



LUND UNIVERSITY

Risker för brand och explosion efter vätskespill i dragskåp

Holmstedt, Göran; Ondrus, Ivan

1991

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Holmstedt, G., & Ondrus, I. (1991). *Risker för brand och explosion efter vätskespill i dragskåp*. (LUTVDG/TVBB--3054--SE; Vol. 3054). Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University.

Total number of authors:

2

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

LUND UNIVERSITY . SWEDEN
INSTITUTE OF TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF FIRE SAFETY ENGINEERING
CODEN: SE-LUTVDG/TVBB-3054
ISSN 0284-933X

GÖRAN HOLMSTEDT och IVAN ONDRUS

RISKER FÖR BRAND OCH
EXPLOSION EFTER VÄTSKESPILL
I DRAGSKÅP

Lund, februari 1991

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sid
SAMMANFATTNING	2
SUMMARY	4
1 INLEDNING	6
2 FÖRÅNGNING AV VÄTSKESPILL OCH FÖRDELNING AV BRÄNNBAR ÅNGA I DRAGSKÅP	7
2.1 Förångning av vätskespill	8
2.2 Fördelning av brännbar ånga i dragskåp	9
2.3 Bedömning av de ventilationsflöden som behövs för att ångkoncentrationen inte skall överskrida 25% av den undre brännbarhetsgränsen	10
3 BRAND OCH EXPLOSIONSFÖRSÖK	12
3.1 Sprinklerförsök	12
3.2 Explosionsförsök	13
4 REFERENSER	14
Bilaga 1 Tabeller	15
Bilaga 2 Figurer	17
Bilaga 3 Kalibrering av gasdetektorer	29
Bilaga 4 Brandförsök i dragskåp	31

SAMMANFATTNING

Utöver resultaten redovisade nedan finns en redigerad videoupptagning av brand- och explosionsförsöken.

Explosionsrisk

Försöken med förångning från vätskespill av aceton, dietyleter, etanol och metyletylketon och fördelning av brännbara ångor i dragskåp utförda med en inloppshastighet av ca 0.5 m/s visade att:

- mängden förångad vätska efter spill av vätskor vid olika initialtemperatur kan förutsägas med god noggrannhet med befintliga dataprogram
- vid ett spill stannar den tunga ångan kvar i den nedre delen av dragskåpet (≤ 10 cm) och sugts nästan fullständigt ut genom den nedre luftspalten i dragskåpet
- vätskespill, som sprider sig över stora delar av dragskåpets bottenyta, ger upphov till så höga lokala gaskoncentrationer att 25% av den undre brännbarhetsgränsen överskrids i den smala luftspalten i dragskåpets baksida samt i ventilationskanalen omedelbart efter dragskåpet även vid mycket stor ventilation
- genom att minska den yta spillet upptar, speciellt i djupled, kan de lokala gaskoncentrationerna avsevärt reduceras
- inne i dragskåpet föreligger ingen risk för gaskoncentrationer av tunga gaser som överstiger 25% av den undre brännbarhetsgränsen på höjder över 10–20 cm från dragskåpets bottenyta.

Brand och släckning

Försök med brand i dragskåp efter spill av aceton, etanol och heptan i dragskåpet visade att:

- det undersökta dragskåpet har ett gott brandmotstånd och klarar några minuters brand i vätskespill
- en brand i ett vätskespill blir nästan omedelbart ventilationskontrollerad

- vid stor ventilation sugs nästan alla lågor ut genom den nedre spalten i dragskåpets underkant
- om branden tillåts fortgå någon minut med stor ventilation erhålls avsevärda skador på ventilationssystemet
- stängd ventilation ger det långsammaste brandförloppet
- värmedetektorer (grade 2 och 3 med utlösningstemperaturer 58–60°C), placerade på dragskåpets bakre vertikala vägg ca 1 m från bottenplattan, utlöste vid samtliga försök inom 10 s från brandens start
- samma värmedetektorer, placerade i ventilationskanalen 2 m från dragskåpet utlöste inom 20 s när ventilationen var 100 m³/h per löpmeter samt inom några få sekunder när ventilationen var 600 m³/h per löpmeter
- vattensprinkling (sprinklern monterad i dragskåpets tak) med 10–20 l/m² per minut är ett dåligt släckmedelsalternativ. Vid sprinkling fortgår branden ofta en minut efter det att sprinklern utlösts. Det föreligger även risk att branden p.g.a. sprinklingen sprids från dragskåpet till golvet utanför dragskåpet
- koldioxid påförd med handbrandsläckare vid dragskåpsluckans nedre del släcker branden inom några få sekunder. Den använda koldioxidmängden för släckning var mindre än ett kilo.

Explosionsförsök

Två explosionsförsök med ett dragskåp visade att:

- dragskåpet klarar en explosion efter en fördröjd antändning av ett spill av 1 liter dietyleter utan att glaset i dragskåpsluckan spricker
- tryckavlastningen sker dels snett nedåt genom dragskåpsluckans öppning (5 cm) och dels uppåt genom den lucka (0.64 x 0.2 m) som finns för ljusintag i dragskåpets tak. Luckan var vid försöken täckt med en 10 mm tjock aluminiumplåt som lagts fritt över intaget.

SUMMARY

In addition to the results presented below there is a revised videofilm of fire and explosion experiments.

Risk for explosions

Experiments with vaporizing of liquid spillage of acetone, diethyl ether, ethanol and methyl ethyl ketone and distribution of combustible vapour in a fume-cupboard performed with an entrance velocity of ca 0.5 m/s proved that:

- the amount of vaporized liquid after liquid spillage at different initial temperatures can be predicted with good precision by available computer programs
- during spillage the heavy vapour remains in the lower part of the fume-cupboard (≤ 10 cm) and is sucked out almost completely through the lower air gap in the fume-cupboard
- the liquid spillage which spreads over most of the surface of the fume-cupboard's bottom gives rise to such a high local concentration of gas that 25 % of the lower flammability limit is exceeded in the smaller air gap in the back of the fume-cupboard as well as in the ventilation channel directly behind the fume-cupboard, even with very large ventilation flow
- by decreasing the surface of the spillage, especially in depth, the local concentration of gas can reduce considerably
- inside the fume-cupboard there is no risk for concentration of heavy gases which exceed 25 % of the lower limit of flammability on the heights above 10–20 cm from the bottom surface of the fume-cupboard

Fire and extinction

Fire experiments in the fume-cupboards after spillage of acetone, ethanol and heptane in the fume-cupboard proved that:

- the inspected fume-cupboard has good fire resistance and is able to stand several minutes of fire in liquid spillage
- a fire in a liquid spillage will be almost immediately controlled by ventilation flow

- in a large ventilation flow most of the flames are sucked out through the lower gap in the bottom of the fume-cupboard
- if the fire continues for some minutes with a large ventilation flow the ventilation system will be seriously damaged
- closed ventilation flow gives the slowest fire development
- heat detectors (grade 2 and 3 with activating temperature $58^{\circ} - 60^{\circ} \text{ C}$) placed on the vertical back wall of the fume-cupboard ca 1 m from the bottom fire activated within 10 s after the start of fire in all of the experiments
- the same heat detectors, when placed in ventilation channel 2 m from the fume-cupboard, activated within 20 s when ventilation flow level was 100 m³/h per running meter and within a few seconds when ventilation level was 600 m³/h per running meter
- water sprinkling (the sprinkler mounted on the roof of the fume-cupboard) with 10–20 l/m² per minute is a poor suppression alternative. During sprinkling, in most of the cases the fire continues for one minute after the sprinkler had been activated. There is even risk that, because of the sprinkling, the fire will spread from the fume-cupboard on to the floor outside the fume-cupboard
- carbon dioxide supplied by portable fire extinguisher at the lower part of the fume-cupboard's opening extinguishes the fire within few seconds only. The amount of carbon dioxide which was used for fire extinction was less than one kilogram

Explosion experiments

Two explosion experiments with the fume-cupboard showed that:

- the fume-cupboard is able to stand an explosion after a delayed ignition of a spillage of 1 liter diethyl ether without cracking of glass in the opening of the fume-cupboard
- the release of pressure takes place partly at a downward angle through the opening of the fume-cupboard (5 cm) and partly upwards through the opening for light (0.64 x 0.2 m) in the roof of the fume-cupboard. During the experiments the opening was covered with a 10 mm thick aluminium sheet, which was laid, unattached, over the opening for light

1 INLEDNING

Användningen av dragskåp vid kemikaliehantering har under de senare åren ökat påtagligt. Tidigare, då man ofta arbetade med kemikalier ute i rummen, var behovet ca 1 dragskåp per tre personer. Arbetsmiljöskalet har nu medfört att kemikaliehanteringen ute i rummen delvis försvunnit och som en konsekvens har dragskåpsbehovet ökat till 4–5 dragskåp per person.

Miljömässiga skäl kräver en inloppshastighet vid dragskåpsluckan på ca 0.5 m/s. Detta medför att luftflödet genom dragskåpet varierar med hur mycket dragskåpsluckan är öppen, från ca 100 m³/h och löpmeter då luckan nästan är stängd (5 cm spalt) till 1080 m³/h och löpmeter då luckan är helt öppen.

Vid hantering av brandfarlig vätska i dragskåp kan explosionsskyddad elutrustning erfordras. Detta är ej praktiskt då en mängd försöksutrustningar som ej är explosionsskyddade vanligen placeras i dragskåpet. Alternativt accepterar Sprängämnesinspektionen vanlig elutrustning om ventilationsflödet är minst 500 m³/h per löpmeter. Med en sådan dimensionering blir ventilationskostnaderna orealistiska om man vill ha många dragskåp i ett rum.

Även andra brandskyddsaspekter är dåligt anpassade för dragskåp. Elektriska reglage och kontakter t ex sitter ofta under dragskåpsluckan och kan bidra som antändningskälla; vid vätskespill inne i dragskåpet kan vätskan rinna ut genom luckan och därigenom sprida branden; vid sprinkling medför RUS-reglerna att sprinklern tillför dragskåpet 2 ggr mer vatten än avloppet kan svälja, dvs en brinnande vätska kan av sprinklervattnet föras ut i rummet via dragskåpsluckan.

Sammanfattning: Olika arbetsmiljö-, brand-, explosions- och släckkrav på dragskåp är dåligt samordnade och har i vissa fall motsatt verkan. En ordentlig genomgång experimentell såväl som teoretisk behövs för att tillgodose brandtekniska krav på dragskåp vid hantering av brandfarlig vätska.

Mot denna bakgrund har nedanstående försöksserie utförts för att ge svar på följande frågeställningar:

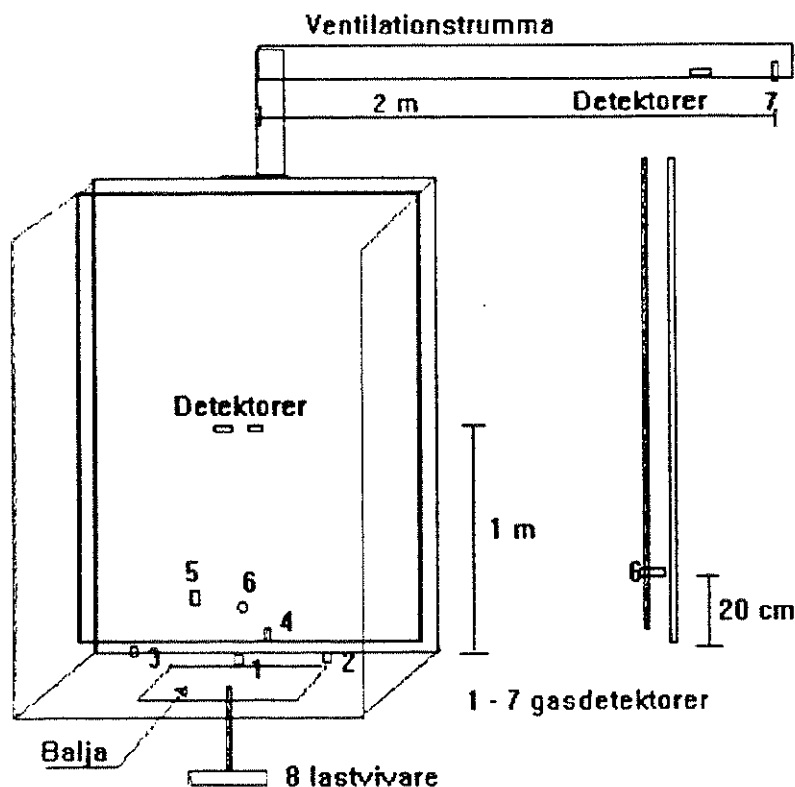
- vilket luftflöde behövs för att klara de brandtekniska kraven vid hantering av brandfarlig vätska i dragskåp

- hur påverkar ett vätskespill inne i dragskåpet risken för brandspridning ut i rummet
- brandspridning ut i rummet och via ventilationskanaler
- verkan av brandsläckningsutrustning – sprinkler.

Projektet har bekostats gemensamt av BRANDFORSK, Läkemedelsindustrin och Dragskåpsfabrikanter. En mycket aktiv referensgrupp har följt projektet. Speciellt tack riktas till dess ordförande, Krister Källberg från Sprängämnesinspektionen och dess sekreterare Kent Loremark från Astra Pharm AB. Ett stort tack riktas till LABRUM AB som bidrog med dragskåp och Consilium Systems AB som bidrog med gasmättningsutrustning och värmedetektorer.

2 FÖRÅNGNING AV VÄTSKESPILL OCH FÖRDELNING AV BRÄNNBAR ÅNGA I DRAGSKÅP

Vid försöken hälldes ca 1 l vätska aceton, dietyler, etanol resp metyletylketon (MEK) av olika temperatur ut i en rektangulär balja som hade en bottenyta av 0.4 x 0.6 m



Figur 1 Försökuppställning

och var 6 mm djup. Baljan, placerad i centrum av ett dragskåp, var via ett hål i dragskåpet placerad på en lastgivare. Inne i dragskåpet var sex gasdetektorer av fabrikat Figaro TGS samt två värmedetektorer (en grade 2 med utlösningstemperatur 58°C, en grade 3 med utlösningstemperatur 60°C) monterade enligt Fig 1. I ventilationskanalen 2 m från dragskåpet var en gasdetektor och två värmedetektorer (en grade 2 och en grade 3) monterade enligt Fig 1. Ventilationen i dragskåpet reglerades med två spjäll och uppmättes vid mitten av lucköppningen med ett pitotrör (ref 1) kopplad till en Furness mikromanometer (mätområde 0–1 Pa). Lastgivaren kalibrerades med 5 olika vikter för området 0–1 kg och gasdetektorerna enligt metod beskriven i Bilaga 3. Gasdetektorerna och lastgivaren var kopplad till en datalogg som mätte utsignalerna en gång varannan sekund.

2.1 Förångning av vätskespill

Förångningen från den 0.24 m² stora vätskeytan finns redovisad i Fig 1–12 i Bilaga 2 för de fyra olika vätskorna vid olika initialtemperaturer. Som väntat var förångningen störst omedelbart efter spillet och avtog med tiden på grund av att vätskan kyldes av förångningen. I Tabell 1 i Bilaga 1 redovisas medelvärdet av viktminskningen under de två första minuterna efter spillet. Dragskåpsluckans öppning varierades vid försöken från 5 cm upp till 30 cm. Lufthastigheten i centrum av öppningen var vid samtliga försök reglerad till 0.5 m/s. I Tabell 1 redovisas även två teoretiska beräkningar av förångningen, dels enligt ASS:s undersökningsrapport 1982:14 (Ref 2) och dels enligt Chems-Plus (Ref 3).

Vid de teoretiska beräkningarna antogs lufthastigheten vara 0.5 m/s. I dragskåpet fördelar sig luftflödet enligt utförda mätningar: ca 2/3 av inflödet sögs ut i nedkanten av dragskåpet och ca 1/3 i överkanten. Detta medförde att vindhastigheten över vätskeytan var ca 0.5 m/s då luckan var öppen 5 cm. När luckan öppnades mer ökade vindhastigheten över vätskeytan. Den blev dock ojämnt fördelad, lägre vid dragskåpets framkant än vid dess bakkant.

Som framgår av Tabell 1 i Bilaga 1 är överensstämmelsen mellan den beräknade förångningen enligt Chems-Plus och den uppmätta mycket god för alla undersökta vätskor och vätsketemperaturer. Beräkningarna enligt metod från ASS:s rapporten gav vid rumstemperatur avsevärt för låga och nära vätskornas kokpunkt avsevärt för höga förångningshastigheter jämfört med de uppmätta.

Sammanfattning:

- vid en riskbedömning ger en beräkning med metod enligt Chems-Plus en god uppskattning av den per tids- och ytenhet förångade vätskemängden.

2.2 Fördelning av brännbar ånga i dragskåp

Den uppmätta koncentrationen av ånga i de sju olika mätpunkterna finns redovisade i Fig 1–12 i Bilaga 2. Genom att jämföra den uppmätta koncentrationen omedelbart bakom, mätpunkt 1, med koncentrationen vid sidan om, mätpunkt 3, och ovanför spillet, mätpunkt 5, framgår att:

- det sker ingen nämnvärd spridning av ångan i sidled
- det sker ingen nämnvärd spridning av ångan upp i dragskåpet.

För att kontrollera den uppmätta ångfördelningen i dragskåpet gjordes för två mätpunkter jämförelse med beräkningar.

I Tabell 2 i Bilaga 1 jämförs den uppmätta ångkoncentrationen i ventilationskanalen 2 m från dragskåpet, mätpunkt 7, med en beräknad koncentration som utgår från att gaserna i ventilationskanalen är fullständigt blandade. Den beräknade koncentrationen erhålls enligt:

$$g/m^3 = \dot{g} \cdot A/\dot{V} \text{ där}$$

\dot{g} = den uppmätta förångningshastigheten ($g/m^2 \cdot s$)

A = baljans yta (m^2)

\dot{V} = det totala ventilationsflödet = $0.5 \cdot B \cdot H$ (m^3/s)

B = dragskåpets bredd (m)

H = dragskåpsluckans öppningshöjd (m)

Som framgår av Tabell 2 är överensstämmelsen mellan den uppmätta koncentrationen och den beräknade god. Den uppmätta är i medeltal ca 13% högre än den beräknade vilket är acceptabelt med hänsyn tagen dels till att ventilationsberäkningen utgår från att luftflödet är 0.5 m över hela lucköppningen (en överskattning) och dels till gasdetektorernas noggrannhet.

I Tabell 3 i Bilaga 1 jämföres den uppmätta ångkoncentrationen i det smala utrymmet i dragskåpets bakkant, mätpunkt 6, med en beräknad koncentration som utgår från att det inte sker någon spridning i höjddled eller sidled av ångan i dragskåpet samt att 2/3 av ventilationsflödet sugas ut i dragskåpets nederkant enligt

$$g/m^3 = \dot{g} \cdot A / (\dot{V} \cdot 2/3 \cdot C/B) \text{ där}$$

\dot{g} = den uppmätta förångningshastigheten ($g/m^2 \cdot s$)

A = baljans yta

\dot{V} = det totala ventilationsflödet = $0.5 \cdot B \cdot H$ (m^3/s)

B = dragskåpets bredd (m)

H = dragskåpsluckans öppningshöjd

C = baljans bredd

Som framgår av Tabell 3 är överensstämmelsen mellan den uppmätta koncentrationen och den beräknade även i detta fall god.

Sammanfattning:

- de tunga ångorna sprids varken i sidled eller höjddled
- högsta gaskoncentrationer uppträder omedelbart ovanför vätskeytan samt i det smala utrymmet i dragskåpets bakkant
- med utgångspunkt från spilllets storlek och dragskåpets ventilation kan medelkoncentrationen av ånga beräknas med god noggrannhet.

2.3 Bedömning av de ventilationsflöden som behövs för att ångkoncentrationen inte skall överskrida 25% av den undre brännbarhetsgränsen

Vid beräkningarna nedan har utgångspunkterna varit:

- vätskespill på 2 l vid olika temperaturer
- dragskåpets djup = 0.8 m
- vätskespillat täcker hela dragskåpets bottenyta
- vindhastigheten över vätskespillat är ca 0.5 m/s

Vid dessa förhållande krävs följande totala ventilationsflöden för att 25% av den undre brännbarhetsgränsen inte skall överskridas dels i det smala utrymmet i dragskåpets

bakkant och dels i ventilationskanalen efter dragskåpet enligt Tabell 4 och 5.

Tabell 4 Totalt ventilationsflöde (m³/h per meter) för att 25% av LEL ej skall överskridas i det smala utrymmet i dragskåpets bakkant.

Vätska	Vätsketemperatur °C					
	20	30	40	50	60	70
acetone	330	410	500	590		
dietyleter	1200	1450				
etanol	65	85	110	140	175	210
MEK	175	225	275	325	385	450

Tabell 5 Totalt ventilationsflöde (m³/h per meter) för att 25% av LEL ej skall överskridas i ventilationskanalen efter dragskåpet

Vätska	Vätsketemperatur °C					
	20	30	40	50	60	70
acetone	220	275	335	395		
dietyleter	800	970				
etanol	45	60	75	95	115	140
MEK	115	150	185	215	260	300

Som framgår av Tabell 4 och 5 krävs för att nå under 25% av LEL vid ett större vätskespill mycket stora ventilationsflöden. I många fall krävs ventilationsflöden över 100 m³/h per meter för att 100% av LEL ej skall överskridas, i extrem fallet, dietyleter, 365 m³/h per meter.

Ovanstående beräkningar avser tunga ångor från vätskespill. Vid läckage av lätta gaser som vätgas t ex kommer troligtvis spridningsbilden att se helt annorlunda ut. Då förväntas det att en större mängd av den brännbara gasen stiger till dragskåpets övre delar. En överslagsberäkning, som antar att vätgasen blandas homogent med ventilationsluften, visar att 25% av LEL (4 vol%) ej överskrids i ventilationskanalen vid följande kombinationer av ventilation och läckage:

Ventilation m ³ /h per löp- meter	Läckage m ³ /h per meter	Motsvarande brännareffekt (brännare som slocknar)
100	1	3 kW
500	5	15 kW

3 BRAND- OCH EXPLOSIONSFÖRSÖK

3.1 Sprinklerförsök

Vid försöken hölls ca 1 l av en vätska ut i en rektangulär balja som hade en yta av 0.24 m² och var placerad mitt i dragskåpet. Dragskåpets konstruktion redovisas i Bilaga 4. Vid de åtta släckförsöken varierades vätskan, sprinklerflödet och ventilationen. Resultaten finns redovisade i Bilaga 4 samt genom en videoupptagning. Vid försöken mättes tid till detektion, tid då sprinklern utlöstes manuellt samt tid till släckning.

Som framgår av försöksresultaten i Bilaga 4 och på video blir branden mycket snart ventilationskontrollerad. En fritt brinnande vätskepöl avger en effekt i storleksordning 1–2.5 MW/m². Denna förbränning kräver tillgång till luftflöden avsevärt större än 1500–3700 m³/h per m² brandyta. I ett dragskåp begränsas luftflödet till ca 100–600 m³/h per löpmeter. Om man antar att allt syre i luften förbränns motsvarar detta en effektutveckling på 100–600 kW (vid förbränning av 1 g O₂ erhålles 13.1 kJ nästan oberoende av vilket organiskt material som förbränns).

Resultaten för släckning och detektion blev:

- det undersökta dragskåpet hade ett gott brandmotstånd och klarade några minuters brand i vätskespill utan att branden spreds ut i det omgivande rummet
- en brand i ett vätskespill blir nästan omedelbart ventilationskontrollerad, dvs ventilationsmängden styr brandens effektutveckling
- vid stor ventilation (600 m³/h per löpmeter) suges nästan alla lågor ut genom den nedre spalten i dragskåpets underkant
- om branden tillåts fortgå någon minut med stor ventilation erhålls p.g.a. den stora effektutvecklingen, upp till 0.6 MW, avsevärda skador på ventilationssystemet. Aluminium i ventilationskanalen 2 m från dragskåpet förbrändes fullständigt
- stängd ventilation gav ett långsamt brandförlopp

- värmedetektorer (grade 2 och 3 med utlösningstemperatur 58 resp 60° C), placerade på dragskåpets bakre vertikala vägg ca 1 m från bottenplattan, utlöste vid samtliga försök inom 10 s från brandens start
- samma värmedetektorer, placerade i ventilationskanalen 2 m från dragskåpet utlöste inom 20 s när ventilationen var 100 m³/h per löpmeter samt inom några få sekunder när ventilationen var 600 m³/h per löpmeter
- vattensprinkling (sprinklern monterad i dragskåpets tak och manuellt utlöst ca 20 s efter brandens start) med 10–20 l/m² per minut var ett dåligt släckmedelsalternativ. Vid sprinkling fortgick branden ofta en minut efter det att sprinklern utlösts. Det förelåg även risk för att branden p.g.a. sprinklingen spreds från dragskåpet till golvet. (I ett försök droppade brinnande vätska ut från dragskåpet.)
- koldioxid påförd med handbrandsläckare vid dragskåpsluckans nedre del släcker branden inom några få sekunder. Den använda koldioxidmängden för släckning var mindre än ett kilo
- mycket talar för att en kombination av åtgärder som stänger ventilationen och utlöser en mindre koldioxidsläckare kan ge ett bra släckresultat.

3.2 Explosionsförsök

Vid försöken hälldes ca 1 l dietyler ut i dragskåpet och antändningen skedde fördröjd två min med hjälp av en elektrisk gnista på 15 cm höjd från dragskåpets botten. Försöken registrerades med video. Av försöksresultaten framgår att ljusluckan i dragskåpets topp fungerade som en explosionavlastning och skyddade glaset i dragskåpsluckan från att gå sönder. Ljusluckan (0.64 x 0.2 m) var vid försöken täckt med en 1 cm aluminiumplåt. Tycket avlastades dels snett nedåt genom dragskåpets lucköppning (5 cm) och dels uppåt genom ljusluckan efter det att aluminiumplåten (vikt 30 kg/m²) trycks bort.

4 REFERENSER

- [1] McCaffrey, B.J. and Heskestad, G., A robust bidirectional low-velocity probe for flame and fire application. *Combustion and Flame* 22, 125-127 (1976)
- [2] ASS:s undersökningsrapport 1982:14, Beräkningssamband för luft och luftföroreningar, Lars Olander, sid 7.8
- [3] Chems-Plus, Version 1.0, July 1988, Arthur D. Little, Inc, 25 Acorn Park, Cambridge, Massachusetts 02140, (Model developed by the U.S. Air Force Engineering and Services Laboratory)

Bilaga 1. TabellerTabell 1 Beräknad och uppmätt förångningshastighet, $\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{s}$, vid olika temperaturer för aceton, dietyleter, etanol och MEK, $v = 0.5 \text{ m/s}$ aceton, kokpunkt 56°C

Temp $^\circ\text{C}$	Beräknad $\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ med		Uppmätt $\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ vid olika lucköppningar			
	ASS:s rapport	Chemsplus	5 cm	10 cm	20 cm	30 cm
20	0.61	1.15	1.3	1.8	2.1	
25	0.75	1.28				
30	0.91	1.42				
35	1.1	1.57				
40	1.3	1.73	1.7			
45	1.6	1.88				
50	1.9	2.05				
55	2.2	2.21				

dietyleter, kokpunkt 34.6°C

20	—	3.5	3.1	3.5	4.2	4.7
25	—	3.9				
30	—	4.2				

etanol, kokpunkt 78.5°C

20	0.12	0.22				
25	0.16	0.25				
30	0.21	0.29				
35	0.26	0.33				
40	0.33	0.38				
45	0.42	0.43				
50	0.52	0.48				
55	0.65	0.54				
60	0.80	0.60	0.58			
65	0.98	0.66				
70	1.19	0.72	0.70			
75	1.44	0.80				

MEK, kokpunkt 79.6° C

20	0.36	0.58	0.69
25	0.45	0.66	
30	0.55	0.74	
35	0.68	0.82	
40	0.82	0.91	
45	1.00	1.00	
50	1.20	1.09	
55	1.43	1.19	
60	1.70	1.29	1.27
65	2.0	1.39	
70	2.4	1.49	
75	2.8	1.55	

Tabell 2 Jämförelse mellan beräknad och uppmätt gaskoncentration, g/m³, i ventilationsröret

Vätska	temp° C	lucköppning							
		5 cm		10 cm		20 cm		30 cm	
		ber.	uppm.	ber.	uppm.	ber.	uppm.	ber.	uppm.
acetone	20	11.0	15.4	7.6	8.4				
acetone	40	14.4	18.2						
dietyleter	20	26.3	27.9	14.9	17.1	8.9	9.1	6.7	6.3
etanol	60	4.9	5.6						
etanol	70	5.9	8.4						
MEK	20	5.9	6.8						
MEK	60	10.8	13.6						

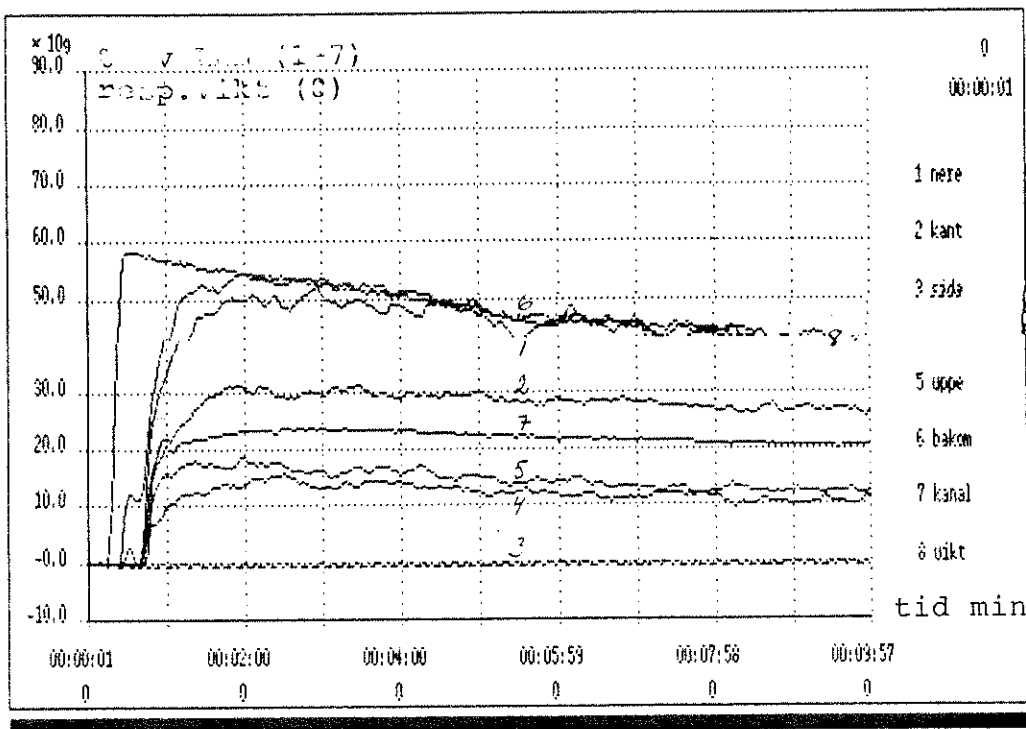
Tabell 3 Jämförelse mellan beräknad och uppmätt gaskoncentration, g/m³, i luftspalten bakpå dragskåpet

vätska	temp° C	lucköppning							
		5 cm		10 cm		20 cm		30 cm	
		ber.	uppm.	ber.	uppm.	ber.	uppm.	ber.	uppm.
acetone	20	31	38	21.5	23.1	12.5	12.6		
acetone	40	41	43						
dietyleter	20	74	60*	41.7	45.6	25.1	34	18.7	25.6
etanol	60	13.9	12.6						
etanol	70	16.7	14.0						
MEK	20	16.5	18.6						
MEK	60	31	31						

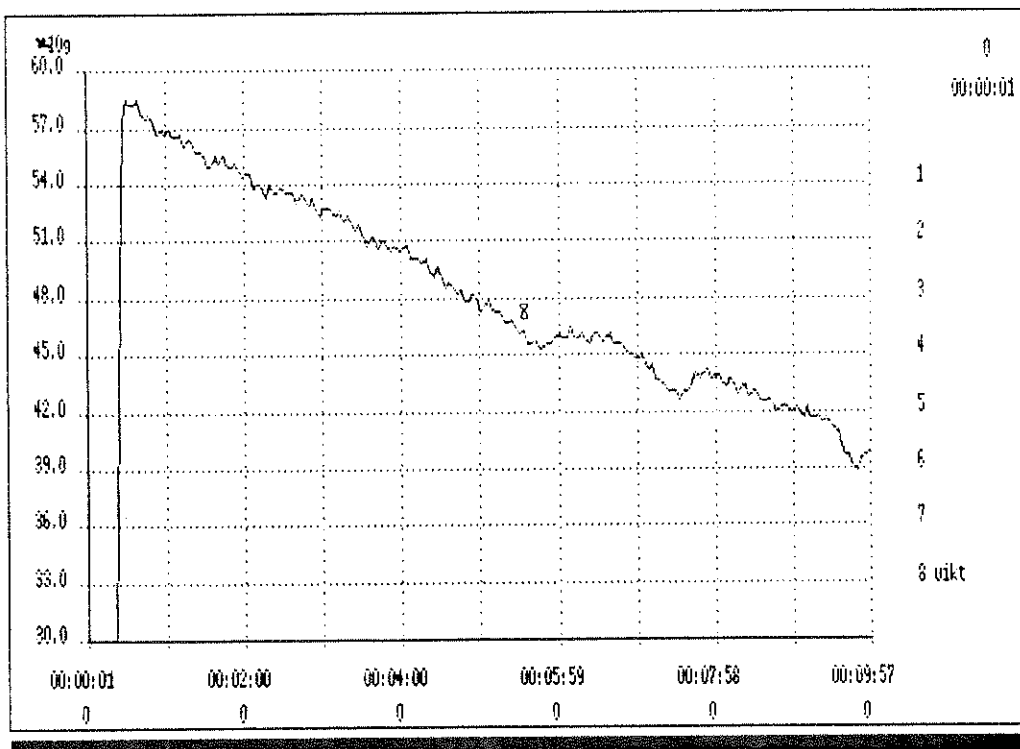
* detta mätvärde, 105% av LEL är utanför det kalibrerade området.

Bilaga 2. Figurer

Figur 1 Aceton, 20°C vätsketemperatur, luckak öppnad 5 cm, vindhastighet i luckan 0.5 m/s

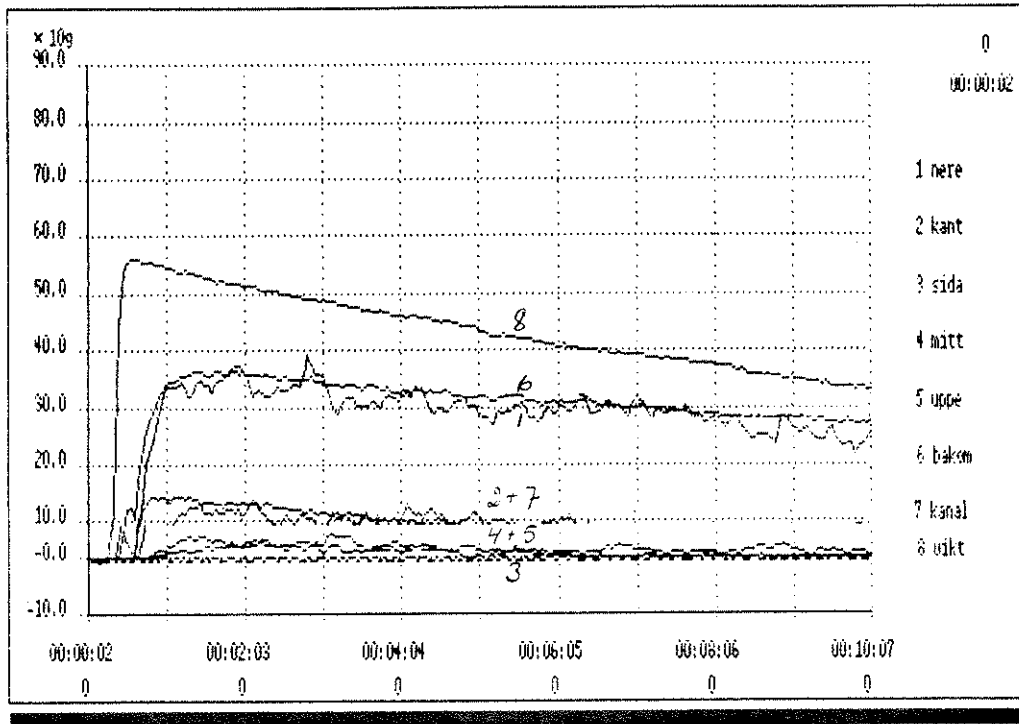


1 a) Koncentration och viktskurvor

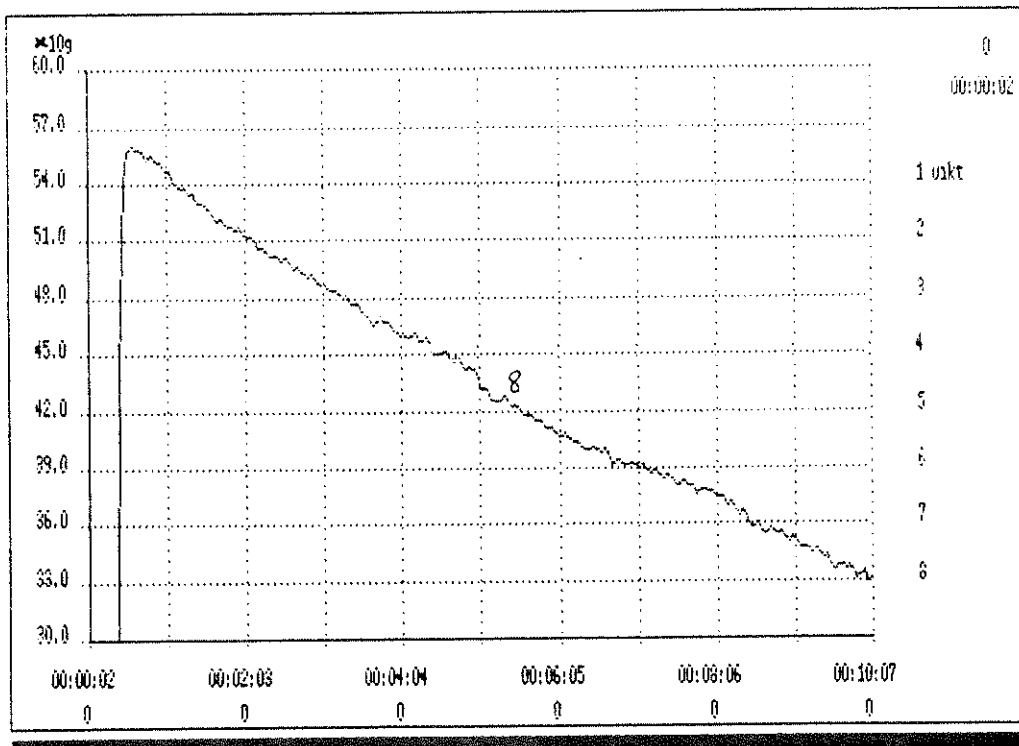


1 b) Förstorad viktskurva

Figur 2 Aceton, 20°C vätsketemperatur, lucka öppnad 10 cm, vindhastighet i luckan 0.5 m/s

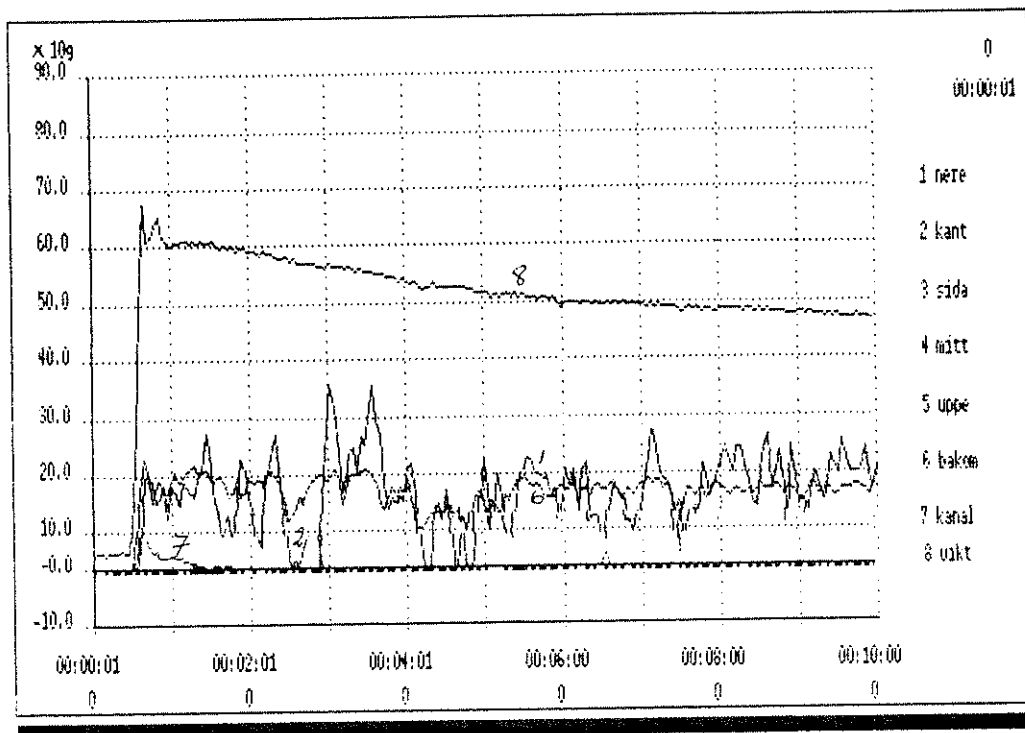


2 a) Koncentration och viktskurvor

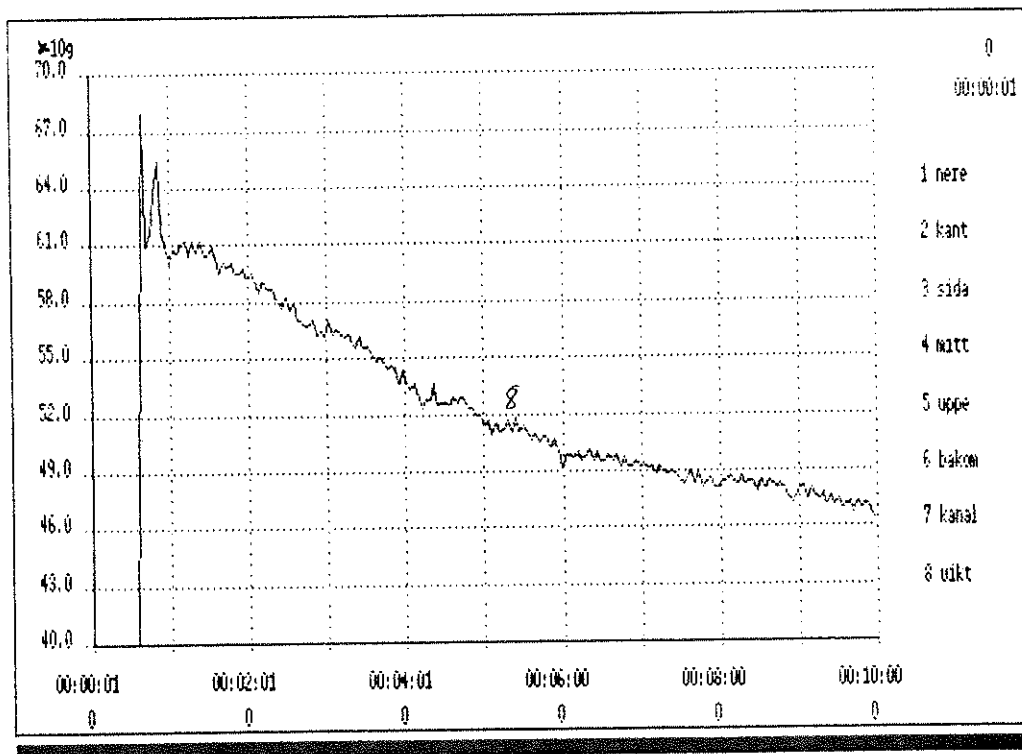


2 b) Förstorad viktskurva

Figur 3 Aceton, 20°C vätsketemperatur, lucka öppnad 20 cm, vindhastighet i luckan 0.5 m/s

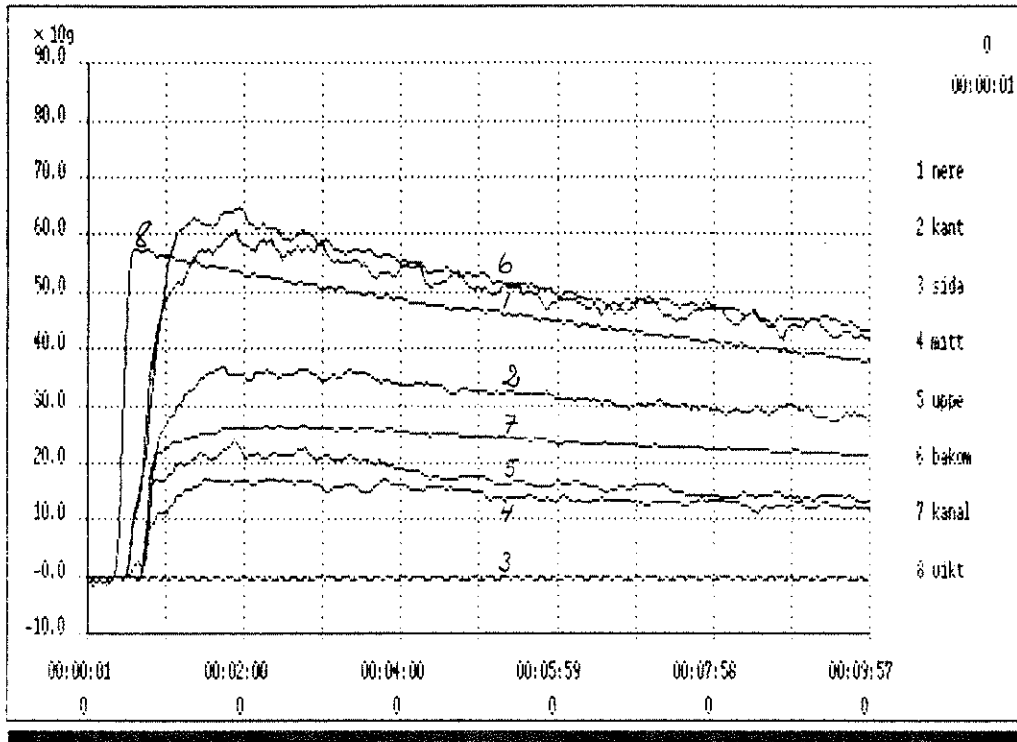


3 a) Koncentration och viktskurvor

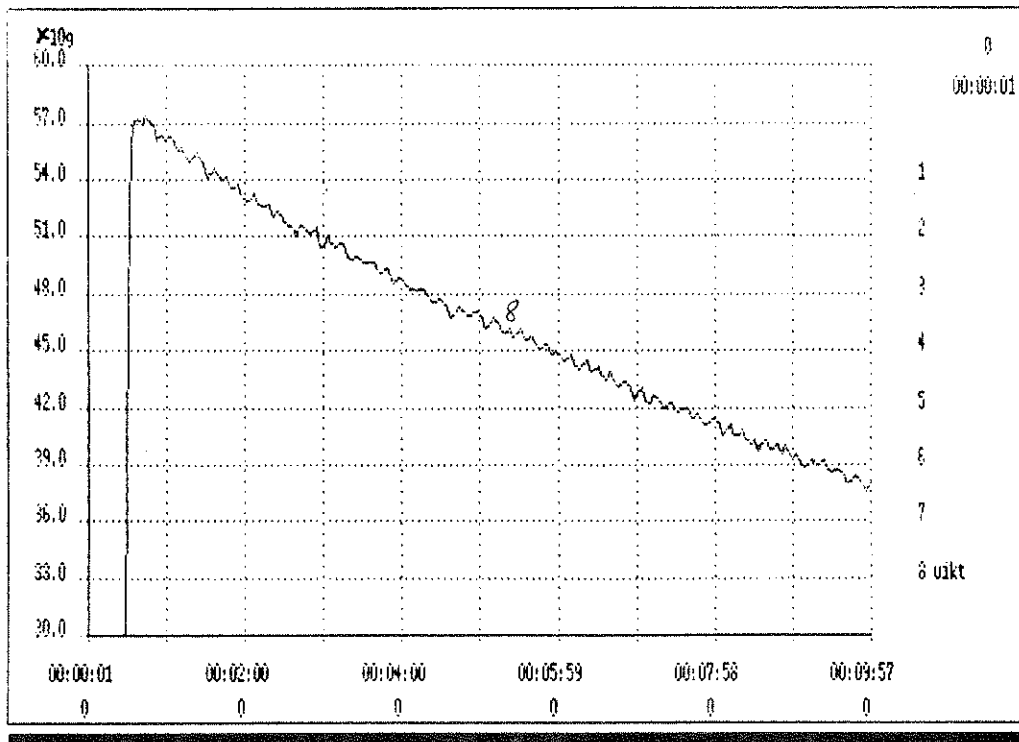


3 b) Förstorad viktskurva

Figur 4 Aceton, 40°C vätsketemperatur, lucka öppnad 5 cm, vindhastighet i luckan 0.5 m/s

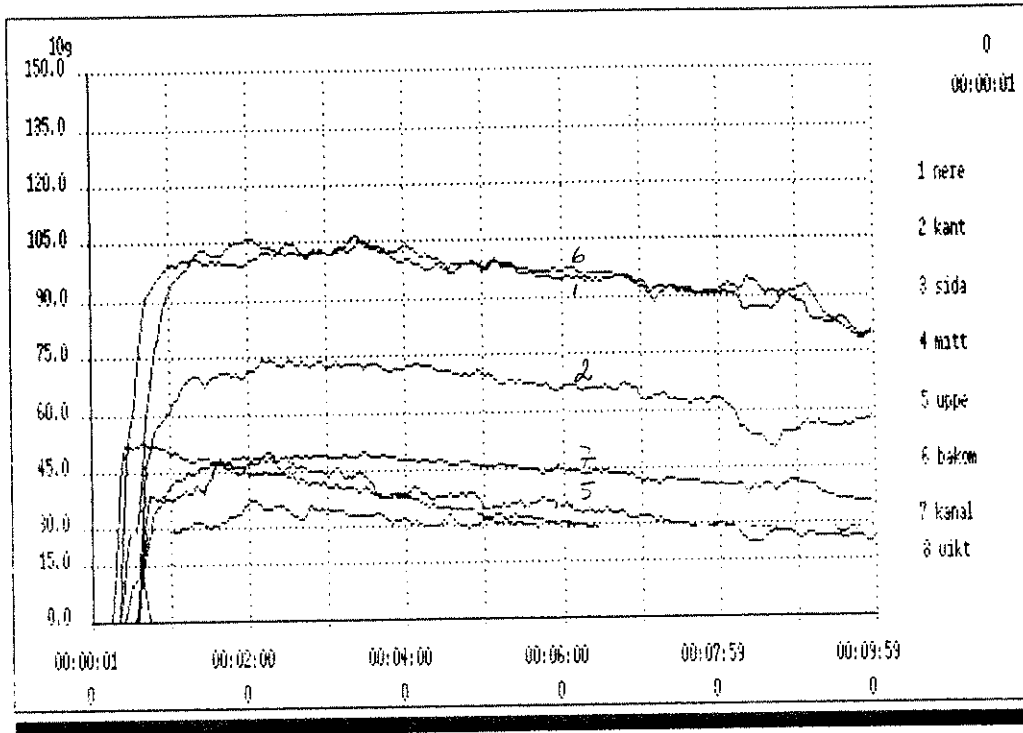


4 a) Koncentration och viktskurvor

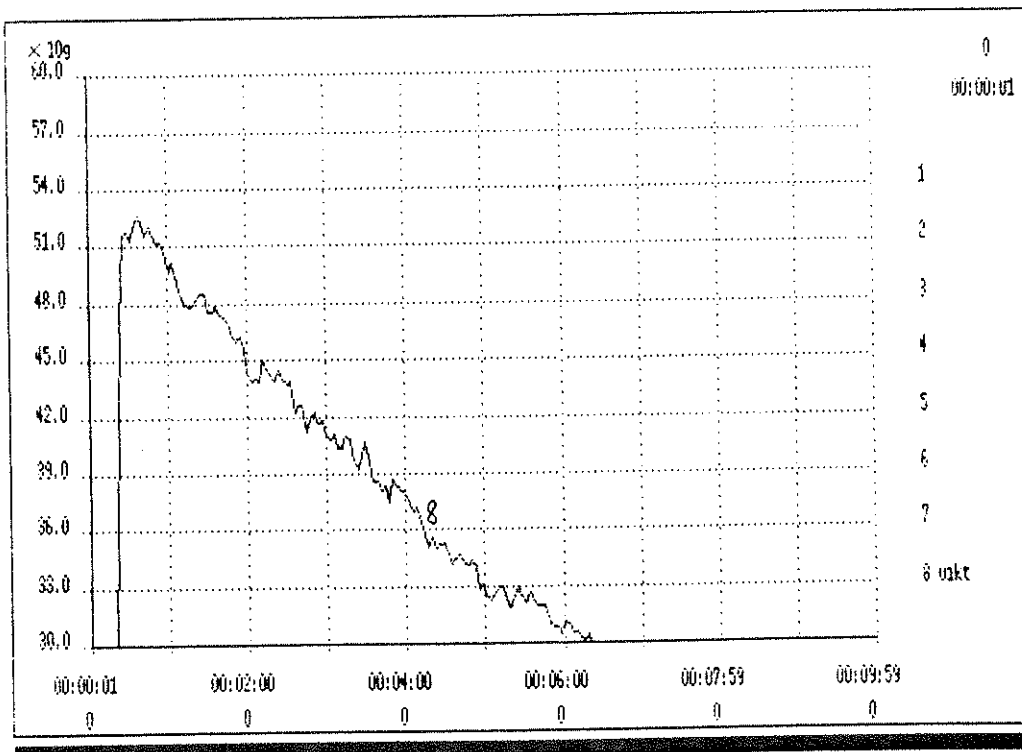


4 b) Förstorad viktskurva

Figur 5 Dietyleter, 20°C vätsketemperatur, lucka öppnad 5 cm, vindhastighet i luckan 0.5 m/s

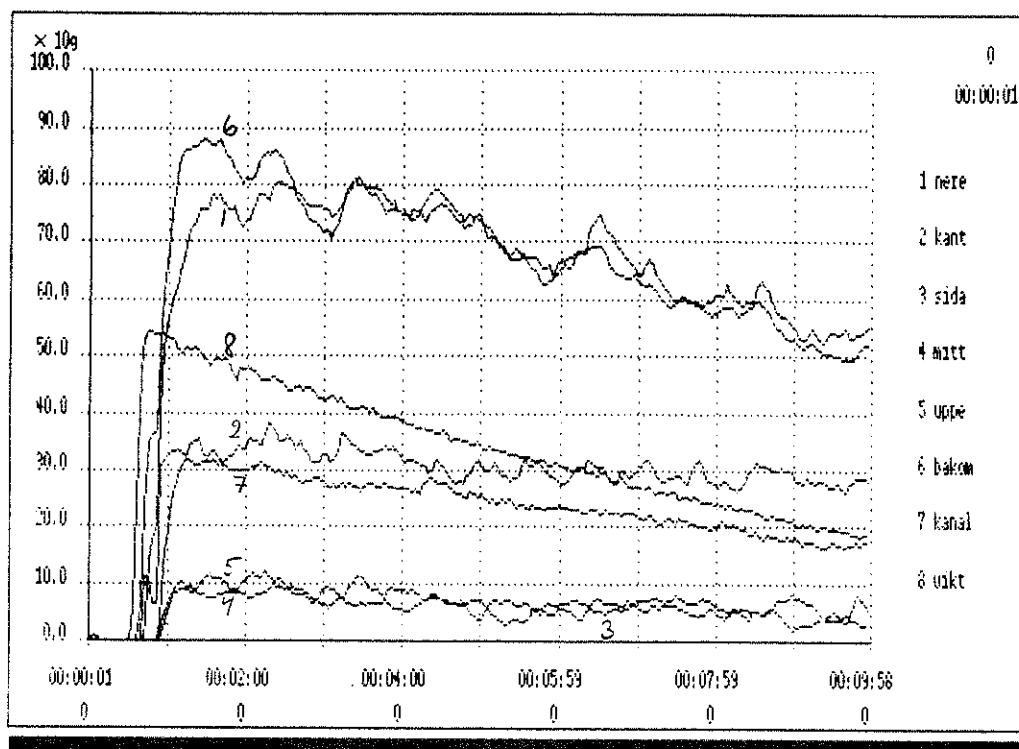


5 a) Koncentration och viktskurvor

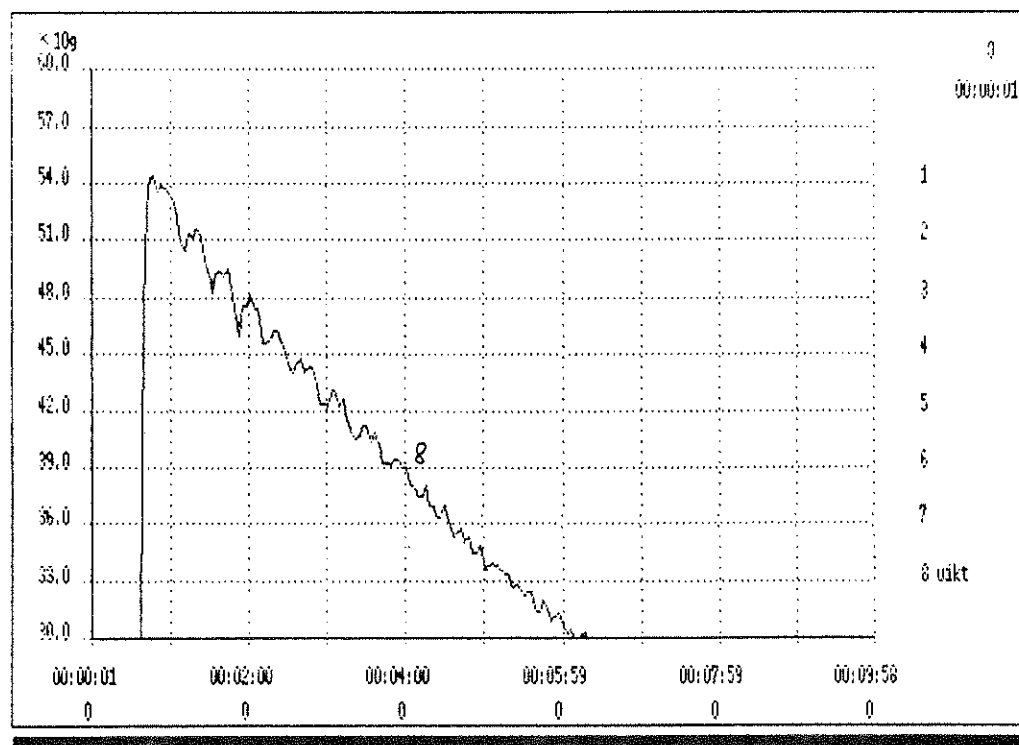


5 b) Förstorad viktskurva

Figur 6 Dietyler, 20°C vätsketemperatur, lucka öppnad 10 cm, vindhastighet i luckan 0.5 m/s

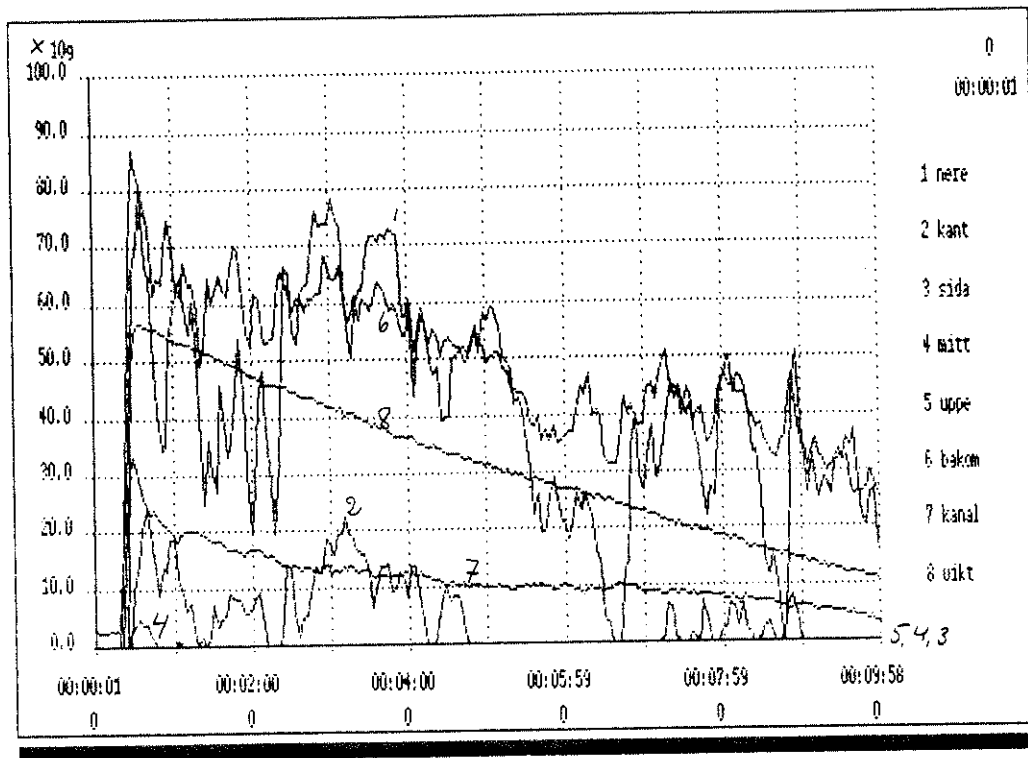


6 a) Koncentration och viktskurvor

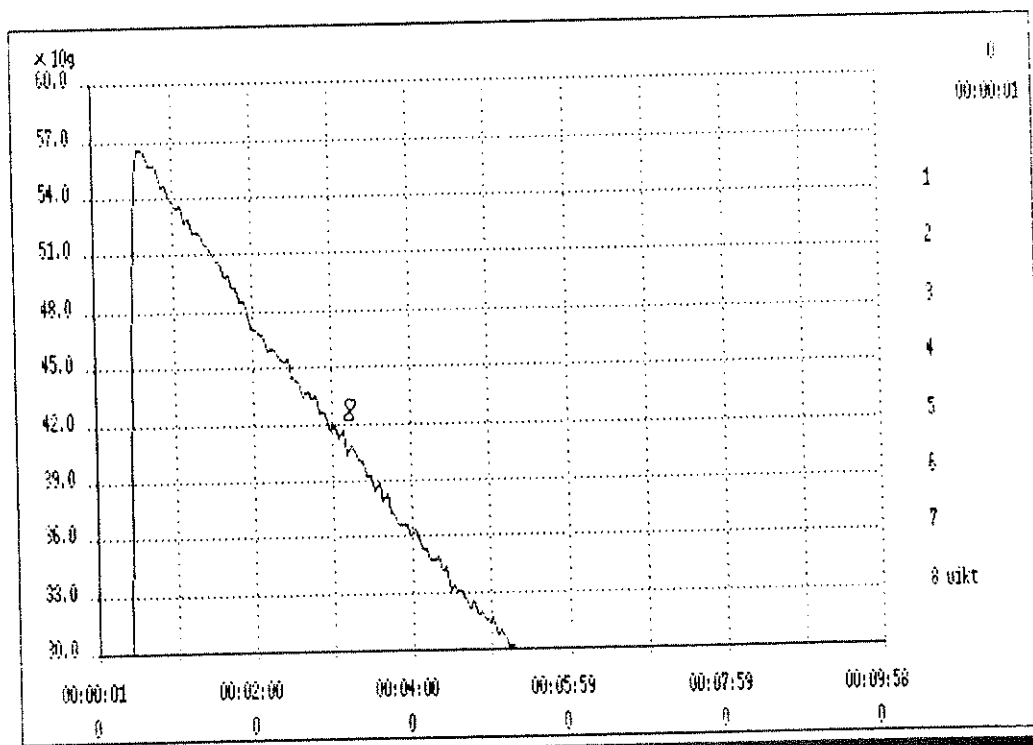


6 b) Förstorad viktskurva

Figur 7 Dietyleter, 20°C vätsketemperatur, lucka öppnad 20 cm, vindhastighet i luckan 0.5 m/s

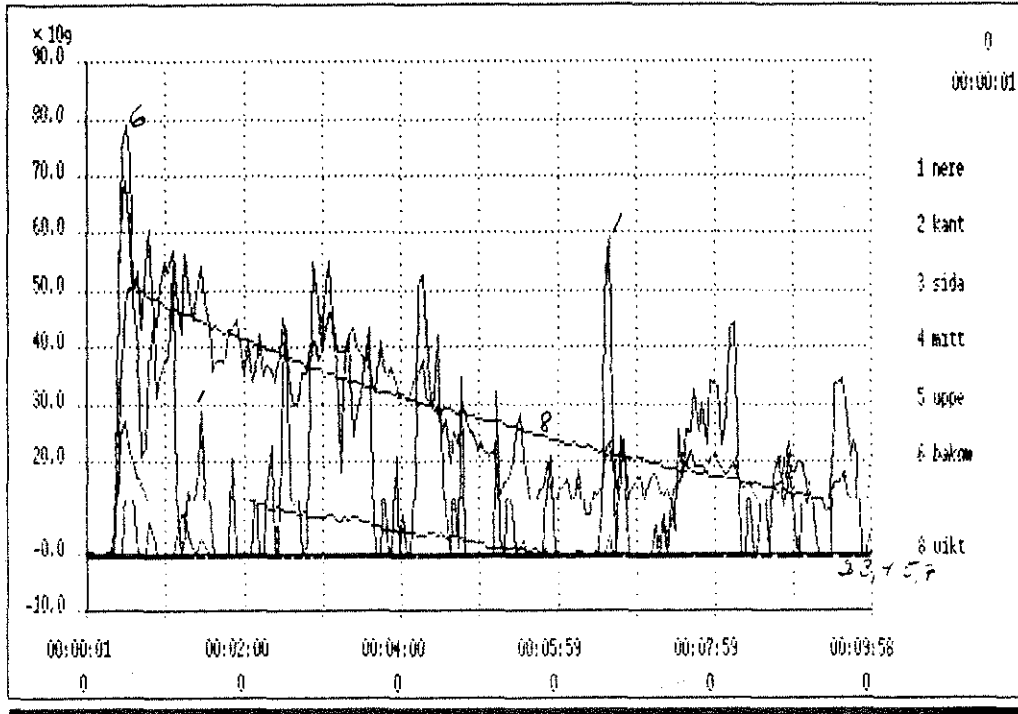


7 a) Koncentration och viktskurvor

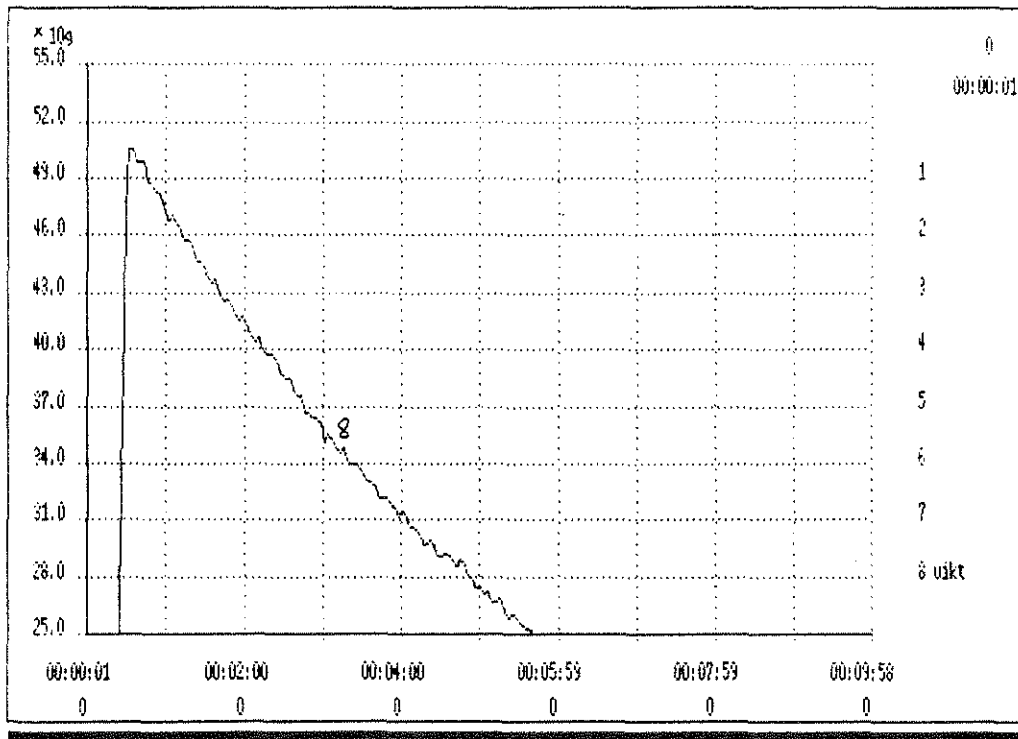


7 b) Förstorad viktskurva

Figur 8 Dietyleter, 20°C vätsketemperatur, lucka öppnad 30 cm, vindhastighet i luckan 0.5 m/s

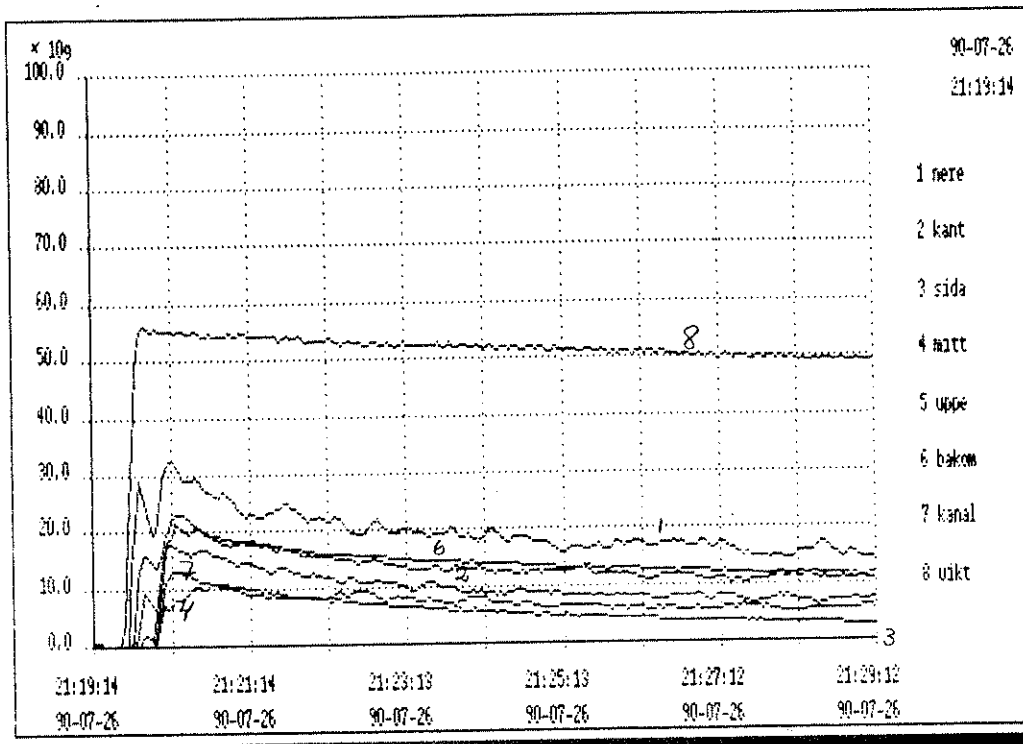


8 a) Koncentration och viktskurvor

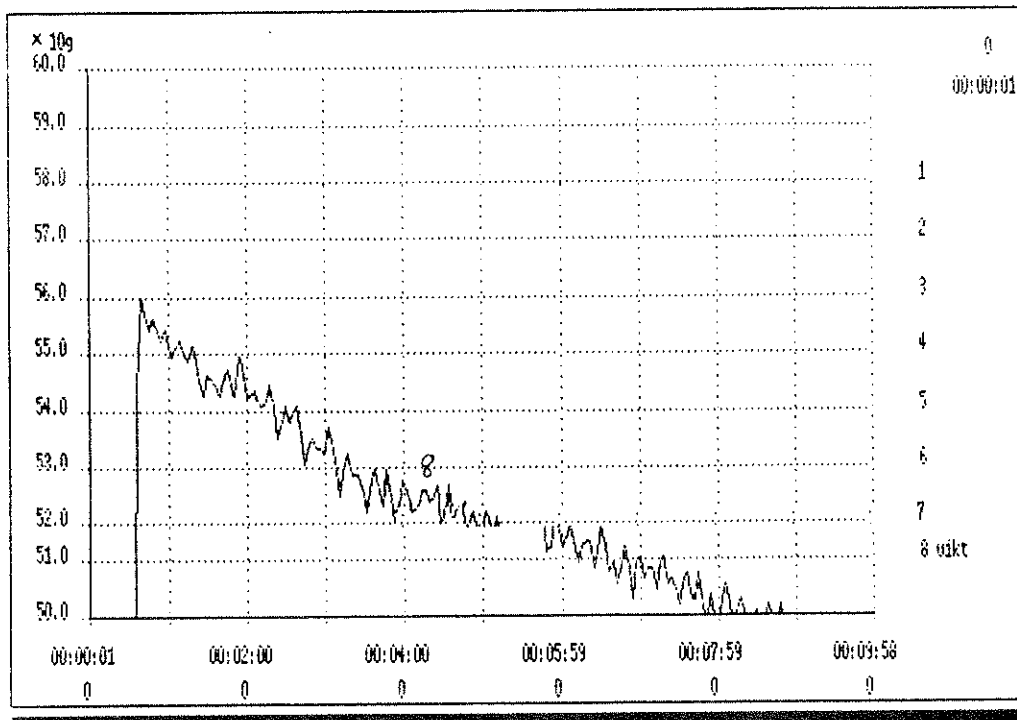


8 b) Förstorad viktskurva

Figur 9 Etanol, 60°C vätsketemperatur, lucka öppnad 5 cm, vindhastighet i luckan 0.5 m/s

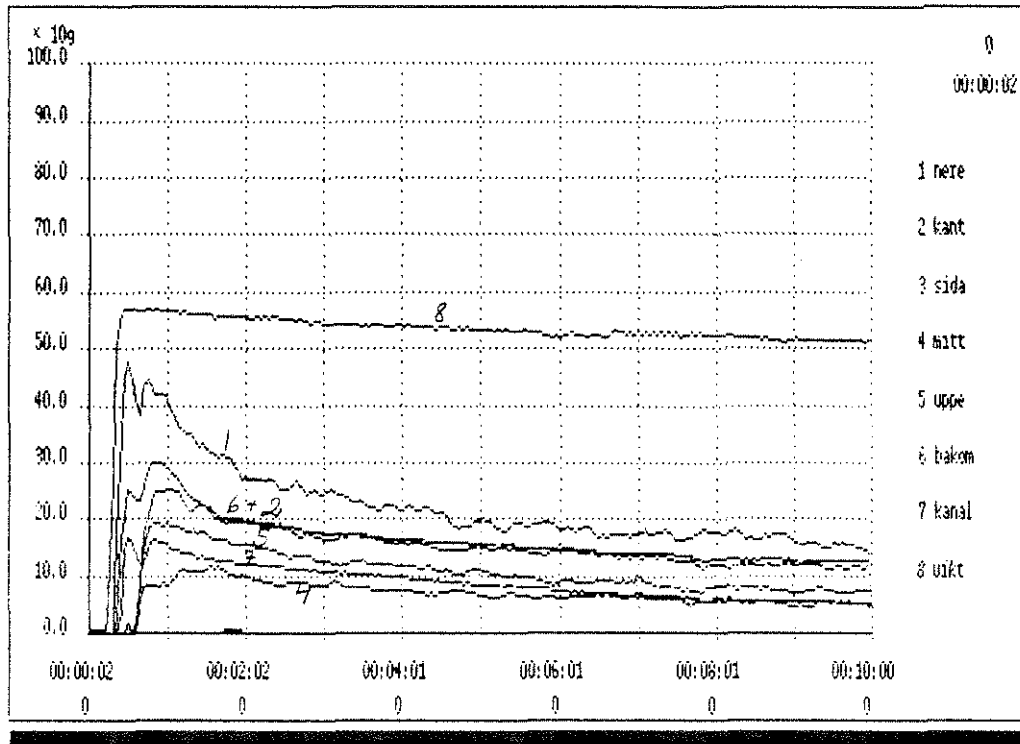


9 a) Koncentration och viktskurvor

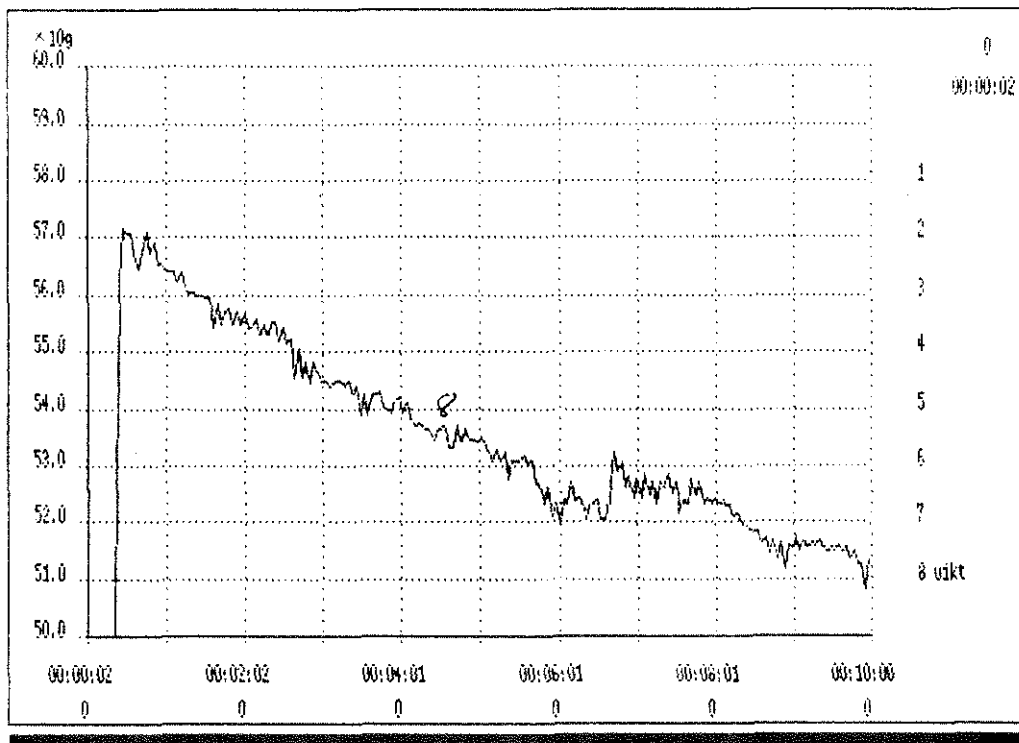


9 b) Förstorad viktskurva

Figur 10 Etanol, 70°C vätsketemperatur, lucka öppnad 5 cm, vindhastighet i luckan 0.5 m/s

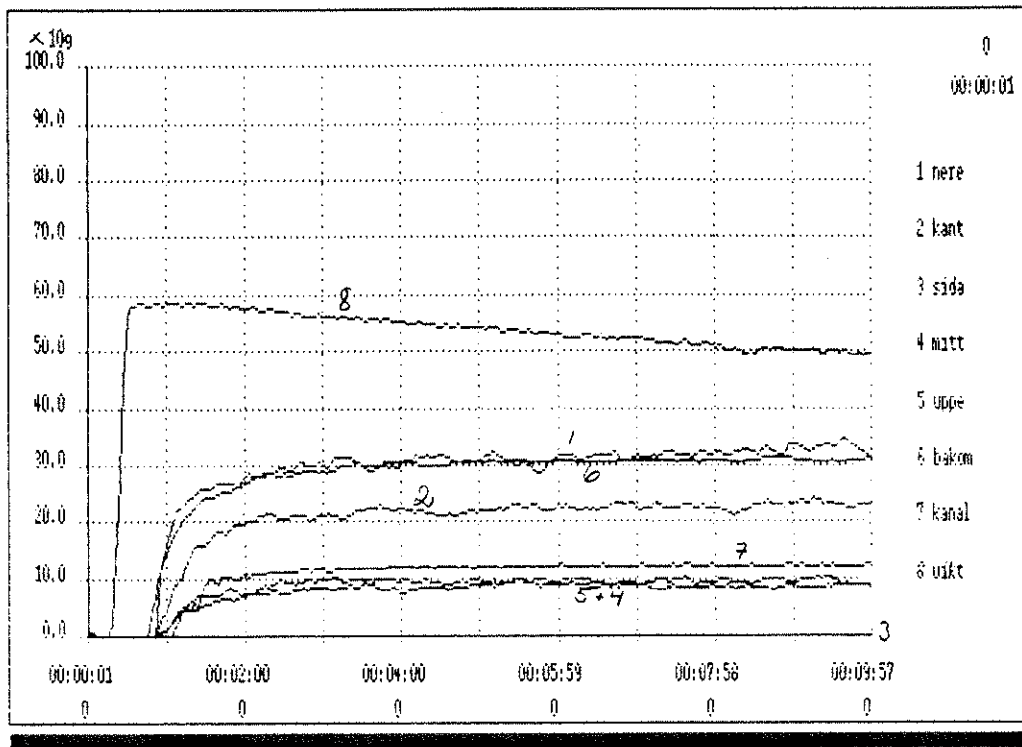


10 a) Koncentration och viktskurvor

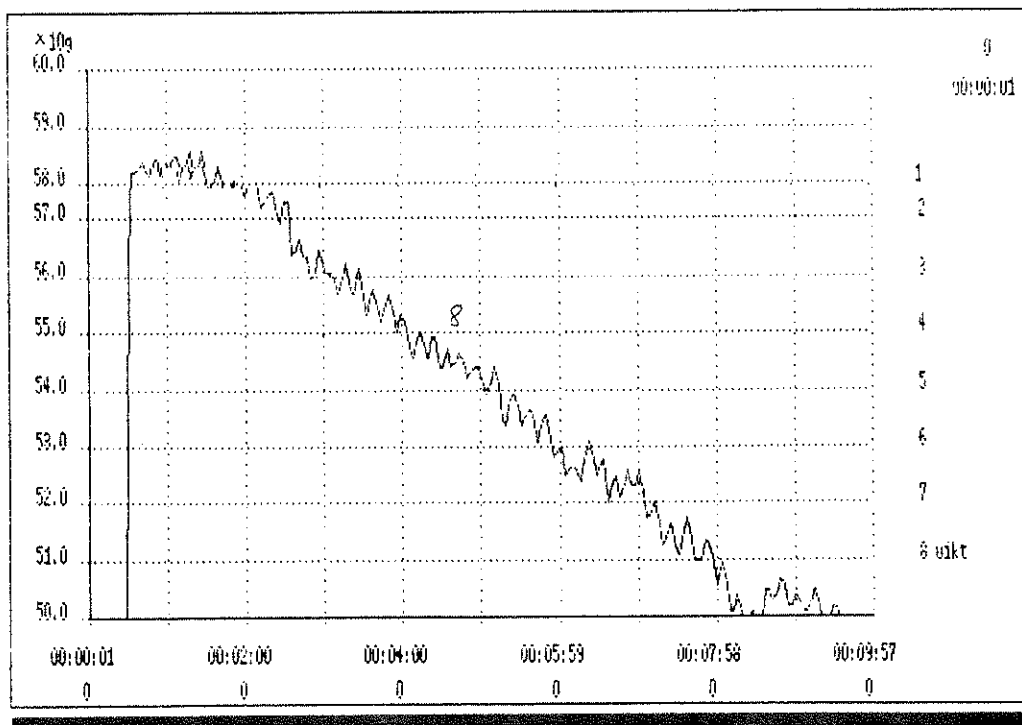


10 b) Förstord viktskurva

Figur 11 Metyletylketon, 20° C vätsketemperatur, lucka öppnad 5 cm, vindhastighet i luckan 0.5 m/s

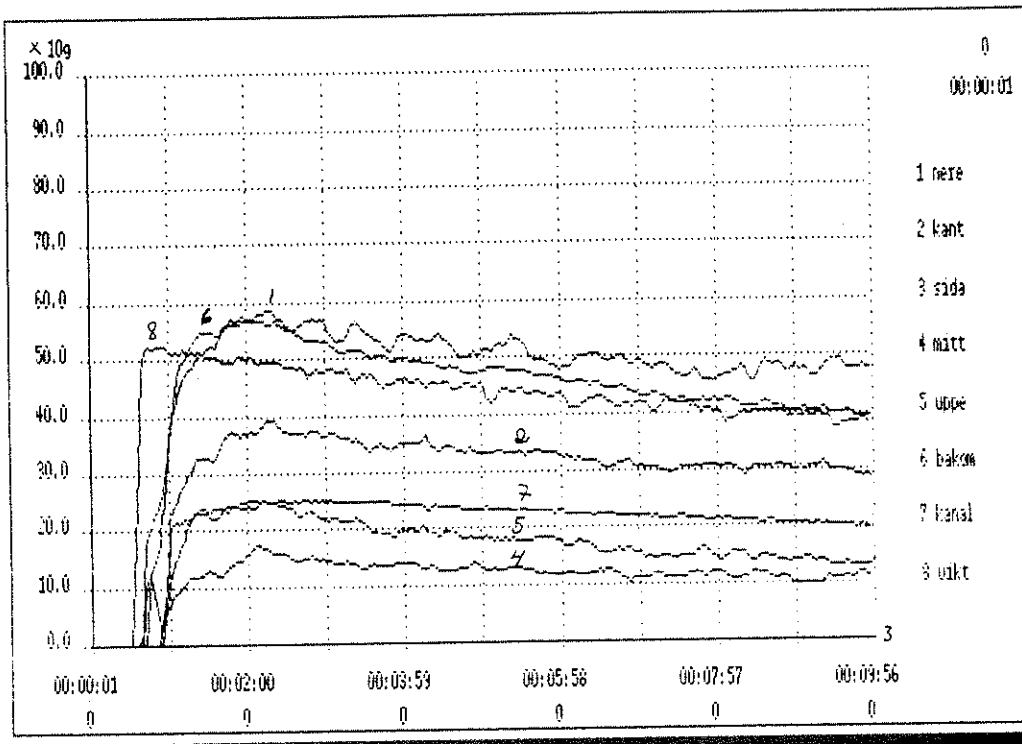


11 a) Koncentration och viktskurvor

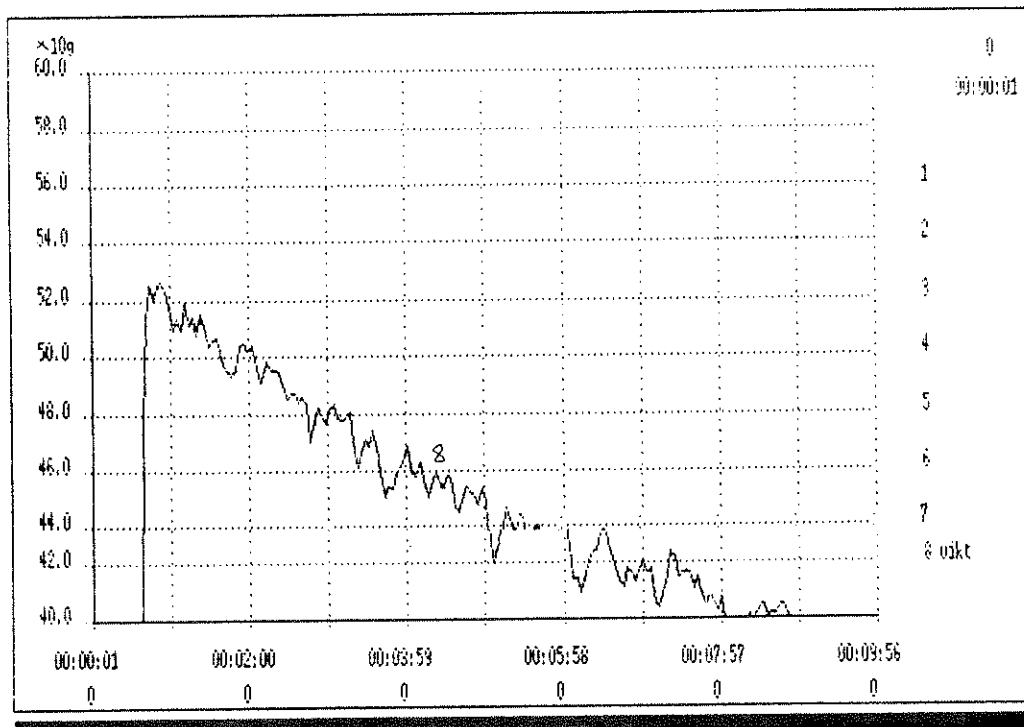


11 b) Förstorad viktskurva

Figur 12 Metyletylketon, 60°C vätsketemperatur, lucka öppnad 5 cm, vindhastighet i luckan 0.5 m/s



12 a) Koncentration och viktskurvor



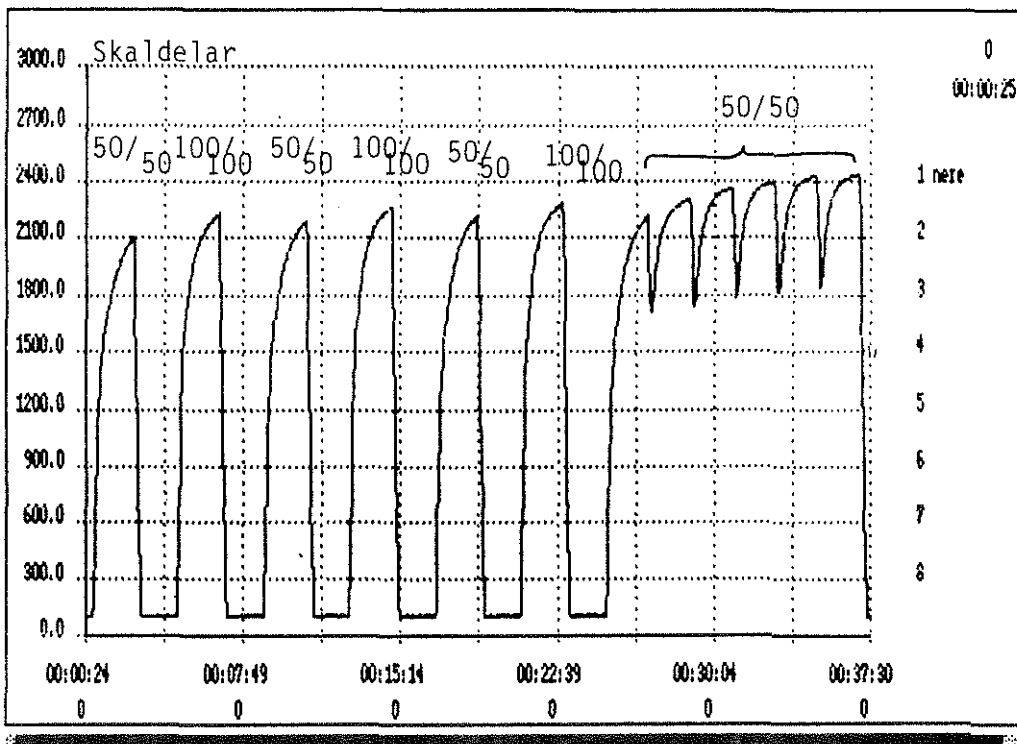
12 b) Förstorad viktskurva

Bilaga 3. Kalibrering av gasdetektor

Vid försöken användes gassensorer av fabrikat Figaro typ TGS. Sensorerna var inmonterade i en sintrad metallkropp för att minimera inverkan av den omgivande luftens hastighet. Detektorerna (sensor + elektronik) kalibrerades med en kalibreringsgas som alstrats i en aluminiumbag, försedd med en speciell ventil. Först sprutades en noggrant uppmätt vätskemängd in i bagen och därefter en bestämd volym luft. Volymen luft bestämdes med hjälp av ett tryckkärl med bestämd volym och en elektronisk tryckgivare. Från aluminiumbagen sögs sedan kalibreringsgasen (vanligen vid en koncentration motsvarande 100% av LEL) till en gasblandningsutrustning där den blandades med luft i kända proportioner innan den fördes fram till sensorn. På så sätt kunde man alstra en kalibreringsgas från 100% av LEL till 0% i steg om 10% av LEL.

Vid kalibreringen visade det sig att sensorerna hade en viss tidskonstant, en viss minneseffekt (de var känsliga för om de exponerats för samma ånga en viss tid före kalibreringen) samt att det fanns en spridning i känslighet mellan olika sensorer (de måste justeras individuellt).

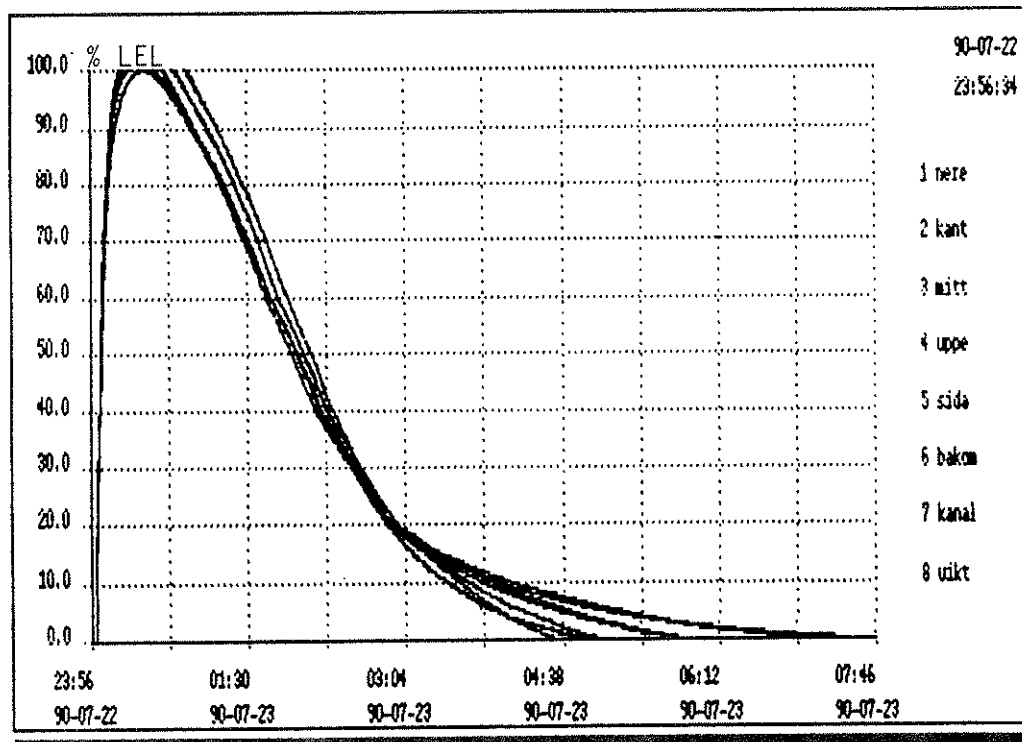
I figur 1 visas utsignalen vid 50% av LEL för olika gasflöde förbi detektorn.



Figur 1. Utsignal vid 50% av LEL vid olika kalibreringsgasflöde.

Av figuren framgår att tidskonstanten minskar då flödet förbi sensorn ökas (troligen en ren effekt av förhållandet mellan volym och flöde).

I figur 2 visas utsignalen efter kalibrering för samtliga detektorer då de placerats i en behållare där koncentrationen varieras. Kalibreringen har i detta fall optimerats för mätning mellan 90% och 10% av LEL genom individuell justering av förstärkningen. Med andra ord detektorerna skulle i detta fall ge samma utsignal



Figur 2. Spridning mellan olika detektorer vid mätning i intervallet 90–10% av LEL.

Sammanfattning:

- detektorernas relativa noggrannhet är bättre än den absoluta
- onoggrannheten i det undersökta intervallet 90–10% av LEL är i storleksordning 10%.

Bilaga 4. Brandförsök i dragskåp (0.24 m² brand, ca 1 l vätska)

Materialbeskrivning av brandprovat dragskåp

Tak, sidor och bakre ryggskiva: Spånskiva belagd på båda sidor med KLB:s brandklassade laminat typ FP1 med tjocklek 0.9 mm.

Inre ryggskiva: KLB:s brandklassade homogenlaminat typ FP1 med tjocklek 4 mm.

Arbetsyta: Syrafast rostfri plåt limmad mot spånskiva.

Lucka: 6 mm lamellglas.

Sidostolpar och grepplist i lucka: Bokträ vitlackerade.

Försök 1.

Aceton, lucka 5 cm – 0.5 m/s

Sprinklerflöde: 10 l/m² · min

Detektorutlösning: i skåp 6–7 s, i ventilationskanal 17–18 s

Sprinklerutlösning (manuell): 20–22 s

Släckt av sprinklern efter 30–35 s

Försök 2.

Etanol, lucka 5 cm – 0.5 m/s

Sprinklerflöde: 10 l/m² · min

Detektorutlösning: i skåp 8–9 s, i ventilationskanal 19–20 s

Sprinklerutlösning (manuell): 22–25 s

Släckt av sprinklern 1.20–1.25 min

Försök 3.

Etanol, lucka 5 cm – 0.5 m/s

Sprinklerflöde: 20 l/m² · min

Detektorutlösning: i skåp 8–9 s, i ventilationskanal 19–20 s

Sprinklerutlösning (manuell): 22–25 s

Släckt av sprinklern 1.20–1.25

Försök 4.

Heptan, lucka 5 cm – 0.5 m/s

Sprinklerflöde: 20 l/m² · min

Detektorutlösning: i skåp 6–7 s, i ventilationskanal 16–17 s

Sprinklerutlösning (manuell): 20–22 s

Släckt av sprinklern 45–50 s

Försök 5.

Etanol, lucka 30 cm – 0.5 m/s

Sprinklerutflöde: 10 l/m² · min

Detektorutlösning: i skåp 8–10 s, i ventilationskanal 6–7 s OBS!

Sprinklerutlösning (manuell): 15–17 s

Släckt av sprinklern 1.20 – 1.25 min

Försök 6.

Aceton, 30 cm lucka – 0.5 m/s

Sprinklerflöde: 10 l/m² · min

Detektorutlösning: i skåp 10–11 s, i ventilationskanal 3–4 s OBS!

Sprinklerutlösning (manuell): 18–20 s

Slocknar ej av H₂O, släckt med CO₂ efter 50–55 s. CO₂ påfördes med handbrandsläckare. Påföringsmängd mindre än 1 kg. Stopp i kanalen i övre delen av dragskåpet. Detektor av aluminium bortbränd i ventilationskanal 2 m från dragskåpet. Skåpet utbränt.

Försök 7.

Etanol, lucka 5 cm – ingen ventilation

Sprinklerflöde: 10 l/m² · min

Detektorutlösning: i skåp 3–5 s, ventilationskanal ej inkopplad

Sprinklerutlösning (manuell): 10–12 s

Släckt av sprinklern 55–65 s

Försök 8.

Heptan, lucka 5 cm – ingen ventilation

Sprinklerflöde: 10 l/m² · min

Detektorutlösning: i skåp 6–7 s

Sprinklerutlösning (manuell): 11–12 s

Släckt med CO₂ 1.25–1.30 min. CO₂ påfördes med handbrandsläckare. Påföringsmängd mindre än 1 kg.

OBS! Efter 1.10–1.15 sprids branden till golvet nedanför dragskåpet.

