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

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

Gotaas, Y. (1985) Heavy gas dispersion and environmental conditions as revealed by the Thorney Island Experiments. Journal of Hazardous Materials, 11, 399-408. Samme artikkel i: Heavy Gas Dispersion Trials at Thorney Island. Chemical Ed. by J. Mc Quaid. Amsterdam, Elsevier, (Chemical Engineering Monograph 22).

Gotaas, Y. og Haugsbakk, I. (1986) Utdrag fra måledata fra Thorney Island forsøkene, fase II. Lillestrøm (NILU TR 1/86).

Holdø, A.E. (1985) Vindtunnel simulering av Thorney Island tung gass utslipp. Trondheim (SINTEF.STF15 F85006).

Jacobsen, Ø. og Magnussen, B. (1984) Numerisk matematisk simulering av tung gass spredning, Trondheim (SINTEF.SFT15 F84079).

Jacobsen, Ø. og Magnussen, B. (1986) Numerisk simulering av 2-dimensjonal tung gass spredning. Trondheim (SINTEF.SFT15 F86003).

Knudsen, S. og Krogstad, P.A. (1986) Vindtunnel simulering av tung gass spredning nær en hindring i to eller tre dimensjon. Trondheim (SINTEF. SFT15 F86002).

Wighus, R. og Dahl, R. (1984) Water tunnel simulation of the Thorney Island heavy gas dispersion trials. Trondheim (SINTEF.SFT60 F84155).

**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 81/85	ISBN-82-7247-661-4	
DATO Desember 1985	ANSV. SIGN. <i>Terroland</i>	ANT. SIDER 28	PRIS
TITTEL Spredning av tunge gasser. Årsrapport 1985.		PROSJEKTLEDER Yngvar Gotaas	
		NILU PROSJEKT NR. O-8415	
FORFATTER(E) Trond Bøhler og Yngvar Gotaas		TILGJENGELIGHET* A	
		OPPDRAGSGIVERS REF. T.6073	
OPPDRAGSGIVER (NAVN OG ADRESSE) Styringskomitéen for prosjektet: "Spredning av tunge gasser".			
3 STIKKORD (à maks. 20 anslag) Tung gass                      Spredningsforsøk                      Simulering			
REFERAT (maks. 300 anslag, 7 linjer) Data fra Thorney Island er bearbeidet og sammenholdt med modellberegninger. Fysisk simulering i vindtunnel av kontinuerlige utslipp er sammenholdt med 2-dim. numerisk beregning av tung gass spredning.			

TITLE Dispersion of heavy gases. Annual report 1985.
ABSTRACT (max. 300 characters, 7 lines) Data from the Thorney Island trials are examined and compared to model prediction. Wind tunnel simulations of heavy gas dispersion from a continuous source have been compared with results from a 2-dim. heavy gas numerical model.

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