



# Et ventilations- anlægs fortyndingsevne

Målinger udført ved hjælp af sporstof  
for Hærens Ingeniør- og ABC-skole  
i forbindelse med indretning m.v.  
af lokaler i forsøgsbygning.

The ability of a ventilation system  
installed in a full-scale building test facility  
(project CCA MOCK-UP)  
to dilute contaminants measured by tracer  
technique for The Danish NBC Defence School.

Faglig rapport fra DMU, nr. 2  
Erik Lyck

Miljøministeriet  
Danmarks Miljøundersøgelser  
Afd. for Forureningskilder og Luftforurening  
Juli 1990

## ET VENTILATIONSANLÆGS FORTYNDINGSEVNE

Målinger udført ved hjælp af sporstof for Hærens Ingeniør- og ABC-skole i forbindelse med indretningen m.v. af lokaler i forsøgsbygning.

Udgivet af: Miljøministeriet  
Danmarks Miljøundersøgelser  
Juli 1990

Forfatter: Erik Lyck,  
Afd. for Forureningskilder og  
Luftforurening

Papirkvalitet: Miljøpapir

Trykkeri: Tutein & Kock  
samt Hellstrøm og Co. (omslag)

Pris: Kr. 40,00

Oplag: 110

ISBN: 87-7440-144-0

ISSN: 0106-343X

I denne rapport vises resultater af en rekvi-  
reret undersøgelse udført for Hærens Ingeniør-  
og ABC-skole i Farum. Målingerne udførtes med  
den ved Danmarks Miljøundersøgelser tilrådig-  
hedsværende sporstofteknik, der er udviklet  
til måling af atmosfærisk spredning. Ved gen-  
nemførelse af denne undersøgelse har teknikken  
vist sig velegnet til vurdering af ventila-  
tion.

Rapporten kan bestilles ved

Miljøministeriet  
Danmarks Miljøundersøgelser  
Forureningskilder og Luftforurening  
Frederiksborgvej 399  
4000 Roskilde  
Telefon 42 37 11 37, lokal 6261

## INDHOLDSFORTEGNELSE

	side
1. INDLEDNING .....	5
2. BAGGRUND OG FORMÅL .....	5
3. METODE .....	5
4. MÅLINGERNE .....	8
4.1 Forsøg i indgangsslusen .....	8
4.2 Forsøg i VHA/LHA-rummet .....	15
5. ANALYSE .....	15
5.1 Instantankoncentrationsmålinger .....	15
5.2 Tidsmidlede koncentrationsmålinger .....	23
6. ENGLISH SUMMARY.....	26
7. REFERENCER .....	28



## 1. INDLEDNING

Hærens Ingeniør- og ABC-skole (HIAS) henvendte sig til Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) i brev af 7/9 1989 med ønske om bistand til målinger til belysning af fortynding i lokaler under indretning med ventilationsanlæg i forbindelse med HIAS's projekt CCA MOCK-UP. Problemstillingen blev gennemgået ved et møde hos HIAS 26/10 1989. Materiale vedrørende projektet har foreligget for DMU bl.a. i form af HIAS-rapport af 11/9 1989. DMU har på dette grundlag i notat af 9/11 1989 foreslået målinger af fortynding af sporstof. HIAS har herefter rekvireret målinger udført. Disse blev gennemført 20-21/12 1989. I arbejdet med opgaven deltog fra DMU Birte Vaabengaard, Lene Thorsted, Hans Ahleson, Erling Lund Thomsen og Erik Lyck, fra HIAS assisterede Preben Jensen ved målingerne.

## 2. BAGGRUND OG FORMÅL

Baggrunden for DMU's arbejde for HIAS i denne opgave er den erfaring som er etableret ved DMU vedrørende teknik og udstyr til måling af spredning i luft (Lyck, E. 1979, og Lyck, E. og Rørdam Olesen, H., 1986). Teknikken er baseret på sporstoffet svovlhexafluorid ( $\text{SF}_6$ ), som er et ikke-toksisk og inaktivt gasformigt stof. I den foreliggende opgave var formålet med anvendelse af sporstofteknikken ved direkte koncentrationsmålinger af sporstoffet at belyse ventilationsanlæggets evne til at fortynde og fjerne sporstoffet udlagt i passende koncentration i et givet rum.

## 3. METODE

I det følgende menes med et forsøg: udlægning af sporstof i et rum samt koncentrationsmålinger af fortynding og fjernelse af sporstoffet.

Ved et forsøg blev i det valgte rum i forsøgsbygningen udlagt sporstof, der blev opblandet i rummet med små rumventilatorer med henblik på at opnå så ensartet koncentration af sporstof som muligt. Mængden af sporstof blev afpasset i forhold til rummets størrelse for at opnå passende koncentrationsmåleområde. Under denne opblanding var ventilationsanlægget slukket og rummet skulle være så tæt som muligt, idet det var tanken at koncentrationen ikke alene skulle være ensartet i rummet, men også så konstant som muligt forud for start af ventilationsanlægget. Koncentrationen og opblandingen i rummet kontrolleredes ved målinger med analyseudstyr anbragt i rummet. Dette analyseudstyr måler koncentrationen med meget kort midlingstid, og vi kalder disse målinger for øjebliksværdier. Efter disse målinger blev ventilationsanlægget startet.

De egentlige koncentrationsmålinger i forsøget blev foretaget ved hjælp af små målestationer, der indsamler luft i plastposer. Hver station samler luft i 3 poser efter hinanden, kortest mulige tid til hver pose er 56 sekunder, som blev anvendt her. Koncentration af sporstof indsamlet på denne måde i poser er altså karakteriseret ved en midlingstid på 56 sekunder. Poserne blev analyseret for sporstofkoncentration i DMU-laboratoriet. Analysen har detektionsgrænse ca.  $10 \text{ ng/m}^3$  ( $\text{ng}=10^{-9} \text{ g}$ ), en absolut nøjagtighed på ca.  $\pm 10\%$  og en relativ nøjagtighed på  $\pm 2-3\%$ . Af størst betydning i analysen senere i denne rapport er den relative nøjagtighed. Der blev udfra de forventelige fortyndingstider for rummet samt de foretagne on-line øjebliksmålinger arrangeret fra 3 til 5 målestationer i samme målepunkt for at opnå samlet måletid på fra 3 til 5 gange  $3 \times 56$  sekunder. Den samlede måletid blev influeret af at der kunne gå lidt tid inden den manuelle start af en ny station, men måletiden var altså op til ca. 15 minutter. Der blev i et forsøg anvendt op til 3 målepunkter. Det manuelle startudstyr var udformet således at starten af stationer i forskellige målepunkter var samtidig. Starten af den første station blev foretaget så 2-3 målinger blev udført før start af ventilationsanlægget.

I alle forsøgene blev ventilationsanlægget kørt så der i indgangsslusen, udrustningsrummet og indgangslocken var henholdsvis 20, 17 og 15 mmVs overtryk. Af nedenstående måleskema - fra HIAS forsøgsrapport af 11/9 1989 - fremgår bl.a. luftgennemstrømning og antal luftudskiftninger i det enkelte rum i Mock-up bygningen. De anførte vædier skal reduceres med ca. 10% da forsøgene blev gennemført med overtryk, der var mindre end de i skemaet anførte.

Måleskema. Luftgennemstrømning og overtryk i CCA Mock-up ved ventilationssystemets ydelse. Ca. 28 mm Vs overtryk (fra HIAS forsøgsrapport af 11/9 1989).

	Indg. sluse	Vente sluse	Udg. sluse I	Udg. sluse II	VHA/ LHA	Udg. 1) lock
Vindhasighed (m/sek.)	12,3	12,3	12,1	12,1	24,3	23,4
Luftgennemst. (m <sup>3</sup> /h)	615	615	605	605	1215	1170
Overtryk (mm Vs)	25	22	25	22	18	160
Rumfang (m <sup>3</sup> )	9 (6,5)*	9	7,8	8,4	40/ 105	26
Luftudskiftn. (pr. h)	68,3 (94,6)*	68,3	77,6	72	30,4/ 11,6	45
Luftudskifn. (pr. min)	1,14 (1,58)*	1,14	1,3	1,2	0,51/ 0,2	0,8

\* Rumfang m.v. efter opsætning af skilleveg.

1) i denne rapport (Figur 1) er dette rum kaldt indgangslock

#### 4. MÅLINGERNE

De for alle forsøgene anvendte positioner for henholdsvis udlægning af sporstof (release), koncentrationsmålinger og rumventilation er angivet på Figur 1 og i Tabel 1.

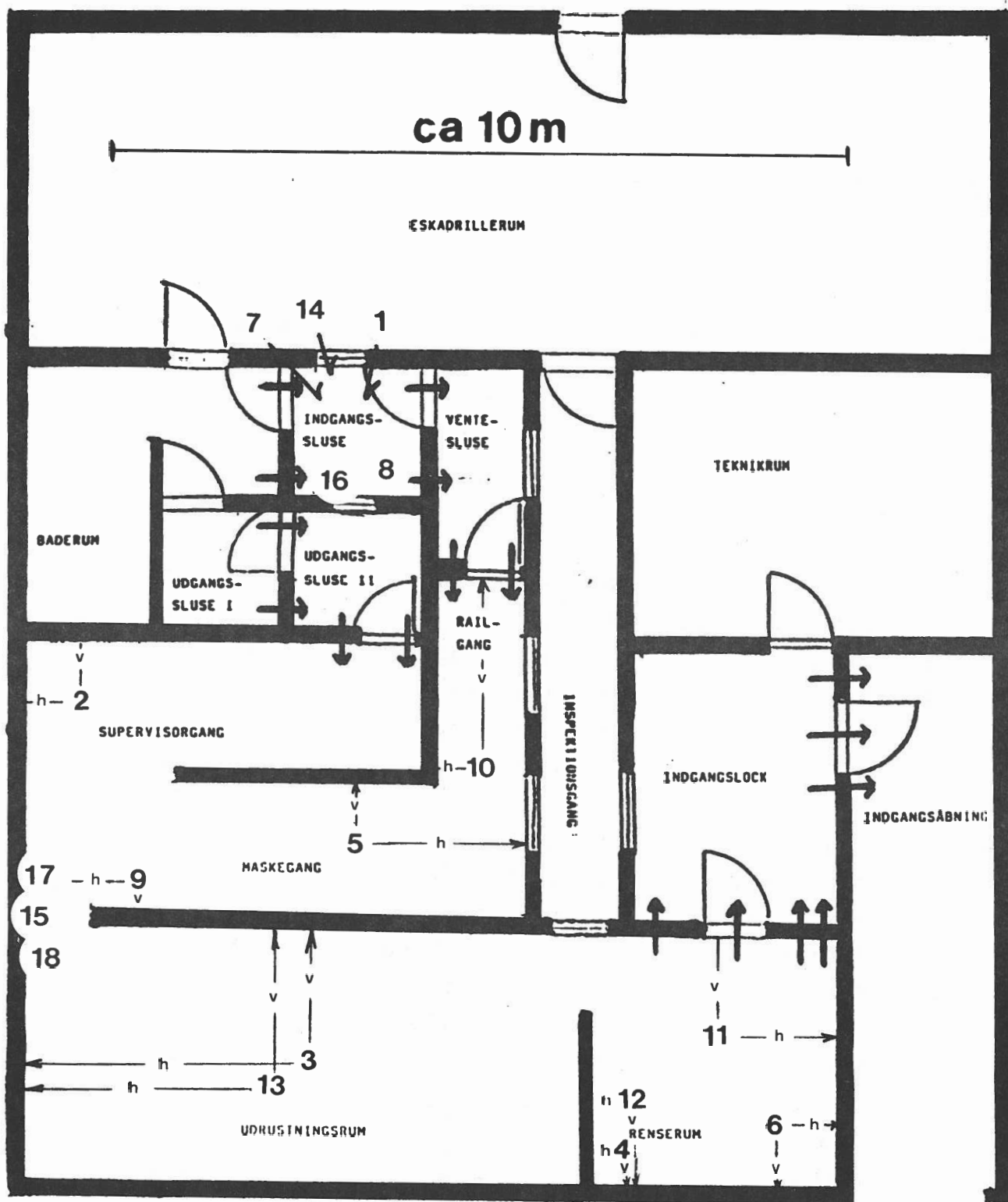
Der blev gennemført udlægning af sporstof i alt 7 gange, i forsøg, der er nummereret 0-6, Tabel 2.

##### 4.1 Forsøg i indgangsslusen

I indgangsslusen, der har et rumfang på  $6.5 \text{ m}^3$ , gennemførtes forsøgene 0-3. Øjeblikskoncentrationsmålingerne er angivet i Tabel 3 og vist på Figur 2. Middelkoncentrationsmålingerne, der udførtes i én position, er angivet i Tabel 4 samt vist Figur 3. Det bemærkes her at på alle figurer med middelmålinger er koncentrationsværdien angivet ud fra den tid der er kaldt 'målecenter' i tabeller over målingerne (f.eks. Tabel 4 og 5). Målecenteret er midten af måletiden, som er 56 sek.

Forsøg 0 blev afbrudt før planlagt start af ventilationsanlægget da øjebliksmålingen (Figur 2) viste, at rummet ikke holdt konstant koncentration. Der er derfor ikke gennemført middelmålinger for dette forsøg. Forsøgene blev herefter fortsat med at der udover klap for ventilationsåbningerne også blev tætnet med tape over alle dørsprækker. Figur 2 viser, at koncentrationen i rummet herefter var næsten konstant, med kun ringe 'naturlig' ventilation, forsøg 1-3. Det bemærkes, at de første øjebliksmålinger i hvert af disse forsøg er taget umiddelbart efter release, hvor koncentrationsforløbet er under indsvingning. De på Figur 2 og 3 indlagte linier og kurver bliver nærmere forklaret i afsnit 5, analyse.





Figur 1. Positioner for koncentrationsmåling (1-13), release (14-15) og ventilation (16-18). h og v refererer for hver position til vandrette mål fra position til væg. I indgangsslusen er alle positioner h og v målt fra væg henholdsvis til venteslusen og eskadrillerum. For position 15, 17 og 18 er h målt fra ydervæg og v fra maskegang/udrustningsrum-væggens forlængelse. Pile gennem vægge er ventilationsåbninger. Rumhøjden er ca. 280 cm.

Tabel 1. Positioner med angivelse af aktivitet og afstands- og højdemål.

---

Positi- onsnr.	Rum	Aktivitet	Vandrette		
			Høj- de	h	v
				(cm)	
1	Indgangssluse	Middelmåling	80	73	73
2	Supervisorgang	Middelmåling	80	50	50
3	Udrustningsrum	Middelmåling	80	400	180
4	Renserum	Middelmåling	80	50	50
5	Maskegang	Middelmåling	80	350	85
6	Renserum	Middelmåling	80	50	50
7	Indgangssluse	Instantanmåling	100	100	50
8	Indgangssluse	Instantanmåling	250	50	100
9	Maskegang	Instantanmåling	100	150	50
10	Railgang	Instantanmåling	100	50	200
11	Renserum	Instantanmåling	100	160	180
12	Renserum	Instantanmåling	250	50	50
13	Udrustningsrum	Instantanmåling	100	350	200
14	Indgangssluse	Release	160	120	0
15	Maskeg./Udrustn.	Release	100	0	0
16	Indgangssluse	Ventilation	40	75	100
17	Maskegang	Ventilation	40	30	100
18	Udrustningsrum	Ventilation	40	30	100

---

Tabel 2. Release-data og anvendte positioner for koncentrationsmålinger.

---

For-	Dato	Release	posi-				Position for koncen-	
søg	1989	tion	fra	til	tid	flow	middel	instantan
					(min)	(l/min)*		
0	20/12	14	10:58	10:59	1	2.0	-	7,8
1	20/12	14	11:33	11:34	1	2.0	1	7,8
2	20/12	14	12:33	12:34	1	2.0	1	7
3	20/12	14	13:39	13:40	1	2.0	1	7
4	20/12	15	14:43	14:47	4	6.3	2,3,4	9,10,11,12,13
5	21/12	15	12:50	12:54	4	6.3	2,3,4	9,10,11,12,13
6	21/12	15	13:58	14:02	4	6.3	3,5,6	9,10,11,13

---

\*) af 1 ppm SF<sub>6</sub> angivet i fri luft ved 20 grader og 762.5 mm HG (flowmeter MFC R.420666/G).

Tabel 3

SPORSTOPKONCENTRATIONS MÅLINGER ØJEBLIKSVÆRDIER

----- DATO=891220 FORSØG=0 VENTILATIONSSTART=-----

POSITION	MÅLETID	KONCENTRATION	MÅLETID IFT.
	HH MM SS	NG/M3	VENTILATIONSSTART
			SEK
7	10:59:00	1954	.
7	11:03:00	1781	.
7	11:06:00	1603	.
7	11:09:00	1462	.
8	11:11:00	1429	.
7	11:16:00	1275	.
7	11:21:00	1251	.
7	11:30:00	14	.

----- DATO=891220 FORSØG=1 VENTILATIONSSTART=11:59:00 -----

POSITION	MÅLETID	KONCENTRATION	MÅLETID IFT.
	HH MM SS	NG/M3	VENTILATIONSSTART
			SEK
7	11:35:00	1954	-1440
7	11:38:00	1828	-1260
7	11:41:00	1767	-1080
8	11:42:00	1743	-1020
7	11:48:00	1696	-660
7	11:52:00	1767	-420
7	11:56:00	1767	-180
7	11:59:20	361	20
7	12:03:00	0	240
7	12:06:00	0	420
7	12:10:00	0	660
7	12:15:00	0	960

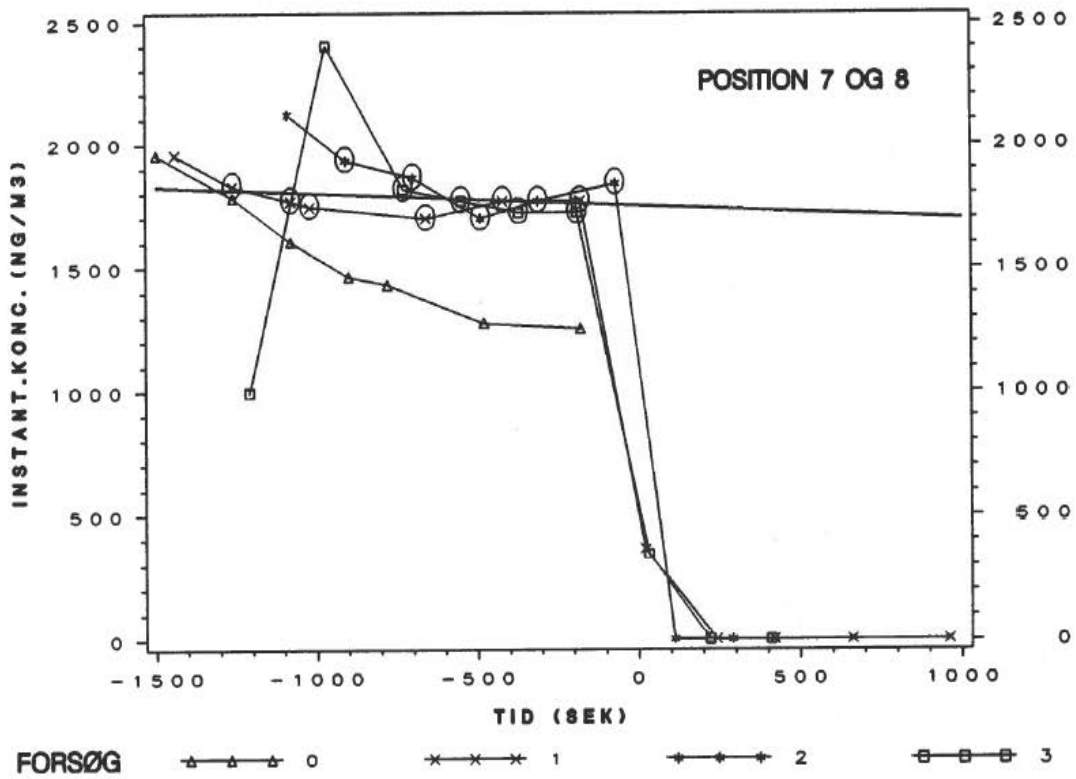
----- DATO=891220 FORSØG=2 VENTILATIONSSTART=12:53:10 -----

POSITION	MÅLETID	KONCENTRATION	MÅLETID IFT.
	HH MM SS	NG/M3	VENTILATIONSSTART
			SEK
7	12:35:00	2118	-1090
7	12:38:00	1931	-910
7	12:41:30	1860	-700
7	12:45:00	1696	-490
7	12:48:00	1767	-310
7	12:52:00	1837	-70
7	12:55:00	0	110
7	12:58:00	0	290

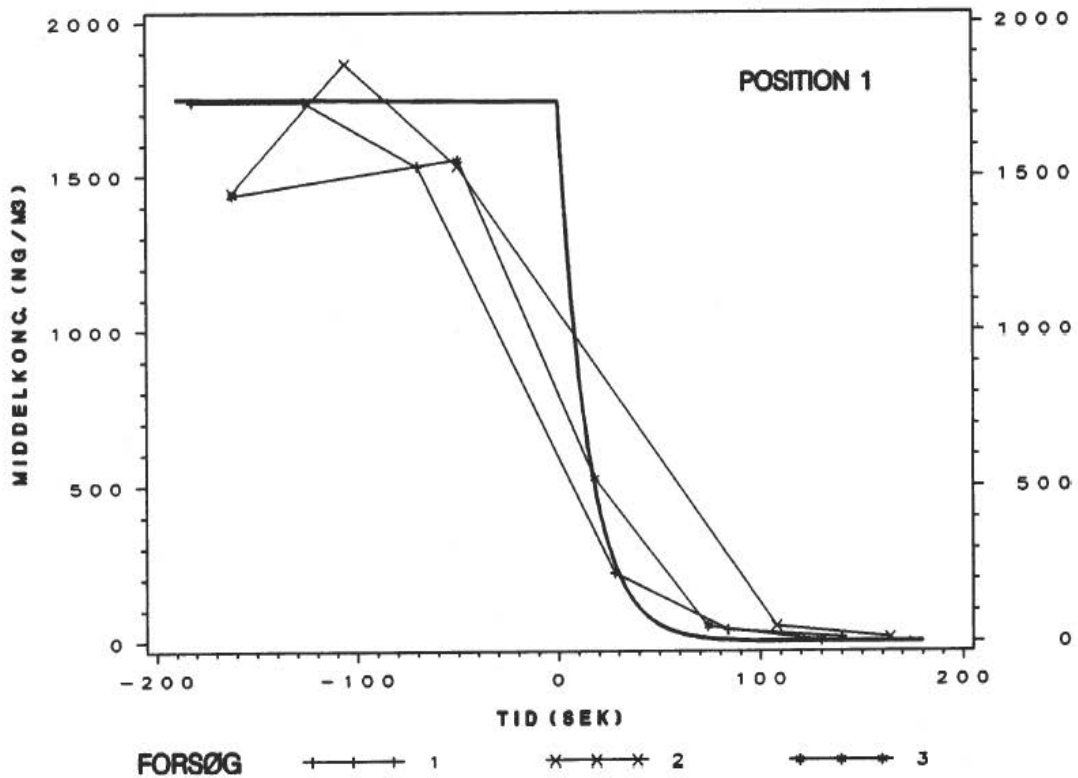
----- DATO=891220 FORSØG=3 VENTILATIONSSTART=13:56:10 -----

POSITION	MÅLETID	KONCENTRATION	MÅLETID IFT.
	HH MM SS	NG/M3	VENTILATIONSSTART
			SEK
7	13:36:00	993	-1210
7	13:40:00	2399	-970
7	13:44:00	1813	-730
7	13:47:00	1767	-550
7	13:50:00	1720	-370
7	13:53:00	1720	-190
7	13:56:40	342	30
7	13:59:50	0	220
7	14:03:00	0	410

Figur 2



Figur 3



Tabel 4

SPORSTOFKONCENTRATIONS MÅLINGER MIDLET OVER 56 SEKUNDER

----- DATO=891220 FORSØG-1 VENTILATIONSSTART=11:59:00 POSITION=1 -----

MÅLESTART	KONCENTRATION	MÅLESTART	MÅLECENTER	MÅLESLUT
HH MM SS	NG/M3	----- I FORHOLD TIL VENTILATIONS START (SEK) -----		
11:55:30	1739	-210	-182	-154
11:56:26	1739	-154	-126	-98
11:57:22	1530	-98	-70	-42
11:59:00	221	0	28	56
11:59:56	38	56	84	112
12:00:52	13	112	140	168

----- DATO=891220 FORSØG-2 VENTILATIONSSTART=12:53:10 POSITION=1 -----

MÅLESTART	KONCENTRATION	MÅLESTART	MÅLECENTER	MÅLESLUT
HH MM SS	NG/M3	----- I FORHOLD TIL VENTILATIONS START (SEK) -----		
12:50:00	1447	-190	-162	-134
12:50:56	1864	-134	-106	-78
12:51:52	1530	-78	-50	-22
12:54:30	50	80	108	136
12:55:26	13	136	164	192
12:56:22	8	192	220	248

----- DATO=891220 FORSØG-3 VENTILATIONSSTART=13:56:10 POSITION=1 -----

MÅLESTART	KONCENTRATION	MÅLESTART	MÅLECENTER	MÅLESLUT
HH MM SS	NG/M3	----- I FORHOLD TIL VENTILATIONS START (SEK) -----		
13:53:00	1439	-190	-162	-134
13:54:52	1551	-78	-50	-22
13:56:00	525	-10	18	46
13:56:56	50	46	74	102
13:57:52	4	102	130	158

#### 4.2 Forsøg i VHA/LHA-rummet

Dette rum består af rail-, supervisor- og maskegang samt udrustning- og renserum og har et rumfang på i alt ca. 145 m<sup>3</sup>. I dette rum gennemførtes forsøgene 4-6. Sporstoffets fordeling i rummet blev undersøgt ved at flytte analyseudstyret til øjebliksmålinger rundt i 4-5 positioner, se Tabel 5. Det bemærkes, at koncentrationsforløbet for alle positioner ligger på samme forløb i form af et let fald af koncentrationen med tiden lidt efter releases-top og før ventilationsstart, forsøg 4 og 5, se Figur 4 og 6, subsidiært konstant koncentration, forsøg 6, se Figur 8.

Målestationerne til måling af 56-sekunders middelværdier var placeret i 3 punkter. For forsøg 4 og 5 var der tale om helt de samme positioner. For alle tre forsøg anvendtes position 3 med 5 stationer. I de øvrige positioner var der kun anbragt 3 stationer. De tidsmidlede målinger er vist Tabel 6 og 7 og på Figur 5, 7 og 9.

### 5. ANALYSE

#### 5.1 Instantankoncentrationsmålingerne

For øjeblikskoncentrationsmålingerne, (Figur 2, 4, 6 og 8), er der 3 tidsmæssigt karakteristiske forløb.

Det første karakteristiske forløb er målingerne umiddelbart efter udlægning af sporstoffet er ophørt. Her udviser koncentrationsforløbet et indsvingningsforløb, mens sporstoffet fordeler sig i rummet.

Det andet tidsmæssige karakteristiske forløb går fra det tidspunkt hvor sporstoffet er jævnt opblandet i rummet og til ventilationsstart. Da der i Figurerne 2, 4, 6 og 8 er medtaget samtlige positioner, hvori der er målt øjebliksværdier ses det, at i dette tidsmæssige andet interval er sporstoffet jævnt opblandet

Tabel 5

SPORSTOFKONCENTRATIONS MÅLINGER ØJEBLIKS VÆRDIER

----- DATO=891220 FORSØG=4 VENTILATIONSSTART=15:25:20 -----

POSITION	MÅLETID	KONCENTRATION	MÅLETID IFT.
	HH MM SS		VENTILATIONSSTART
		NG/M3	SEK
9	14:44:00	305	-2480
9	14:47:30	1251	-2270
9	14:50:00	984	-2120
9	14:54:00	900	-1880
9	14:57:30	853	-1670
10	15:01:00	843	-1460
10	15:04:00	853	-1280
11	15:08:00	853	-1040
11	15:12:00	853	-800
12	15:15:00	829	-620
13	15:19:00	843	-380
13	15:22:30	820	-170
13	15:26:10	825	50
13	15:29:30	300	250
13	15:32:30	89	430
13	15:36:00	9	640
13	15:39:30	0	850
13	15:43:00	0	1060

----- DATO=891221 FORSØG=5 VENTILATIONSSTART=13:30:00 -----

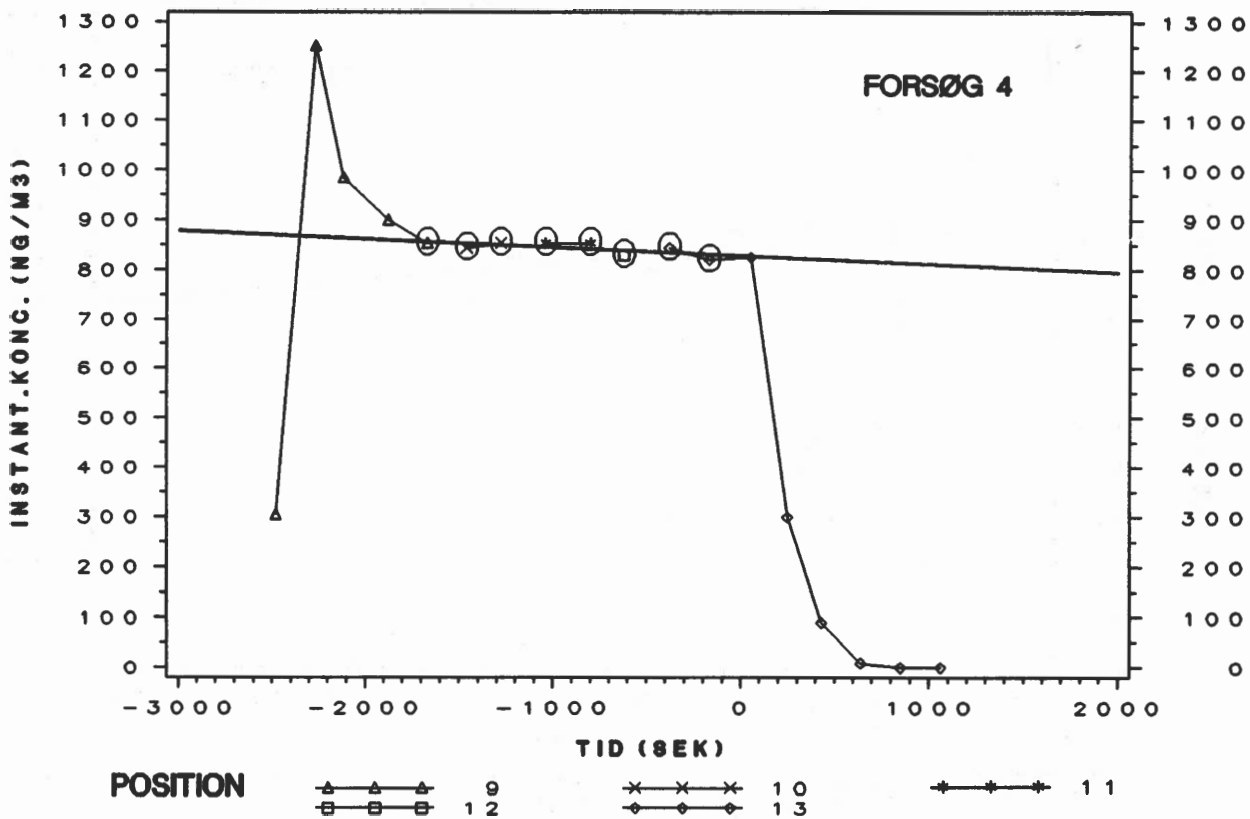
POSITION	MÅLETID	KONCENTRATION	MÅLETID IFT.
	HH MM SS		VENTILATIONSSTART
		NG/M3	SEK
9	12:51:00	183	-2340
9	12:54:30	1148	-2130
9	12:58:00	914	-1920
9	13:01:30	876	-1710
10	13:04:30	853	-1530
10	13:08:30	867	-1290
11	13:12:30	783	-1050
11	13:15:30	787	-870
12	13:17:30	825	-750
13	13:23:30	797	-390
13	13:27:00	811	-180
13	13:31:00	787	60
13	13:34:00	192	240
13	13:38:00	37	480
13	13:41:00	5	660
13	13:45:00	0	900

----- DATO=891221 FORSØG=6 VENTILATIONSSTART=14:30:00 -----

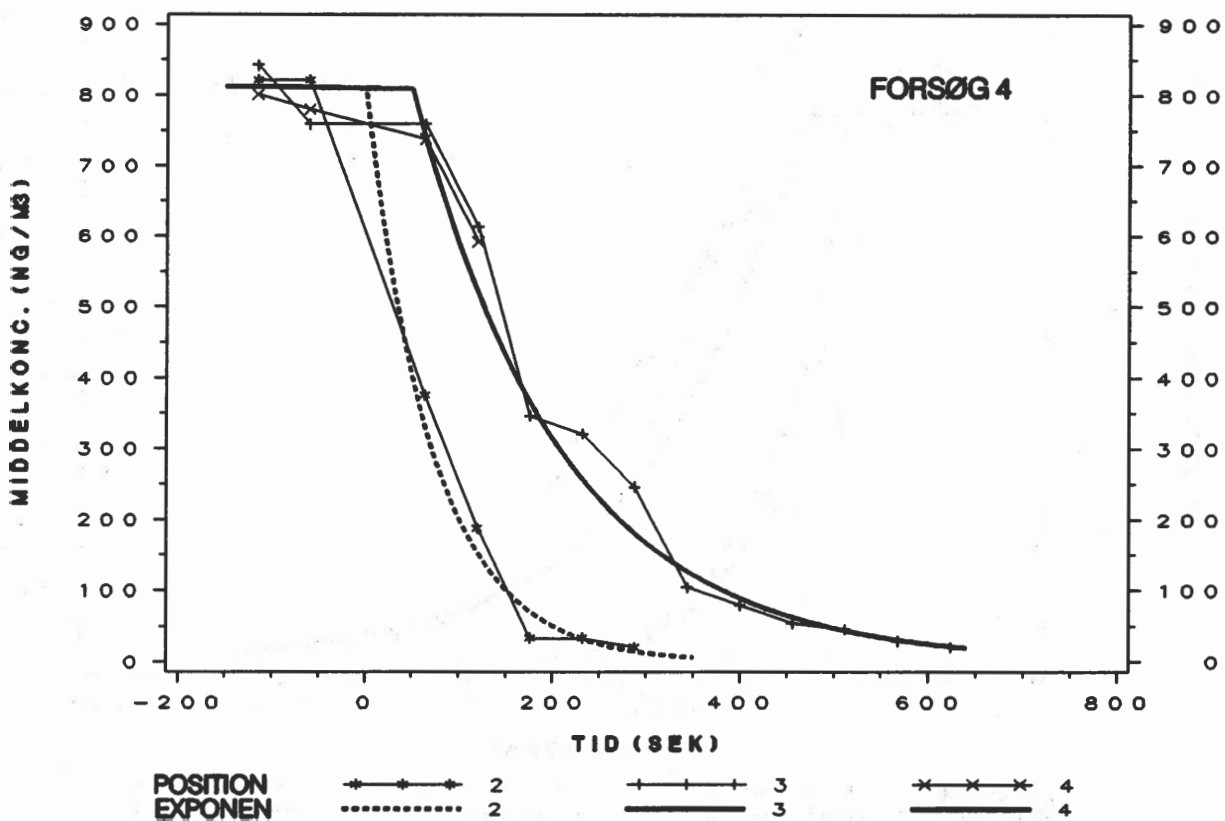
POSITION	MÅLETID	KONCENTRATION	MÅLETID IFT.
	HH MM SS		VENTILATIONSSTART
		NG/M3	SEK
9	14:00:00	351	-1800
9	14:04:00	900	-1560
9	14:07:00	811	-1380
10	14:11:00	750	-1140
10	14:14:00	783	-960
11	14:17:00	801	-780
11	14:20:30	797	-570
13	14:24:00	773	-360
13	14:27:00	797	-180
13	14:31:00	679	60
13	14:34:50	173	290
13	14:38:00	23	480
13	14:41:00	0	660
13	14:44:00	0	840



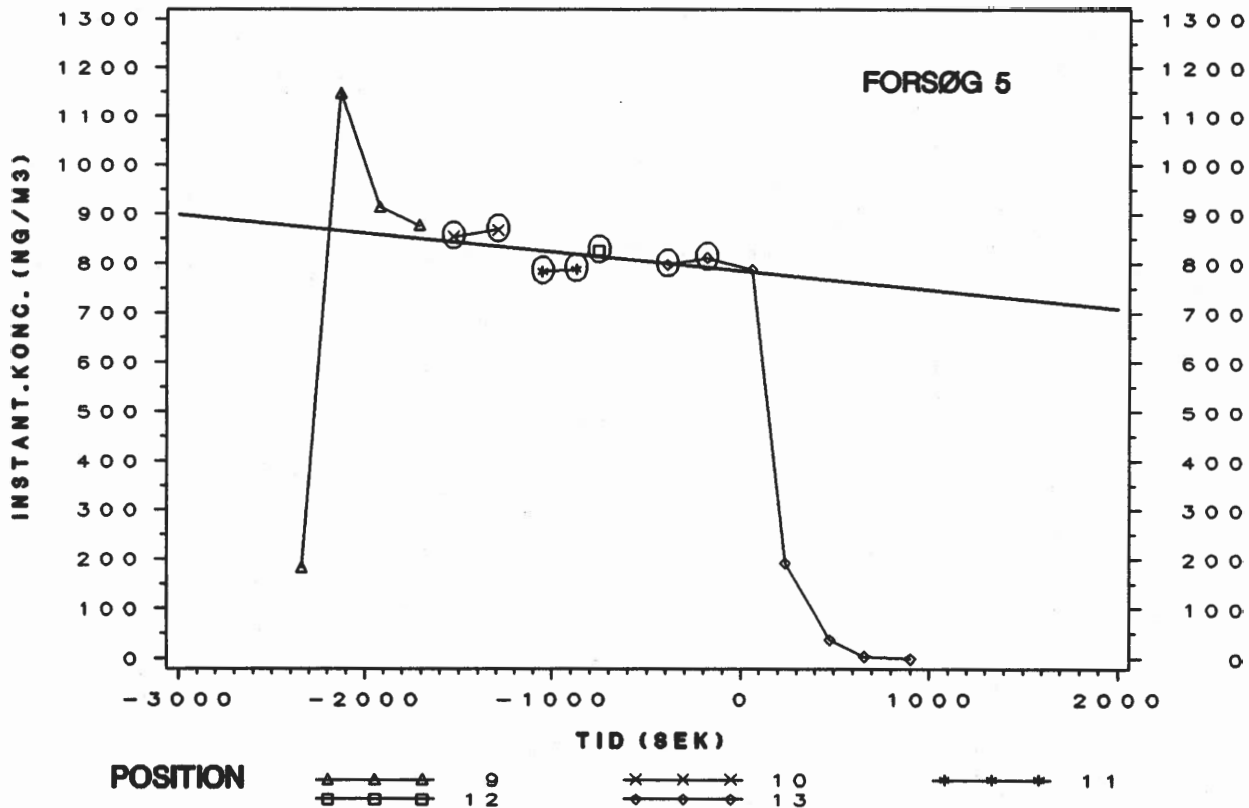
Figur 4



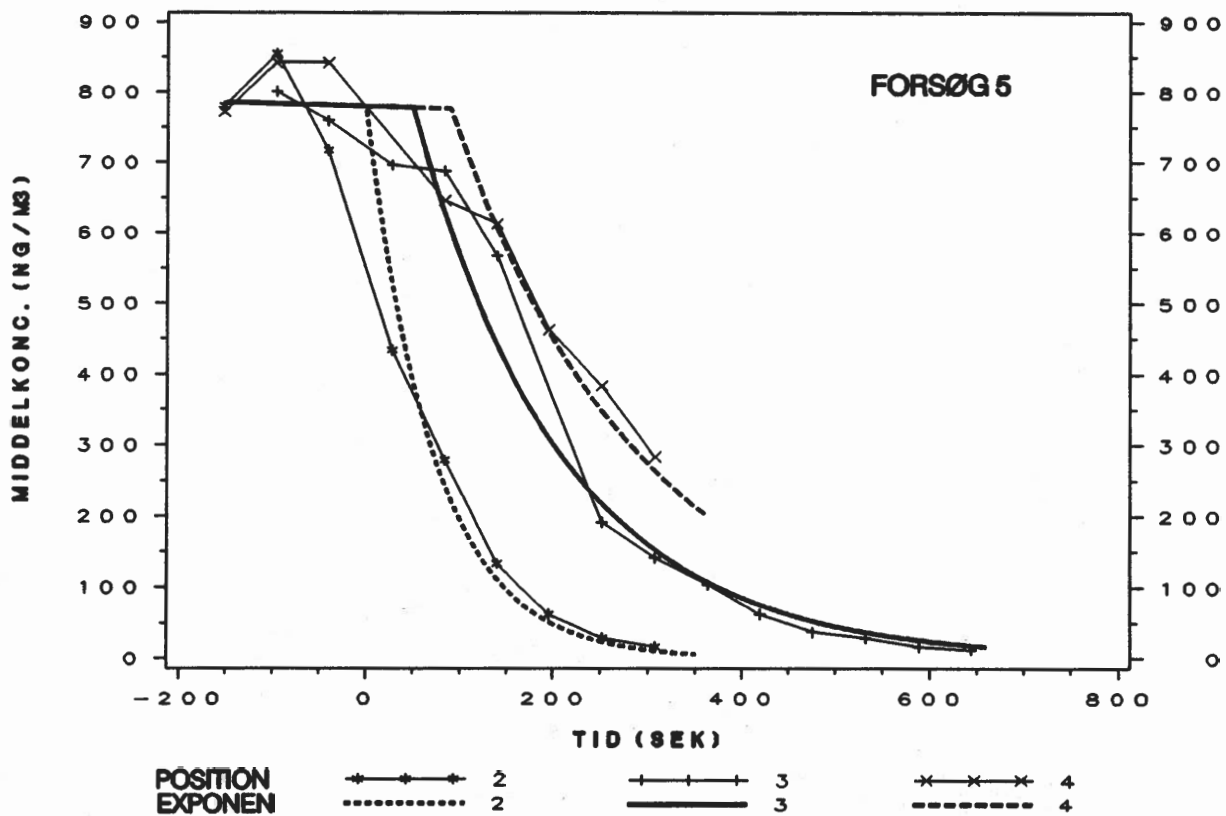
Figur 5



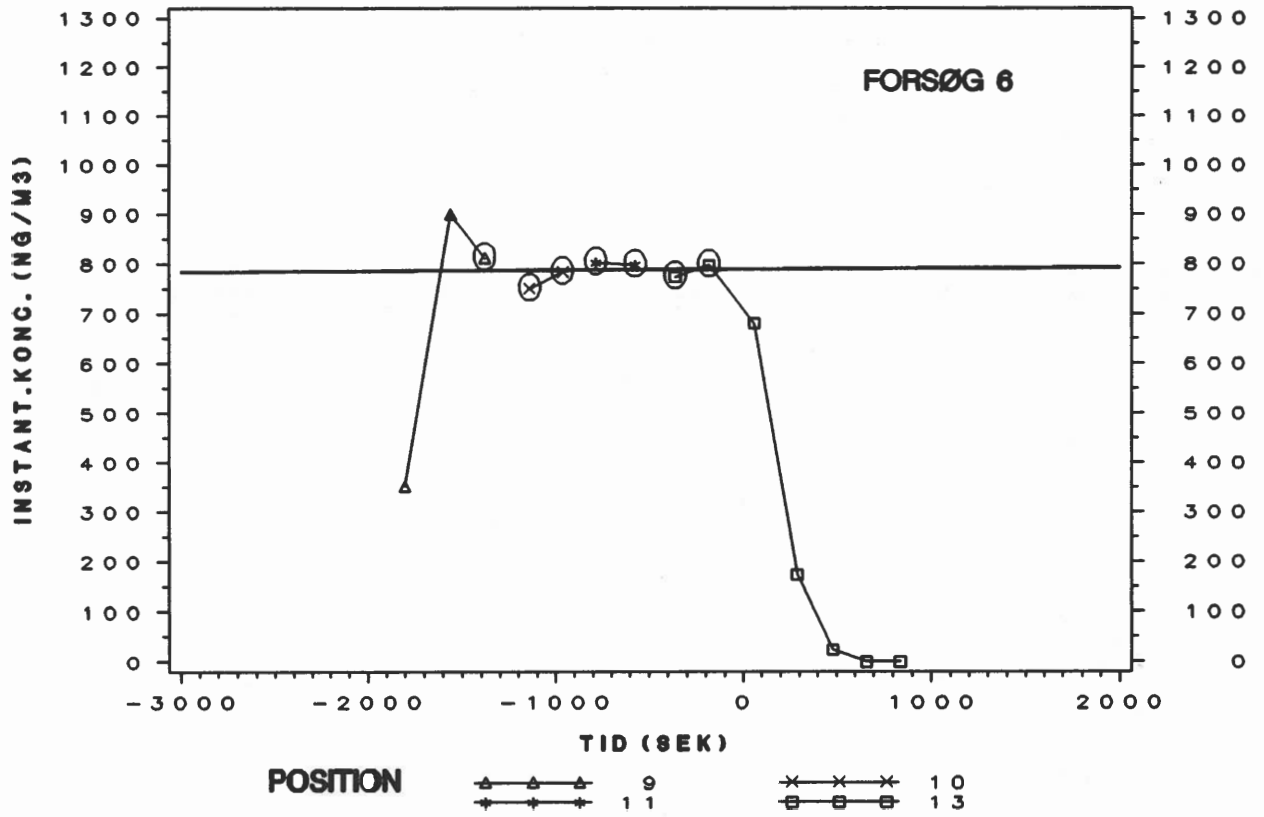
Figur 6



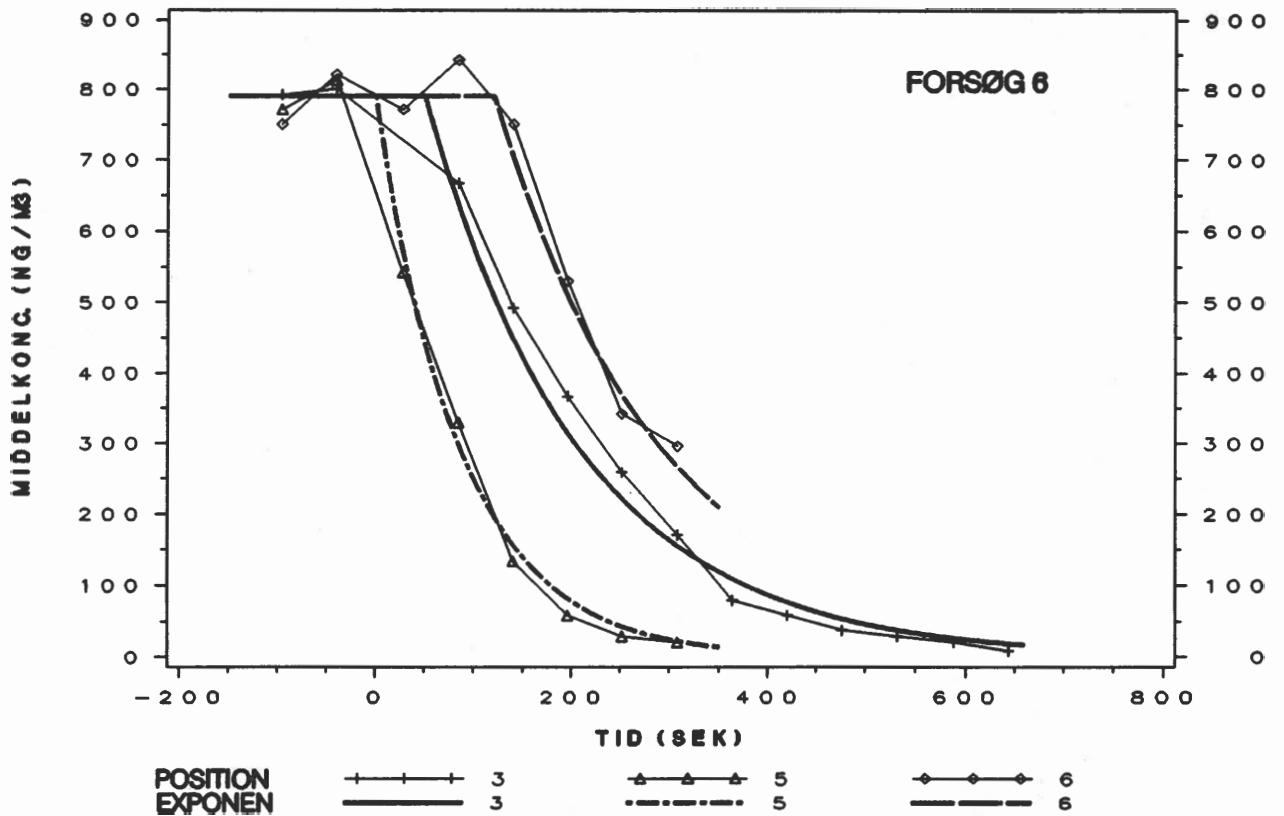
Figur 7



Figur 8



Figur 9



Tabel 6

SPORSTOPKONCENTRATIONSMAlinger MIDLET OVER 56 SEKUNDER

----- DATO=891220 FORSØG=4 VENTILATIONSSTART=15:25:20 POSITION=2 -----

MÅLESTART KONCENTRATION		MÅLESTART	MÅLECENTER	MÅLESLUT
HH MM SS	NG/M3	----- I FORHOLD TIL VENTILATIONS START (SEK) -----		
15:22:56	821	-144	-116	-88
15:23:52	821	-88	-60	-32
15:25:56	375	36	64	92
15:26:52	188	92	120	148
15:27:48	33	148	176	204
15:28:44	33	204	232	260
15:29:40	21	260	288	316

----- DATO=891220 FORSØG=4 VENTILATIONSSTART=15:25:20 POSITION=3 -----

MÅLESTART KONCENTRATION		MÅLESTART	MÅLECENTER	MÅLESLUT
HH MM SS	NG/M3	----- I FORHOLD TIL VENTILATIONS START (SEK) -----		
15:22:56	842	-144	-116	-88
15:23:52	759	-88	-60	-32
15:25:56	759	36	64	92
15:26:52	613	92	120	148
15:27:48	346	148	176	204
15:28:44	321	204	232	260
15:29:40	246	260	288	316
15:30:36	104	316	344	372
15:31:32	79	372	400	428
15:32:28	54	428	456	484
15:33:24	46	484	512	540
15:34:20	29	540	568	596
15:35:16	21	596	624	652

----- DATO=891220 FORSØG=4 VENTILATIONSSTART=15:25:20 POSITION=4 -----

MÅLESTART KONCENTRATION		MÅLESTART	MÅLECENTER	MÅLESLUT
HH MM SS	NG/M3	----- I FORHOLD TIL VENTILATIONS START (SEK) -----		
15:22:56	801	-144	-116	-88
15:23:52	780	-88	-60	-32
15:25:56	738	36	64	92
15:26:52	592	92	120	148

Tabel 7

SPORSTOPKONCENTRATIONS MÅLINGER MIDLET OVER 56 SEKUNDER

----- DATO=891221 FORSØG-5 VENTILATIONSSTART=13:30:00 POSITION=2 -----

MÅLESTART	KONCENTRATION	MÅLESTART	MÅLECENTER	MÅLESLUT
HH MM SS	NG/M3	----- I FORHOLD TIL VENTILATIONS START (SEK) -----		
13:27:00	780	-180	-152	-124
13:27:56	855	-124	-96	-68
13:28:52	717	-68	-40	-12
13:30:00	434	0	28	56
13:30:56	279	56	84	112
13:31:52	133	112	140	168
13:32:48	63	168	196	224
13:33:44	29	224	252	280
13:34:40	17	280	308	336

----- DATO=891221 FORSØG-5 VENTILATIONSSTART=13:30:00 POSITION=3 -----

MÅLESTART	KONCENTRATION	MÅLESTART	MÅLECENTER	MÅLESLUT
HH MM SS	NG/M3	----- I FORHOLD TIL VENTILATIONS START (SEK) -----		
13:27:56	801	-124	-96	-68
13:28:52	759	-68	-40	-12
13:30:00	696	0	28	56
13:30:56	688	56	84	112
13:31:52	567	112	140	168
13:33:44	192	224	252	280
13:34:40	142	280	308	336
13:35:36	104	336	364	392
13:36:32	63	392	420	448
13:37:28	38	448	476	504
13:38:24	29	504	532	560
13:39:20	17	560	588	616
13:40:16	13	616	644	672

----- DATO=891221 FORSØG-5 VENTILATIONSSTART=13:30:00 POSITION=4 -----

MÅLESTART	KONCENTRATION	MÅLESTART	MÅLECENTER	MÅLESLUT
HH MM SS	NG/M3	----- I FORHOLD TIL VENTILATIONS START (SEK) -----		
13:27:00	771	-180	-152	-124
13:27:56	842	-124	-96	-68
13:28:52	842	-68	-40	-12
13:30:56	646	56	84	112
13:31:52	613	112	140	168
13:32:48	463	168	196	224
13:33:44	384	224	252	280
13:34:40	284	280	308	336

Tabel 8

SPORSTOFKONCENTRATIONS MÅLINGER MIDLET OVER 56 SEKUNDER

----- DATO=891221 FORSØG-6 VENTILATIONSSTART=14:30:00 POSITION=3 -----

MÅLESTART	KONCENTRATION	MÅLESTART	MÅLECENTER	MÅLESLUT
HH MM SS	NG/M3	----- I FORHOLD TIL VENTILATIONS START (SEK) -----		
14:27:56	792	-124	-96	-68
14:28:52	801	-68	-40	-12
14:30:56	667	56	84	112
14:31:52	492	112	140	168
14:32:48	367	168	196	224
14:33:44	259	224	252	280
14:34:40	171	280	308	336
14:35:36	79	336	364	392
14:36:32	58	392	420	448
14:37:28	38	448	476	504
14:38:24	29	504	532	560
14:39:20	21	560	588	616
14:40:16	8	616	644	672

----- DATO=891221 FORSØG-6 VENTILATIONSSTART=14:30:00 POSITION=5 -----

MÅLESTART	KONCENTRATION	MÅLESTART	MÅLECENTER	MÅLESLUT
HH MM SS	NG/M3	----- I FORHOLD TIL VENTILATIONS START (SEK) -----		
14:27:56	771	-124	-96	-68
14:28:52	813	-68	-40	-12
14:30:00	542	0	28	56
14:30:56	329	56	84	112
14:31:52	133	112	140	168
14:32:48	58	168	196	224
14:33:44	29	224	252	280
14:34:40	21	280	308	336

----- DATO=891221 FORSØG-6 VENTILATIONSSTART=14:30:00 POSITION=6 -----

MÅLESTART	KONCENTRATION	MÅLESTART	MÅLECENTER	MÅLESLUT
HH MM SS	NG/M3	----- I FORHOLD TIL VENTILATIONS START (SEK) -----		
14:27:56	751	-124	-96	-68
14:28:52	821	-68	-40	-12
14:30:00	771	0	28	56
14:30:56	842	56	84	112
14:31:52	751	112	140	168
14:32:48	530	168	196	224
14:33:44	342	224	252	280
14:34:40	296	280	308	336

i rummet, der er således f.eks. også enkelte målinger taget over typisk målehighøjde, nemlig position 8 og 12 i 250 cm's højde. Endvidere viste det sig, at de 3 brugbare forsøg i indgangsslusen blev udført så ensartet med hensyn til release, opblanding i rummet samt naturlig ventilation, at de kan analyseres sammen (Figur 2). I det andet tidsmæssige interval er målingerne gjort til genstand for en regressionsanalyse. Målepunkterne, der indgår i analysen, er indcirklet med et stort 0. På figurene er vist de regressionslinier der fremkommer. Det ses, at regressionslinierne er en god tilnærmelse til målepunkterne. For forsøg 1-3 samt 4 og 5 udviser regressionslinien et let fald ("naturlig ventilation"), mens linien i forsøg 6 er vandret. Regressionsliniens hældning og værdi til tiden 0 sekunder er givet i Tabel 9.

Det tredje tidsmæssige karakteristiske forløb er efter ventilationsstart, hvor de målte værdier falder efter en eksponentiallignende kurve. Den nærmere analyse af dette forløb vil dog ske på grundlag af de tidsmidlede målinger.

## 5.2 Tidsmidlede koncentrationsmålinger

De tidsmidlede målinger er vist Figur 3, 5, 7 og 9. De målte værdier er her forbundet med rette linier, der imidlertid ikke giver noget godt billede af koncentrationsforløbet omkring ventilationsstart til tiden 0. Endvidere er det forventeligt at fortyndingen efter tiden 0 sker eksponentielt. Derfor er de tidsmidlede målinger blevet tilnærmet med den i figurerne kraftigt optrukne linie og tilhørende eksponentialkurve. Linien er den regressionslinie, som er beskrevet i afsnit 5.1 og eksponentialkurven er bestemt som den der vurderet på figurerne tilnærmer målepunkterne bedst.

Eksponentiel fortynding fra tiden  $t=0$ , hvor koncentrationen er  $c_0$ , kan beregnes af

$$\text{conc}(t) = c_0 \cdot \exp(-\ln 2 \cdot t/k)$$

hvor  $k$  er halveringstiden, som er den tid til hvilken koncentrationen er blevet  $c_0/2$ .

Tabel 9. Hovedparametre for de til målepunkterne tilnærmede linier og exponentialkurver.

Forsøg	Linie		Exponential-kurve			
	før vent. start	hældning	posi- tion	forsin- kelse	konc ved forsин- kelse	halve- rings- tid
	værdi ved 0 sek					
	(ng/m <sup>3</sup> s)	(ng/m <sup>3</sup> )	(sek)	(sek)	(ng/m <sup>3</sup> )	(sek)
1-3	-0.0480	1740	1	0	1740	10
4	-0.0160	810	2	0	810	50
			3	50	809	110
5	-0.0360	780	2	0	780	50
			3	50	778	110
			4	90	777	130
6	0	790	5	0	790	60
			3	50	790	110
			6	120	790	120



I forsøg 1-3 ses det, at fortyndingen starter til tiden 0. Eksponentialkurven passer godt til målingerne, selvom antallet målepunkter er begrænset p.g.a. det hurtige forløb. For denne eksponentialkurve er halveringstiden,  $k$ , 10 sekunder (Tabel 9).

I det store VHA/LHA-rum, forsøg 4-6, går fortyndingen naturligvis væsentligt langsommere. Det skønnes fra målingerne, at eksponentiel fortynding starter fra tiden 0 i positionerne 2 og 5 i henholdsvis supervisorgang og maskegang med halveringstider henholdsvis 50 og 60 sekunder. Disse positioner ligger nærmere ventilationsanlægget end de øvrige målepositioner.

For positionerne 3,4 og 6 er det kun muligt at tilnærme målepunkterne med en eksponentialkurve ved at indbygge en tid efter tiden 0 (kaldt "forsinkelse"), hvori fortynding stadig forgår efter regressionslinien. Det bemærkes, at forsinkelse og halveringstid stiger med afstanden til ventilationsanlægget, tabel 9. Det skønnes at usikkerheden på disse hovedparametre er  $\pm 10-15\%$ . Forsøgene 4 og 5, der har de samme målepositioner, er ens med hensyn til de estimerede hovedparametre. Da yderligere position 3, der ligger midt i udrustningsrummet, også anvendtes i forsøg 6 og giver samme hovedparametre, må position 3's parametre for forsinkelse og halveringstid henholdsvis 50 og 110 sekunder siges at være godt bestemt. I forsøg 4 svigtede en målestation så forløbet af eksponentialkurven ikke kunne bestemmes.

Fra forsøg 6 kan det af resultaterne fremdrages, at i renserum, position 6, som er målepositionen længst fra ventilationsanlægget, starter fortyndingen først effektivt 2 minutter efter ventilationsstart og at koncentrationen på dette tidspunkt bliver halveret efter yderligere 2 minutter (Tabel 9).

## 6. ENGLISH SUMMARY

In order to measure the ability of a ventilation system installed in a full-scale building test facility (project CCA MOCK-UP) to dilute contaminants, tracer concentration measurements were carried out. The tracer (sulphur hexafluoride) was released into the room under consideration before the ventilation was started. The tracer was mixed and tracer measurements were performed to secure a uniform and stable concentration distribution throughout the room. After that, the ventilator was started and the decreasing tracer concentration measured. The tracer concentration measurements were performed both as instantaneous values ("øjebliksværdier") and as 56 second time-averages ("middelværdier").

The test facility is shown in Figure 1. Concentration measurements were carried out in positions numbered 1-13, tracer was released either in position 14 or 15. In positions 16-18 in-room ventilation was carried out in order to get the tracer mixed. Tabel 1 shows the height and the horizontal distances of these positions.

In the room called "indgangsslusen" (Figure 1) experiments 0-3 were carried out. The instantaneous concentration measurements are shown in Tabel 3 and Figure 2. The time-averaged measurements are shown in Tabel 4 and Figure 3. In experiment number 0 no time-averaged measurements were performed since the concentration prior to ventilation start could not be kept sufficient constant. The time parameter ("tid") used to plot the data has been set to zero at the starting time of the ventilator. In plots of the time-averaged concentration measurements the time has been chosen to the middle of the averaging time (=28 sec.) ("målecenter"). In experiments number 1-3 the concentration levels and the shape of concentration curves are from experiment to experiment so well reproduced that these experiments can be shown in the same plots (Figur 2 and 3) and concentrations fitted to the same line and curve.

The VHA/LHA-room consists of "Railgang, supervisorgang, maskegang, udrustningsrum" and "renserum" (Figure 1). In this room experiments 4-6 were carried out. The instantaneous concentration measurements are shown in Tabel 5 and Figure 4, 6 and 8. The time-averaged measurements in Tabel 6 and Figure 5, 7 and 9.

From the instantaneous concentration measurements performed during all experiments, three characteristic time intervals are recognized. The first time interval shows a rather varying concentration because a uniform and well mixed tracer distribution throughout the room has not been obtained. The second time interval goes to the time of ventilation start. Here the concentration is constant or slightly decreasing due to "natural" ventilation. It is noted that the concentrations measured in this interval are of the same size independent of the measuring position. This shows that the tracer is well mixed. The third time interval is from ventilationstart where an exponential looking decrease in concentration is observed.

In experiments 4-6 the time-averaged concentration measurements were performed in three positions in each experiment. Position number 3 is used in all experiments, 3 and 4 in experiment 4 and 5, and 5 and 6 in experiment 6 (Tabel 2). The concentration decrease after start of ventilation is for each position exponential, but the experimental decrease seems to start after some delay. This delay increases with distance from the ventilator, eg. and increase in delay from position 2 to 3 to 4.

In all plots presented above some lines and exponential curves are fitted to the concentration measurements. Tabel 9 shows the main parameters of these lines and curves. The down slope ("hældning") of the line before ventilation start is given in the table together with the value of the concentration given by the line at the time the ventilation started (time 0 second). The parameters of the exponential decrease are the delay ("forsinkelsen"), the concentration at the end of the delay and the half-life ("halveringstid"), which is the time from the end of the delay until concentration decreased to one half of its value at the end of

the delay. As an example it can for instance be seen that in experiment 6, position 6, the tracer concentration stayed unaffected by ventilation for 120 seconds after ventilation start, and the concentration was then reduced to half of its value after another 120 seconds.

## 7. REFERENCER

- HÆRENS INGENIØR- OG ABC-SKOLE (1989). PROJEKT CCA MOCK-UP. Rapport vedrørende forsøg med indretning m.v. af CCA.
- LYCK, E. (1979). Eksperimentel metode til undersøgelse af luftforureningers spredning. Stads- og havneingeniøren, 12.
- LYCK, E. AND RØRDAM OLESEN, H. (1986). The Øresund Experiment. A Nordic Mesoscale Dispersion Experiment. SF<sub>6</sub>-tracer measurements performed by the Air Pollution Laboratory. MST LUFT-A109.