



# LUND UNIVERSITY

## Utvärdering av halonersättningsmedlen Halotron II och FM-200

Adolfsson, Martin; Schelander, Mariette

1993

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Adolfsson, M., & Schelander, M. (1993). *Utvärdering av halonersättningsmedlen Halotron II och FM-200*. (LUTVDG/TVBB--3072--SE; Vol. 3072). 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/>

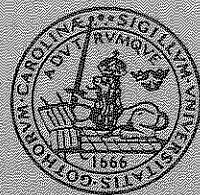
### Take down policy

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

Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet

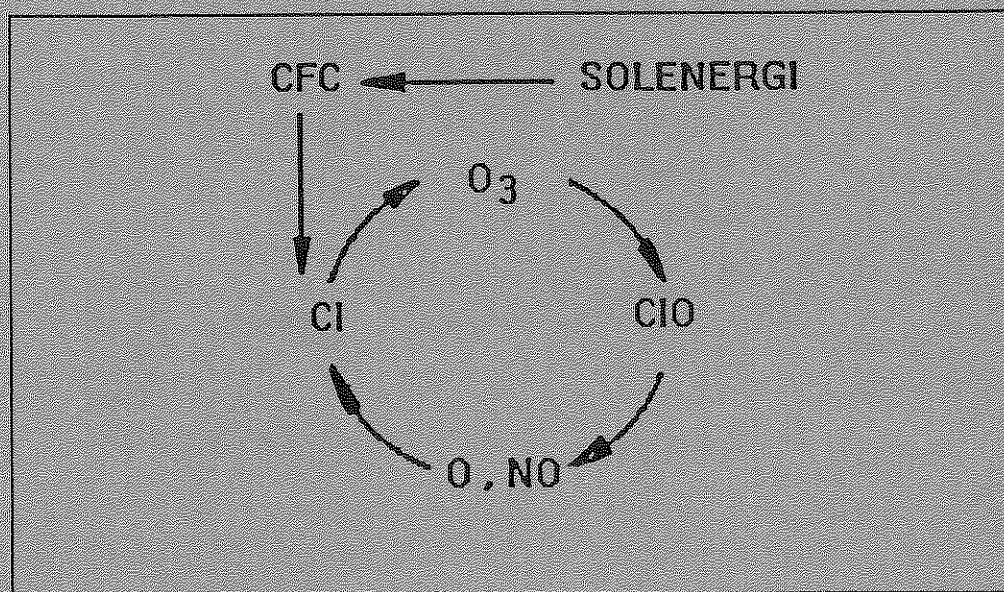


Department of Fire Safety Engineering  
Lund Institute of Technology  
Lund University

Rapport 3072

## Utvärdering av halonersättningsmedlen

### Halotron II och FM-200



Martin Adolfsson  
Mariette Schelander

Lund 1993



# **Utvärdering av halonersättningsmedlen Halotron II och FM-200**

**Martin Adolfsson  
Mariette Schelander**

ISSN 1102-8246

ISRN LUTVDG/TVBB--3072--SE

**Keywords:** halon, halonersättningsmedel, släckmedel, toxicitet, FM-200, Halotron

© Copyright Institutionen för brandteknik

Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 1994

Omslag: Maria Andersen

Layout: Maria Andersen

Illustrationer/Diagram: Martin Adolfsson, Mariette Schelander

Tryckt av Institutionen för brandteknik, Lund 1993

Department of Fire Safety Engineering · Lund Institute of Technology · Lund University

---

Adress/Address	Telefon/Telephone	Telefax	E-post/E-mail
Box 118 /John Ericssons väg 1	046 - 222 73 60	046 - 222 46 12	
S-221 00 LUND	+46 46 222 73 60	+46 46 222 46 12	brand@brand.lth.se

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	SIDA
<b>Inledning</b>	
<b>1 Varför måste vi byta ut Halon som brandsläckningsmedel?</b>	
1.1 Ozone Depletion Potential (ODP)	1
1.2 Växthuseffekten	3
1.3 Global Warming Potential	4
1.4 Slutkommentar	4
<b>2 Alternativa halonersättningsmedel</b>	
2.1 Medel på marknaden	5
<b>3 Skyddsmål och skadekriterier</b>	
3.1 Skadekriterier	7
3.1.1 Skadekriterier för människan	7
3.1.2 Skadekriterier för naturen	8
3.1.3 Skadekriterier för material	9
3.2 Identifiera tänkbara brandscenario	10
3.3 Brandteknisk värdering	10
3.4 Datorsimulering av olika brandscenario	11
3.5 Sammanfattning av skyddsmål och skadekriterier	12
<b>4 Provningsmetoder</b>	
4.1 Cup Burner test	14
4.1.1 Variabler i Cup Burner test	15
4.1.2 Kommentar till Cup Burner test	16
4.2 Inerteringsförsök	17
4.2.1 Kub, 8 l	17
4.2.2 Sfär, 13 l	17
4.2.3 Rum, 784 l	18
4.2.4 Resultat av bombförsök	18
4.2.5 Kommentar till inerteringsförsök	19
4.3 REMP och bombförsök utförda på FM-200 och Halotron II	20
4.3.1 REMP-försök	20
4.3.2 Bombförsök	21
4.4 Släckmedelskoncentration	22

<b>5 Toxicitet och släckverkan</b>	
5.1 Egentoxicitet	23
5.1.1 Hur bestäms vilka ämnen som är egentoxiska?	23
5.1.2 LC <sub>50</sub> -värdet	24
5.1.3 Toxicitetstest	25
5.1.4 NOAEL och LOAEL	25
5.2 Toxicitet vid brand	26
5.2.1 Brandstorlek och HF-produktion	27
5.2.2 Släcktid och HF-produktion	29
5.2.3 Nedbrytningsprodukter innehållande svavelatomer	30
5.3 Mätning av toxicitet vid REMP-försök	30
5.4 Släcktid Halon 1301 / HFC-föreningarna	31
5.5 Kommentarer toxicitet och släckverkan	33
<b>6 Systemanpassning</b>	
6.1 Släckmedelsåtgång	34
6.2 Fyllning av behållare	35
6.3 Systemanpassning beroende på val av släckmedelskoncentration	37
6.4 Drivgasproblematik	38
<b>7 Hydrauliska beräkningar</b>	
7.1 Försöksutrustning	41
7.2 Flödesberäkningar	42
7.3 Resultat från Effuncförsök	43
7.3.1 Resultat från försöken som utfördes då behållaren höll rumstemperatur	43
7.3.2 Resultat av försöken då behållaren höll -25°C	45
<b>8 Sammanställning</b>	
8.1 Viktiga parametrar	46
<b>Referenser</b>	48

## Bilagor

Bilaga 1	Skadekriterier, värmedos
Bilaga 2.1	Utformning av lokal till fiktivt referensobjekt
Bilaga 2.2	Uppgifter till fiktivt referensobjekt
Bilaga 2.3	Komponentpåverkan på fiktivt referensobjekt
Bilaga 2.4	Komponentpåverkan på fiktivt referensobjekt
Bilaga 3.1	Bedömning av inerteringsförsök
Bilaga 3.2	Bedömning av inerteringsförsök
Bilaga 4.1	Viktminskning vid REMP-försök
Bilaga 4.2	Effektutveckling, bildning av CO och temperatur vid REMP-försök med FM-200 och Halotron II
Bilaga 4.3	Bombförsök med FM-200
Bilaga 5	Beräkningsexempel toxicitet och släcktid
Bilaga 6	Resultat av försöken med Halon 1301 då behållaren höll 20°C
Bilaga 7	Resultat av försöken med FM-200 då behållaren höll 20°C
Bilaga 8	Resultat av försöken med Halotron II då behållaren höll 20°C
Bilaga 9	Resultat av försöken med FM-200 då behållaren höll -25°C
Bilaga 10	Resultat av försöken med Halotron II då behållaren höll -25°C





# INLEDNING

Under hösten 1993 har vi på uppdrag av FortF utfört rapporten "Utvärdering av halonersättningsmedlen Halotron II och FM-200". Rapporten har utarbetats vid Institutionen för Brandteknik, Lunds Universitet under ledning av doc Göran Holmstedt.

Syftet med rapporten är att den skall fungera som en vägledning vid val av ersättningsmedel till Halon 1301. Vi har bl a behandlat de parametrar som är väsentliga vid val av släckmedel och även försökt belysa varför ett visst släckmedel skall användas.

Vi har på uppdragsgivarens begäran avgränsat rapporten till att endast behandla nya, kondenserade ersättningsmedel, i första hand FM-200 och Halotron II.

Ett speciellt tack riktas till följande företag och personer som har hjälpt oss under arbetets gång:

AB Bejaro Product  
AB Svenska Tempus  
Ingenjör Sven-Ingvar Granemark  
Doc Göran Holmstedt  
Brandingenjör Pontus Nordberg  
Tekniker Leif Sällman



# 1 VARFÖR MÅSTE VI BYTA UT HALON SOM BRANDSLÄCKNINGSMEDEL?

År 1987 skrev Sverige under Montrealprotokollet och förband sig därmed att minska och på sikt förbjuda tillverkning och användning av CFC-föreningar och haloner. CFC är helhalogenerade kolväten som bl a används som köldmedia. Beslutet togs mot bakgrund av den allt intensivare debatten om det globala klimatet och en eventuell ozonuttunnning. CFC- och andra halogenerade kolväteföreningar kan även ha betydelse för den ökade växthuseffekten, vilket är ännu en anledning till att begränsa användningen av dessa föreningar. Den 1 januari 1994 förbjuds i enlighet med Montrealprotokollet i stort sett all tillverkning av haloner i hela världen och den 1 januari 1998 skall alla halonsystem vara avvecklade i Sverige.

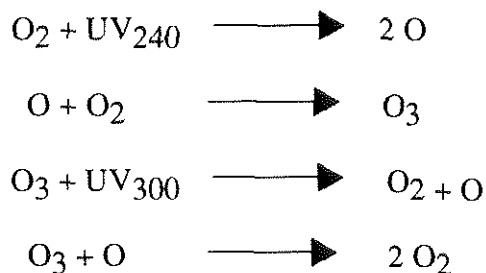
Förutom de fullständigt halogenerade kolvätena, CFC, finns det också ofullständigt halogenerade kolväten, HCFC-föreningar. Gemensamt för CFC och HCFC är att de innehåller klor- och / eller bromatomer. HFC- och FC-föreningarna är fluorkarboner, de innehåller således ingen klor eller brom. På grund av sin kemiskt stabila struktur har FC-föreningarna en lång livstid i atmosfären.

Vad innebär då ozonnedbrytningen och växthuseffekten, och vilken relevans har dessa globalt?

## 1.1 Ozone Depletion Potential (ODP)

Ozon, O<sub>3</sub>, förekommer både i troposfären (närmast jordytan) och i stratosfären. Förekomsten vid jordytan är ett stort miljöproblem, eftersom den bl a negativt påverkar vegetation och mänsklig hälsa. Kunskapen om ozonets skadliga effekter är dock ännu så länge relativt ringa, och vi kommer därför inte att vidare fördjupa oss i denna problematik.

Ozonet i stratosfären däremot är nödvändigt för vår vidare existens. Tack vare energin från den inkommande, kortvågiga strålningen från solen omvandlas syrgas till ozon och övergår i ett senare skede till syrgas igen [14]





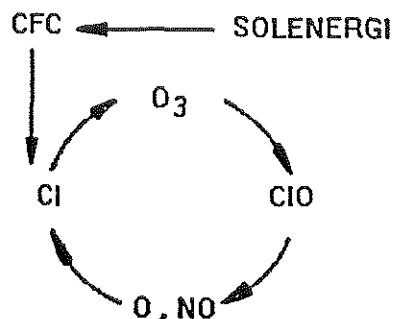
## SAMMANFATTNING

Den 1 januari 1994 förbjuds i enlighet med Montrealprotokollet i stort sett all tillverkning av haloner och den 1 januari 1998 skall alla halonsystem i Sverige vara avvecklade. Detta medför att vi måste finna en ersättare till bl a Halon 1301, som idag används som släckmedel i fasta släcksystem. Om en snabb och ren släckning eftersträvas för att klara uppsatt skyddsmål är de kondenserade släckgaserna att föredra.

De nya, halogeniserade ersättningsmedlen bildar i samband med brandsläckning mer HF än Halon 1301. Många av ersättningsmedlen utvecklar dessutom effekt när de kommer i kontakt med flamman. Bildningen av HF tillsammans med en eventuell effektökning medför att en snabb detektering och kort släcktid är väsentligt för att ett lyckat släckresultat skall erhållas.

*För att uppnå korta släcktider är det vår bedömning att släckmedelskoncentrationen bör vara nära inerteringsgränsen.*

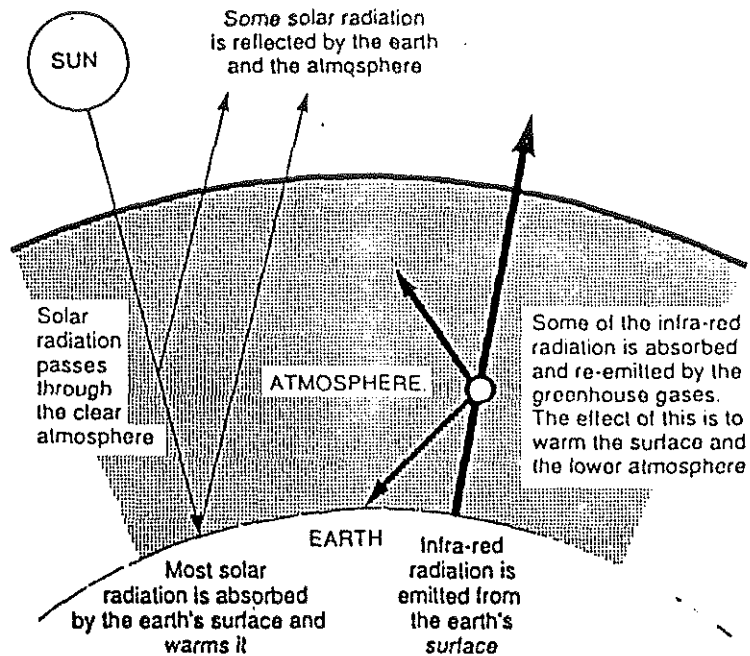
De nya ersättningsmedlen har andra fysikaliska egenskaper än Halon 1301, vilket medför att nya hydrauliska beräkningar behövs. Vid en jämförelse av utförda hydrauliska försök både för Halon 1301 och de studerade ersättningsmedlen fann vi dock att resultatet stämde överens vid samma fyllnadsgrad. Studier vad gäller ersättningsmedlens hydrauliska beteende bör utredas vidare.



Figur 1.1 Halogenföreningens nedbrytning av ozonmolekylen i en förenklad version modifierat från [14]. Om reaktiva halogener ( t ex CFC och haloner ) som har transporterats från troposfären till stratosfären, finns närvarande, reagerar ozonmolekylen med halogenatomen i stället för att absorbera den oönskade instrålningen från solen och en kloroxidmolekyl bildas.

Figur 1.1 illustrerar hur varje kloratom ingående i en halogeniserad förening kan transformera en stor mängd ozonmolekyler till syremolekyler. Kloratomen fungerar som en katalysator dvs den deltar i processen utan att själv förbrukas. En ringa mängd halogener kan alltså bryta ner en stor mängd ozon. För att bedöma hur stor ozonnedbrytande förmåga ett ämne har, har man utarbetat matematiska modeller som beräknar olika föreningars ODP. Ju högre ODP ett ämne eller en förening har desto större är dess ozonnedbrytande potential. Vid bestämning av en förening ODP används köldmediet R11 som referens. Denna förening har  $ODP = 1$ . Bland de föreningar som har en hög ODP-potential återfinns bl a CFC och halonerna tack vare deras höga innehåll av aktiva halogenatomer som reagerar med ozonmolekylerna.

## 1.2 Växthuseffekten



Figur 1.2 Modell över växthuseffekten [13]. För vidare förklaring se text.

Jorden absorberar strålning från solen, huvudsakligen vid ytan. Energin omfördelas sedan av atmosfären, hav, is, land och biomassa och återstrålar till rymden med en längre (infraröd) våglängd. En del av den infraröda strålningen absorberas av växthusgaser, t ex vattenånga, koldioxid, metan, CFC-föreningar och ozon, och reflekteras i alla riktningar. Ändringen av strålens riktning gör att mer värme når jordytan. Ökningen av instrålningen medför en ökad medeltemperatur vilket har varit en förutsättning för att liv uppkom på jorden.

Om vi nu ökar koncentrationen av växthusgaser i atmosfären så ökar vi också den andel av strålningen som reflekteras tillbaka till jordytan. Den ökade reflektionen leder till en ökning av medeltemperaturen med stora konsekvenser för jordens klimat.



### 1.3 Global Warming Potential (GWP)

Växthusgaserna består främst av vattenånga, koldioxid, metan, ozon och kväveoxidföreningar. För att bedöma respektive förenings påvekan på den globala uppvärmningen använder man sig av olika klimatologiska modeller. Viktiga inparametrar vid beräkningen är föreningens absorptionsförmåga av långvågig strålning, dess livslängd och hur stor mängd av föreningen som redan finns upptagen i atmosfären. Då i princip alla halogenföreningar är goda absorbenter av långvågig strålning blir det föreningens livstid, *men framförallt dess ackumulerade mängd i atmosfären som blir avgörande vid bedömningen av dess påverkan på miljön.*

GWP är definierad på massbasis, relaterat till antingen koldioxid eller CFC-11 (HGWP, Halocarbon GWP). Då CFC-11 har en begränsad livstid i atmosfären kan HGWP beräknas explicit som ett siffervärde. Koldioxid däremot har ej en begränsad livstid i atmosfären, vilket gör att GWP-värden som är relaterade till koldioxid måste beräknas för en integrerad tidsperiod (Integration Time Horizon), t ex 20,100 eller 500 år. Validiteten av GWP-beräkningarna är idag ett omdiskuterat ämne. Många forskare menar att osäkerheten i de klimatologiska modeller som bestämmer ett ämnes GWP är för stora och att resultaten från modellberäkningen blir oanvändbara [22].

Tabell 1.1 GWP- och HGWP-värden för ett antal aktuella föreningar vid 3 olika integrerade tidsperioder (Integration Time Horizon) [23, 24].

Förening	Beräknad livstid (år)	GWP 20 år	HGWP 20 år	GWP 100 år	HGWP 100 år	GWP 500 år	HGWP 500 år
Koldioxid	-	1	-	1	-	1	-
CFC-11	55	4500	1	3400	1	1400	1
CFC-12	116	7100	1,58	7100	2,09	4100	2,93
HFC-134a	15,6	3100	0,69	1200	0,35	400	0,29
Halotron II	> 60 *	4010	0,89	2700	0,79	1720	1,23
Halon 1301	101	5600	1,24	4900	1,44	2300	1,64

\* Livstiden för Halotron II, beräknat efter att livstiden för SF<sub>6</sub> är längre än 500 år men kortare än 2000 år.

Referenser med värden för FM-200 har ej kunnat anskaffas.

### 1.4 Slutkommentar

CFC-föreningarna och andra halogenerade kolväten bidrar troligtvis till både växthuseffekten och ozonnedbrytningen. Denna negativa sida hos CFC har gjort att föreningarna har belastats med hårda restriktioner både vad gäller tillverkning och användning. Restriktionerna har gjort att nya, alternativa halonersättningsmedel har tagits fram. Det har varit vår uppgift att undersöka några av dessa nya föreningars lämplighet som ersättningsmedel till Halon 1301.

## 2 ALTERNATIVA HALONERSÄTTNINGSMEDEL

### 2.1 Medel på marknaden

När sökandet efter lämpliga ersättare till de haloner som i dag används i brandsläckningssammanhang började, sattes ett antal kriterier upp som de nya medlen skulle uppfylla [11]. Kriterierna var bl a:

- låg ODP, GWP och kort atmosfärisk livstid,
- acceptabel toxicitet,
- rena, lättflyktiga,
- effektiva.

De nya ersättningsmedel som finns på marknaden nu är sk första generationens ersättningsmedel. Tanken är att man i *framtiden* skall kunna tillverka ett släckmedel som är både effektivt och ofarligt för miljön, sk andra generationens ersättningsmedel. Då tillverkningen av den sistnämnda typen av medel ännu så länge ligger långt fram i tiden, måste vi använda oss av de släckmedel som för närvarande finns på marknaden. De nu aktuella medlen kan i vissa fall betraktas som långsiktiga övergångsmedel.

Både FC- och HCFC-föreningarna har redan idag fått restriktioner vad gäller den framtida användningen pga ej helt godtagbara miljöegenskaper. Även HFC-föreningarna får troligtsvis restriktioner vad gäller användning i Sverige, men är ändå ett bättre alternativ ur miljösynpunkt. (Se vidare under kapitel 5.1.3 där de föreningar som ingår i PAFT:s testprogram presenteras.)

Tabell 2.1 En sammanställning av några ersättningsmedel som finns att tillgå på marknaden idag.

	NAMN	TILLVERKARE	TYP AV FÖRENING
Konden- serade, halogeni- serade kolväten	NAF S III	North American Fire Guardian	HCFC
	Halotron II	AMPAC	HFC
	FM-200	Great Lake	HFC
	PFC-410	3M	FC
	FE-13	Du Pont	HFC
Komp. gas	Inergen		N <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> + Ar
	Argonit		N <sub>2</sub> + Ar

Komprimerade inertgaser har presenterats som ett ersättningsmedel till Halon 1301. För att släcka en brand med komprimerad gas behöver ca hälften av rummets volym fyllas med släckmedel. Vid stora volymer krävs det därför en stor mängd släckmedel, vilket i sin tur leder till långa släckförlopp. Vi anser därför att komprimerad gas *inte* är ett rimligt ersättningsmedel till Halon 1301 i stora volymer då brandscenario och skadekriterie gör att snabba släcktider eftersträvas. (Se vidare kapitel 3 för skyddsmål och skadekriterie.)

Vi har gjort en närmare studie av HFC-föreningarna FM-200 och Halotron II. Vid jämförelse mellan de två ersättningsmedlen har Halon 1301 använts som referent. Vi har i rapporten behandlat de parametrar som är väsentliga vid val av släckmedel och även försökt belysa varför ett visst släckmedel skall användas.

Tabell 2.2 Jämförelse mellan FM-200 och Halotron II vad gäller deras fysikaliska egenskaper. För jämförelser i släckmedelskoncentrationer, volymer och mängder, se kapitel 6. FM-200 är HFC-föreningen heptafluorpropan, som i en del litteratur även betecknas HFC 227ea.

	FM-200	Halotron II	Halon 1301
Gasblandning	Nej	Ja	Nej
Kemisk formel	$\text{CF}_3\text{CHF}_2$	$\text{CF}_3\text{CH}_2 + \text{SF}_6 + \text{CO}_2$ alt HFC	$\text{CF}_3\text{Br}$
Molekylvikt	170,03	> 100	148,93
Kokpunkt (°C)	-16,4	-26 till -82	-58
Vätskedensitet (kg/l)	1,4	1,3	1,57
Ångtryck (bar ö)	4,04	12 till 16	13,3
ODP	0	0	10 till 16
HGWP (referent = CFC11)	Ingen referens	0,85	1,44

## 3 SKYDDSMÅL OCH SKADEKRITERIER

En brand ställer i de flesta fall till med stor förödelse, om den inte hindras i sitt initialskede. Det är därför mycket viktigt att ha klart för sig vilket skyddsmål och vilken skadebild som kan accepteras. Ju mindre skada som tolereras desto mer avancerat blir i regel släcksystemet.

Frågor man bör ställa sig är:

- Vad skall skyddas?
- Hur mycket får brandskyddet kosta?
- Vilka konsekvenser får en brand?

### 3.1 Skadekriterier

Det är viktigt att se helheten vid bedömning av ett eventuellt brandtillbud. I bedömningen ingår bl a att identifiera acceptabla skadekriterier mot människa, natur och material.

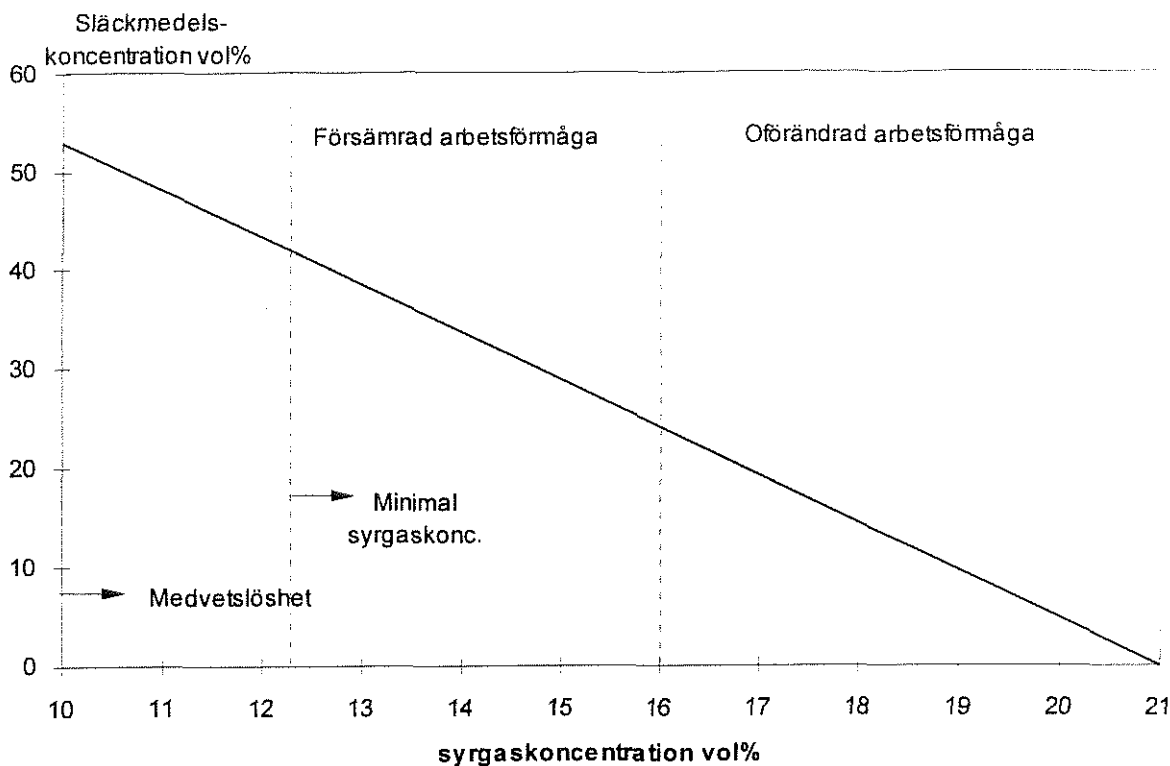
#### 3.1.1 Skadekriterier för människan

*Utrymningstid:* Det måste finnas tillräckligt med tid att utrymma lokalen för de personer som eventuellt befinner sig i densamma då släcksystemet skall utlösas. Tid för utrymning bestäms av vilket släckmedel som används. Det måste även finnas en tillfredsställande visibilitet, om systemet är dimensionerat för utlösning i bemannade utrymmen.

*Egentoxicitet hos släckmedlet:* Släckmedlets egentoxicitet måste vara känd och även hur mycket syrgashalten i lokalen minskar då systemet löses ut (om det krävs en hög släckmedelshalt minskar syrgashalten). Hur mycket syrgashalten kan sjunka utan att påverka människan visas i figur 3.1. Figuren illustrerar vilka gränser som gäller för vältränade astronauter och försöken är utförda av NASA [19]. Observera att givna värden endast gäller för den testade provgruppen och inte generellt för alla människor.

*Toxicitet vid brand:* Vilka förbränningsprodukter bildas i samband med släckning av brand och i vilka mängder? Var ligger de för människan acceptabla toxikologiska gränserna för respektive förening och vad blir den totala toxiciteten?

*Värme:* Strålningsvärmens från branden påverkar människan negativt. Hur stor värmepåverkan vi klarar utan att få allvarliga skador visas i bilaga 1.



Figur 3.1 Minskning av syrgaskoncentrationen vid en ökad volymkoncentration släckmedel. Vid låga syrgaskoncentrationer är risken för medvetslöshet stor.

Det är mycket viktigt att redan på planeringsstadiet ta reda på möjliga halter av toxiska föreningar då de berör den personliga säkerheten. Toxicitetsproblematiken beskrivs vidare i kapitel 5. Dock diskuteras endast toxicitet vid släckning med halonersättningsmedel. Vad som bildas om branden **inte** släcks behandlas ej. Det är naturligtvis viktigt att analysera vilka scenarion och vilka toxiska föreningar som kan bildas om branden inte släcks innan den blir fullt utvecklad. En relevant bedömning av toxiciteten vid släckning av brand bör behandla både släckmedlets och brandens toxicitet.

### 3.1.2 Skadekriterier för naturen

*Via luft:* Släckmedlet i sig kan påverka naturen via luften om det är ozonnedbrytande (ODP) och/eller om det leder till en växthuseffekt (GWP). Om utsläppet sker i samband med brand bildas dessutom sot och förbränningsgaser, som transporteras bort från brandhärden via luften. Om man vill minska utsläppet av sot och förbränningsprodukter är det nödvändigt med en snabb släckning.

*Via mark och vatten:* Släckmedel som t ex skum och pulver kan skada både mark och vatten om sanering ej sker efter brand. Även toxiska ämnen som bildas under branden, eller som frigörs i samband med brand kan med vatten som bärare förgifta mark och vattentäkter.

### 3.1.3 Skadekriterier för material/materiel

*Tryckändringar:* Vid utlösning av ett släcksystem kan stora tryckökningar uppstå under mycket korta tidsförlopp, vilket kan leda till materielförstörelse. Detta beaktas vid design av täta konstruktioner med hjälp av t ex tryckavlastningsluckor. Vid utlösning av ett system med vattendimma bör det beaktas att en trycksänkning kan uppstå i lokalen.

*Värmeöverföring:* Goda värmeledande material (t ex metaller) kan leda värmen vidare och därmed också sprida branden då antändningstemperaturen är olika hos skilda material. Höga temperaturer påverkar även materialets hållfasthet olika beroende på vilket material det är. Materialet påverkas även negativt vid snabb nedkylning. Nedkylning kan leda till skador på bärande konstruktioner.

*Rök och korrosiva gaser:* Vid brand bildas förbränningsprodukter, tex sot, fluor- och klorradikaler. Både fluor och klor är korrosiva tillsammans med fukt, vilket kan leda till stora restvärdeskadorna. ( Restvärde är det som finns kvar då branden är släckt.)

*Vatten:* Den vattenmängd som inte förbrukas under själva släckfasen ställer ofta till problem vad gäller restvärdesarbetet. Det är inte ovanligt att den stora mängd vatten som vanligtvis används vid brandsläckning ofta orsakar mer skada än vad själva branden gör.

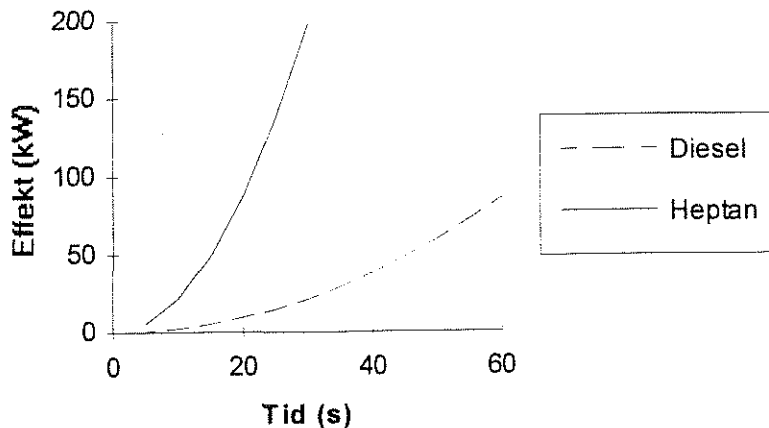
*Total kostnad:* Vid bedömning av kostnaden för ett släcksystem bör bli följande faktorer tas med i beräkningarna;

- Saneringskostnad efter brand.
- Saneringskostnad vid utlösning.
- Ekonomisk förlust pga förstörd materiel och/eller lokal.
- Ekonomisk förlust av oersättlig materiel, handlingar och information.
- Ekonomisk förlust pga minskade marknadsandelar.
- Konsekvens av eventuell stridsoduglighet pga brand.
- Tillgänglighet av släckmedlet.
- Släckmedlets kostnad kontra dess effektivitet.
- Kostnad vid fyllning av behållare efter utlösning.

Olika faktorer spelar in vid olika scenarion. För krigsmakten är förhindrande av personskada och stridsoduglighet av stor betydelse och därför mer relevant än tex att behålla marknadsandelar.

### 3.2 Identifiera tänkbara brandscenario

När skyddsmålet är bestämt är nästa steg att identifiera de tänkbara brandscenarion som kan uppstå. Beroende på vilket bränsle som används, lufttillgången och placeringen av branden får brandförloppet olika tillväxthastighet, se figur 3.2.



Figur 3.2 Diagrammet illustrerar brandtillväxten hos ett 0,13 m<sup>2</sup> stort bål med diesel och heptan som bränsle. Beräkningen av brandens tillväxt har gjorts enligt formeln  $Q = \alpha \times t^2$  med  $\alpha_{\text{diesel}} = 0,02$  och  $\alpha_{\text{heptan}} = 0,2$ .

### 3.3 Brandteknisk värdering

Skadekriterier och skyddsmål bildar tillsammans grunden för en brandteknisk värdering som visar vilka krav som ställs på släcksystemet för att skadekriteriet skall uppfyllas, figur 3.4. För att få ett fungerande system måste *alla* länkarna i släcksystemet vara rätt dimensionerade. Relevanta frågor är:

- Vilket släckmedel skall väljas för att uppnå skyddsmålet?
- Skall pulver, vatten, kondenserade eller komprimerade gaser användas, eller är kanske det bästa att bara tillsluta utrymmet och låta branden självslockna på grund av syrebrist!?

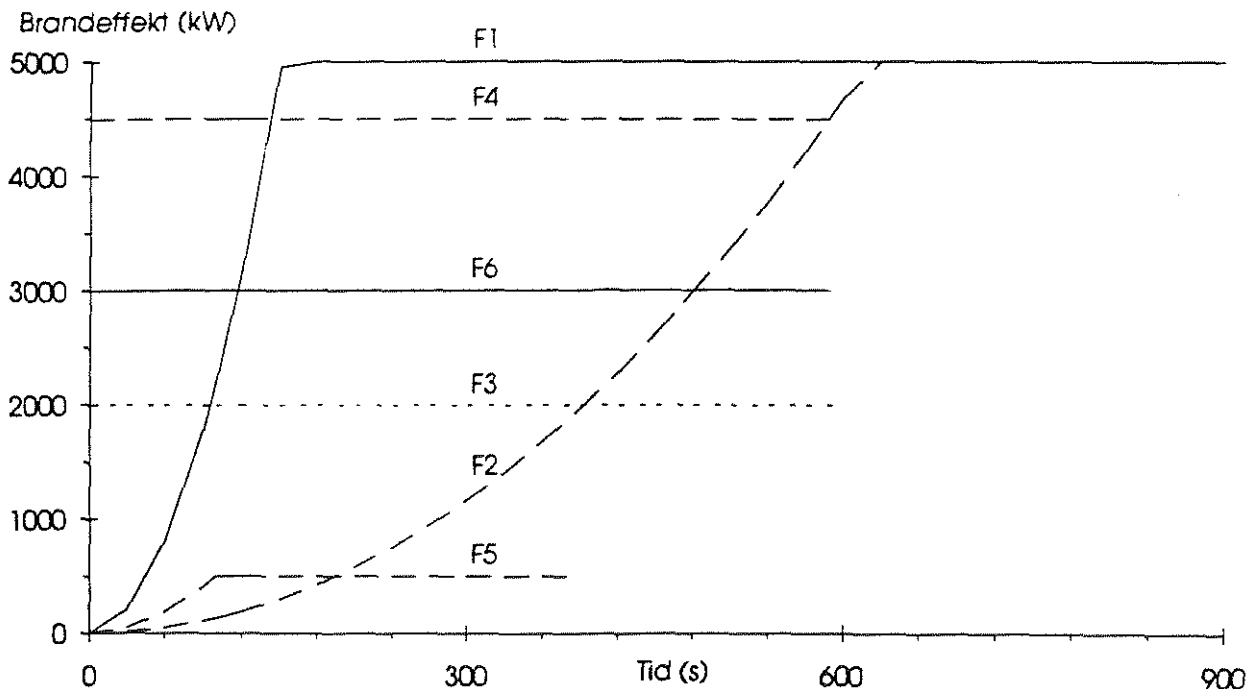
Om man bestämmer sig för att en snabb släckning eftersträvas, väljer man ett kondenserat släckmedel om släckningen dessutom skall vara ren. Det räcker dock inte med ett "snabbt" släckmedel om inte detektering och distribution fungerar med samma snabbhet. I all dimensionering av system är *detekteringen mycket viktig*.

### 3.4 Datorsimulering av olika brandscenarion

Som flödesschemat i figur 3.4 visar bestäms skyddsmålet av skadekriterier på människa, natur och material, acceptabel skadenivå och de ekonomiska ramar som föreligger. Här nedan följer ett datorberäknat exempel där 10 olika komponenter har testats i 36 skilda brandscenarion. Beräkningarna har utförts på Institutionen för Brandteknik, Lunds Universitet, tillsammans med Sören Isaksson på Statens Provningsanstalt och har gjorts med hjälp av Sydkrafts datorprogram Freja. Scenarierna var framtagna genom att kombinera 6 olika brandförlopp, figur 3.3, med 6 skilda ventilationsförhållanden enligt nedan.

F1 brand i lagerhylla	V1 liten dörr
F2 brand i lagerhylla	V2 stör dörr
F3 poolbrand	V3 helt stängd
F4 spraybrand	V4 liten dörr + rökventilation
F5 kabelbrand	V5 stor dörr + rökventilation
F6 gasolbrand	V6 endast rökventilation

Den fingerade lokalen där de olika scenariona utspelar sig har dimensioner enligt bilaga 2.1, där även komponenternas placeringar finns angivna. För respektive komponents skadekriterie, se bilaga 2.2.



Figur 3.3 Brandeffektkurvor som använts som indata i datorsimuleringen av komponentpåverkan. F1 - F6, se text.



Med hjälp av datorprogrammet Freja kan tid till skada på respektive komponent beräknas för givna brandscenarion. Detta gör att detektor- och släcksystem kan dimensioneras så att skadekriteriet inte överstigs. I exemplet har beräkningarna avbrutits vid övertändning, då bränslet tagit slut eller vid 1500 sekunder.

Resultatet av komponentpåverkan, som presenteras i bilaga 2.3 och 2.4, skall tolkas så, att vid värde  $< 1$  är komponenten oskadd, vid värde  $> 1$  har skadekriteriet överstigits. Det skall dock påpekas att osäkerheten i modellen gör att värdena kan skilja upp till en faktor 2 från det verkliga värdet.

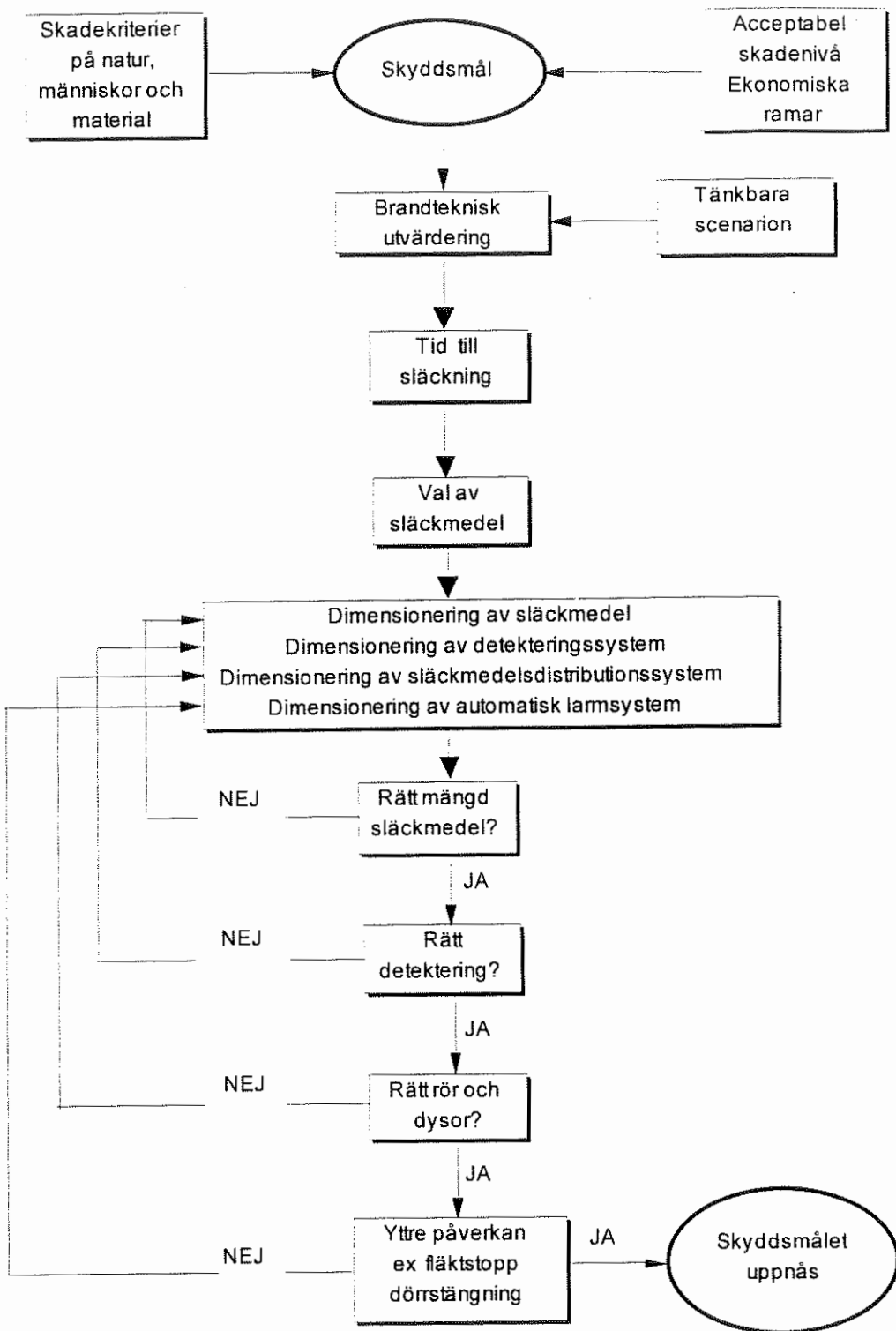
Vi vill med detta exempel visa att det finns möjlighet att göra både kvalitativa och kvantitativa bedömningar av vilket släcksystem som behövs. Resultatet från datorsimuleringar, som den ovan redovisade, ger en uppfattning om hur snabbt släcksystem som krävs för att uppnå det uppsatta skyddsmålet.

### **3.5 Sammanfattning av skyddsmål och skadekriterier**

Valet av släckmedel bör inte göras utifrån enstaka parametrar som t ex kostnad, mängd eller toxicitet. Det är istället helheten i systemdimensioneringen som är det väsentliga. Ett rätt dimensionerat släckmedel kräver även rätt detektering och riktigt dimensionerat hydrauliskt system. Det är viktigt att ha klart för sig vilka skadekriterier som är acceptabla och även kostnaden för släcksystemet samt att relatera detta till värdet på det räddade "objektet".

Val av släckmedel och detektering beror av tänkbara brandscenarion, personlig säkerhet och värdet av det räddade objektet. Krävs det ett snabbt och effektivt medel som dessutom minimerar restvärdeskadorna är de kondenserade gaserna att föredra. Andra medel är antingen svåra att distribuera eller har stora restvärdesproblem.

HFC-föreningarna, tex Halotron II och FM-200, är bra på att släcka branden både snabbt och rent. Det är därför viktigt att framhäva HFC-föreningarnas fördel även då den toxiska och ekonomiska aspekten diskuteras.



Figur 3.4 Flödesschema för bestämning av erforderligt släcksystem.



## 4 PROVNINGSMETODER

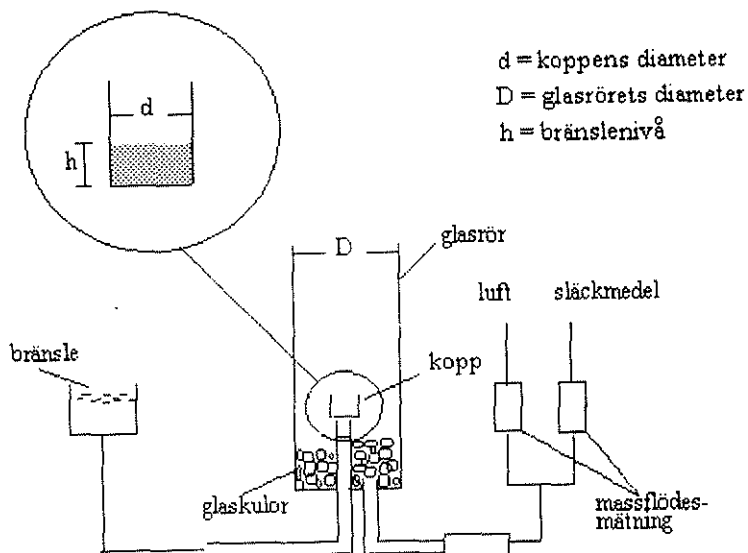
Det finns ett antal olika provningsmetoder som kan användas för att genom försök i mindre skala mäta ett släckmedels prestanda [1]. Då det är svårt att mäta ett släckmedels prestanda för varje tänkbart brandscenario, mäts ofta effektiviteten av ett släckmedel relativt ett erkänt släckmedel av god kvalitet, t ex som i detta fall Halon 1301. Det finns två typer av småskaliga provningsmetoder för att bestämma ett gasformigt släckmedels effektivitet:

- *Cup Burner test*, där släckmedlets förmåga att släcka en diffusionsflamma provas
- *Inerteringsprov*, där släckmedlets förmåga att förhindra antändning av en brännbar gasblandning provas.

En tredje metod att bestämma ett släckmedels prestanda gentemot ett bränsle är REMP-metoden. REMP, Required Extinguishing Media Portion, uttrycker kvoten mellan massflödet släckmedel,  $\dot{m}_e$ , och massflödet bränsle,  $\dot{m}_g$  vid släckning.

### 4.1 Cup Burner test

Det vanligaste sättet att mäta ett släckmedels prestanda på diffusionsflammar är med Cup Burner test. Utrustningen kan variera. En principskiss framgår enl. figur 4.1.



Figur 4.1 Utrustning vid Cup Burner test.

En diffusionsflamma bildas av bränsle som kan vara i fast, flytande eller gasform. Flamman är omgiven av ett glasrör. En blandning av luft och släckmedel förs in i glasröret och passerar förbi flammen. Koncentrationen av släckmedel ökas till dess att flammen upphör. Den släckmedelskoncentration (vol%) som åtgår då flammen slocknar mäts och noteras.

#### 4.1.1 Variabler i Cup Burner test

Det finns ett antal variabler i en Cup Burner test som påverkar resultatet. Variablerna är enligt följande ( jfr figur 4.1):

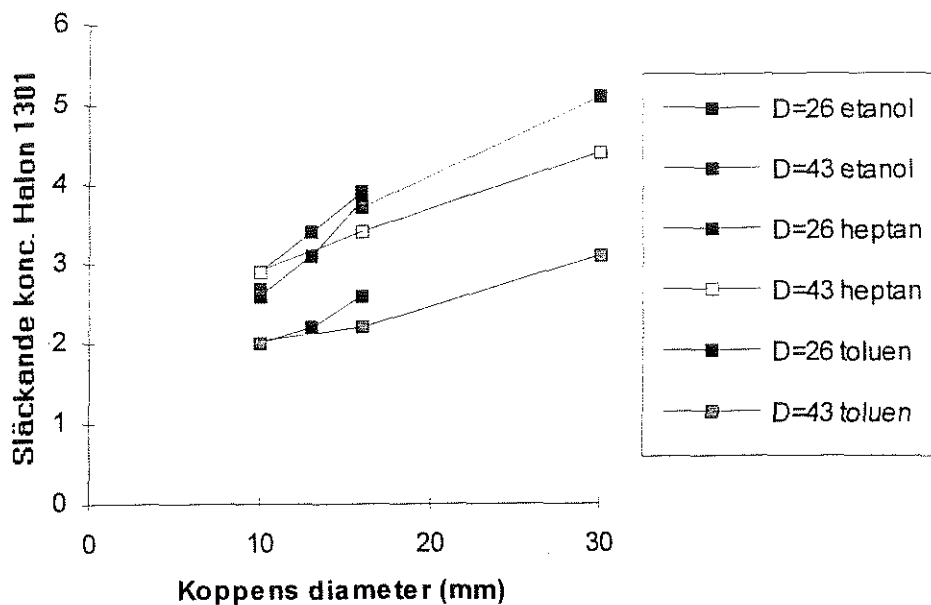
- bränslenivå (h),
- koppens diameter (d),
- glasrörets diameter (D),
- temperatur,
- luftflöde,
- operatör.

För att kontrollera utrustningen vid en Cup Burner test för Halon 1301 har försök gjorts på Fire Research Institute i Tokyo [ 2 ]. Försöken utfördes med den Cup Burner som ISO (International Organization for Standardization) förespråkar. I ISO:s utrustning är glasrörets diameter 85 mm och koppens diameter 26 mm. Tre bränslen användes: etanol, heptan samt toluen.

Parallellt utfördes prov där koppens diametern varierades. Luftflödet hölls dock konstant, 11,4 - 12,2 cm/s. Resultaten visade att vid en ökning av koppens diameter krävs en högre koncentration Halon 1301 för att släcka flammen ( tabell 4.1, figur 4.2). Även vid varierande storlek på glasrörets diameter noterades tydliga skillnader i släckkoncentrationer. Dessa var dock mera svårtolkade.

Tabell 4.1 Släckmedelskoncentrationens beroende av diametern vid Cup Burner försök.

Dimensioner utrustning		Konc. vid flamsläckning %		
D (mm)	d (mm)	Etanol	Heptan	Toluen
26,4	10	2,6	2,9	2,0
43,2	10	2,7	2,9	2,0
26,4	13	3,1	3,4	2,2
43,2	16	3,7	3,4	2,2
26,4	16	3,8	3,9	2,6
43,2	30	5,1	4,4	3,1
85	30	4,1	3,4	2,2



Figur 4.2 Resultat från Cup Burner test vid olika diametrar [2]. Figuren visar att erforderlig släckmedelskoncentrationen ökar när koppens diameter ökar.

#### 4.1.2 Kommentar till Cup Burner test

Att dimensionera släckmedelskoncentrationen med hjälp av Cup Burner test är mycket svårt, då variationerna i resultaten är stora. Mindre ändringar i utrustningen kan medföra skillnader i erforderlig släckmedelskoncentration med upp till 50 %. Även då utrustningen är densamma kan operatören "styra" resultatet. Vid jämförelse mellan Cup Burner test och ett riktigt brandscenario bör beaktas att värmebalansen inte är densamma. Vid Cup Burner test förekommer små diffusionsflammar, men vid ett större brandscenario kan en diffusionsflamma övergå till att få en förblandad flammans karaktär. Det krävs oftast en högre koncentration släckmedel för att släcka en förblandad flamma pga att den har mindre värmeförluster till omgivningen än en diffusionsflamma [ 3 ].

Dessa faktorer tillsammans gör det olämpligt att dimensionera erforderlig släckkoncentration med Cup Burner test.

## 4.2 Inerteringsförsök

Genom att tillföra ett gasformigt släckmedel kan antändning av en från början brännbar gasblandning förhindras. Vid s k bombförsök kan man finna den minsta koncentrationen släckmedel (vol%), som gör alla blandningar av bränsle-luft obrännbara. Gränsen för om blandningen är brännbar eller ej hamnar oftast nära stökiometrisk blandning, dvs ideala förhållanden mellan luft och bränsle. Även här finns en rad olika utrustningar vilka ger varierande resultat vad gäller erforderlig släckmedelskoncentration. Inerteringsgränsen bestäms enligt [4] till stor del av:

- försöksrummets geometri,
- antändningskälla,
- förbränningskriteriet som används för att indikera flambildning.

För att utreda variationerna närmare utfördes under 1993 ett antal bombförsök med 3 olika försöksutrustningar vid Lunds Universitet[ 4 ]. Utrustningen bestod av en kub, 8 l , en sfär, 13 l samt ett rum, 784 l (1/3 ASTM Room-corner test). Resultaten från försöken redovisas i kapitel 4.2.4.

### 4.2.1 Kub, 8 l

Kuben var 0,2 x 0,2 x 0,2 m och försedd med plexiglasrutor för att möjliggöra fotografering. På ovansidan satt en säkerhetslucka som öppnade vid ett övertryck av 0,5 atm. Det fanns 3 par elektroder på olika nivåer inne i kubens. Efter det att bränslet (propan), släckmedlet samt luften förts in i kubens blandades det med en fläkt i 10 min. En gnista på 0,7-150 joule alstrades mellan ett elektronpar (4 mm). Gnistan genererades genom att ladda en kondensator (0.012, 0.5, 2  $\mu$ F) med högspänning (10 - 15 kV). Övertrycket som bildades i kubens mättes med en känslig tryckgivare och överfördes till ett storage oscilloskop.

### 4.2.2 Sfär, 13 l

I sfären fylldes bränslet (propan) och släckmedlet först på i den evakuerade sfären. Luften komprimerades till 10 - 20 atm i en 0,7 l cylinder och fördes därefter in i sfären genom ett flertal munstycken. Detta för att få en homogen blandning. På samma vis som nämnts tidigare alstrades en gnista (4mm) och tryckstegringen mättes. Elektrodparet satt här i sfärens centrum.

#### 4.2.3 Rum, 784 l

1/3 ASTM Room- Corner Test användes. Öppningen till rummet stängdes med en plexiglasskiva. Bränslet (propan) och släckmedlet blandades på vikt med 1 g noggrannhet i ett tryckkärl. Tryckkärlet roterades sedan i 12 timmar för att få en homogen gasblandning. Blandningen fördes långsamt in i rummets nedre del och överskottet på luft ventilerades ut i taket på rummet. En fläkt startades och blandade gasblandningen. Syrekoncentrationen mättes för att konstatera om rätt blandning erhållits. Vid försök att antända blandningen alstrades en gnista i centrum av rummet, 15 cm ovanför golvet. Tryckstegringen mättes enligt ovan och även en videokamera följde försöket.

#### 4.2.4 Resultat av bombförsök

Tabell 4.2 Resultaten från inerteringsförsök med Halon 1301. Tabellen visar att inerteringsgränsen blir olika vid varierande försöksutrustning och gnistenergi.

Bombtyp	Gnista (Joule)	vol% släckm i släckm+luft+ propan	vol% propan i propan + luft + släckm	Tryckstegring (atm)
Sfär	56	8,0	4,0	0
"	56	7,3	4,0	0
"	56	7,1	4,0	>0,5
"	56	6,3	4,0	>0,5
Kub	0,7	7,5	3,9	0
"	0,7	7,1	3,9	0
"	0,7	6,5	3,9	0,01
"	0,7	6,0	3,9	>0,5
"	36	8,1	3,5	0
"	36	8,0	3,9	0
"	36	7,1	3,9	0,056
"	36	6,5	3,9	0,056
"	144	8,0	3,9	0,064
"	144	8,0	4,2	0,16
"	144	7,5	3,9	>0,5
"	144	7,0	3,9	>0,5
Rum	144	7,0	3,7	0



Tabell 4.3 Inerteringsgränser för Halon 1301

Ett vanligt kriterium för att fastställa inerteringsgränsen är att så länge en tryckstegring på mindre än 1 psi (= 0,68 atm) uppstår vid gnistbildningen är blandningen inte brännbar. Om detta kriterium används på ovan gjorda försök, blir inerteringsgränserna för Halon 1301 enligt tabellen. Inerteringsgränserna är givna som vol% släckmedel i en blandning av släckmedel, luft och bränsle.

Bombtyp	Gnistenergi	Inerteringsgräns
Sfär	56 Joule	7,1 -7,2 vol%
Kub	0,7 Joule	6,0 - 6,5 vol%
Kub	36 Joule	6,5 vol%
Kub	144 Joule	8,0 vol%
Rum	144 Joule	< 7 vol%

I tabell 4.3 visas att inerteringskoncentrationen ökar med ökad energi på gnistan i kuben om 1 psi (0,68 atm) används som kriterium för brännbarhet. Vid 784 l rummet (144 Joule) noterades ingen tryckstegring vid koncentrationen 7 vol %, men vid samma koncentration i kuben (8 l) registrerades en tryckstegring på 0,3 atm. Detta tyder på att inerteringsgränsen är på säkra sidan vid prov i små volymer, därför att gnistan i sig alstrar en tryckökning.

Förutom tryckstegringen kan även flamspridning kontrolleras med hjälp av en videokamera, se bilaga 3.1-3.2. I en liten bomb släcks flammen då den når taket på bomben om gnistenergin är tillräcklig. I det större rummet (1/3 rum) släcks flammen dock genom inträngning av den kalla gasblandningen (naturlig konvektion) ca 0,2 m ovanför gnistan. Detta tyder på att en hög gnistenergi i en liten bomb resulterar i värmning och förbränning av en gasvolym. Förbränningen skapar ett övertryck på över 1 psi i en liten bomb men ingen mätbar ökning i ett större rum.

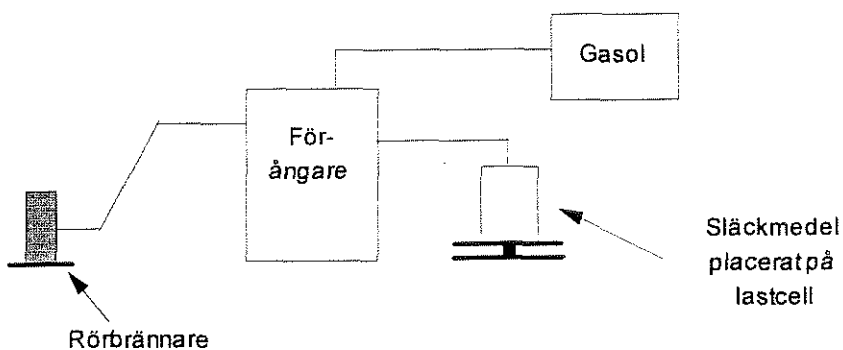
#### 4.2.5 Kommentar till inerteringsförsök

Att dimensionera släckmedelskoncentrationen med bombförsök som gjorts i liten skala (ca 10 l) med kriteriet för tryckstegring på 1 psi medför en överdimensionering av släckmedel då inerteringsgränsen eftersträvas. Vid jämförelse mellan inerteringsgränsen för olika släckmedel (vol%) bör utrustningen (volymen på rummet samt gnistenergin) vara densamma då kriteriet 1 psi används.

### 4.3 REMP och bomb-försök utförda på FM-200 och Halotron II

För att få fram jämförbara värden på FM-200 och Halotron II har vi utfört både bomb och REMP-försök på FM-200 vid Lunds tekniska högskola. REMP betyder Required Extinguishing Media Portion, dvs förhållandet mellan släckmedel och bränsle då flammen slocknar. Då tiden har varit knapp har vi valt att använda oss av värden för Halotron II som härör från försök utförda under ledning av doktor Göran Holmstedt, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, under 1992-1993. Försöken utfördes med samma försöksutrustning.

#### 4.3.1 REMP-försök



Figur 4.3 Förenklad bild av utrustningen vid REMP-försök. Förutom de på bilden utritade delarna används även mätutrustning för att bl a kontrollera syrgashalten, bildningen av kolmonoxid och koldioxid, temperatur och viktminskning av släckmedlet.

När REMP-försök skall göras måste först bränslet kalibreras så att massflödet bränsle per sekund,  $\dot{m}_g$  blir känt. Därefter tänds brännaren och efter ca 30 sekunder tillsätts släckmedlet. Släckmedlet tas ur tryckkärlet i vätskefas och leds in i förångaren. När släckmedlet förångats blandas det med bränslet och leds från förångaren till rörbrännaren. Bränslemängden,  $\dot{m}_g$  hålles konstant medan släckmedelshalten,  $\dot{m}_e$  ökas till dess att flammen släcks ut.

Resultatet från försöket finns redovisat i tabell 4.4 där även REMP-värden för Halotron II och Halon 1301 finns presenterade. Ju lägre REMP-värde ett släckmedel har desto effektivare är medlet som brandsläckningsmedel.

Tabell 4.4 REMP-värde för Halon 1301, FM-200 och Halotron II. I bilaga 4.1 finns de viktminskningskurvor för FM-200 och Halotron II som ligger till grund för bestämningen av föreningens REMP-värde.

	Halon 1301	FM-200	Halotron II
REMP-värde	4-5	11-12	10-12

Flera av HFC-föreningarna alstrar effekt när de kommer i kontakt med flammen. Effekttökningen *kan* bero på att en del av HFC-föreningens kol och väte innehåll förbränns, vilket medför att effekten ökar på grund av att den tillgängliga bränslemängden har ökat. I bilaga 4.2 finns effektkurvor för FM-200 och Halotron II presenterade, tagna från respektive förenings REMP-försök. Även temperaturkurvorna i rökkanalen är redovisade för att understryka att effekten verkligen har ökat. Kurvorna visar att FM-200 får en större effekttökning än Halotron II då släckmedlet introduceras i flammen. Detta kan förklaras med att den relativt kraftiga effekten som alstras av HFC 134a absorberas av svavelhexafluoriden och därigenom blir den totala effekttökningen mindre.

På grund av den kraftigt effekthöjande potentialen hos FM-200 är det viktigt att släcksystemet är rätt dimensionerat. För att minimera effekttökningen måste påföring av släckmedlet ske snabbt, och med en koncentration nära inerteringsgränsen.

#### 4.3.2 Bombförsök

Som beskrivits i kapitel 4.2. kan inerteringsförsök utföras med bl a en 8 l kub, vilket vi använde oss av. Utförandet av försöken finns beskrivet i kapitel 4.2.1.

Då luft och propan blandades vid stökiometri, 4,0 - 4,2 % propan, blev inerteringsgränsen för FM-200 ca 11 %, (inerteringsgräns enligt tillverkaren ligger på 11,6 %). Vi använde oss av brännbarhetskriteriet 1 psi och gnistenergin var 36 J. Resultatet från försöket finns redovisat i bilaga 4.3.

#### 4.4 Släckmedelskoncentration

När det förekommer skillnader i provningsmetoder blir resultaten varierande. I tabell 4.5 redovisas släckmedelskoncentrationen enligt tillverkaren för FM-200 och Halotron II relaterat till Halon 1301.

Tabell 4.5 Släckmedelskoncentration, vol%, för Halon 1301, Halotrin II och FM-200. Skillnaden i släckmedelskoncentration mellan FM-200 och Halotron II blir liten om dimensionering sker efter inerteringsvärden. Som kapitel 4.1 visar blir variationerna i släckmedelskoncentrationen vid Cup Burnerförsök stora om någon av inparametrarna ändras. Det bör observeras att de värden som presenteras i tabellen endast gäller heptan [20,21].

	Halon 1301	Halotron II	FM-200
Cup burner test	3,1	9-11	6,6
Inerteringskonc.	7	12	11,6



## 5 TOXICITET OCH SLÄCKVERKAN

En förenings egentoxicitet är ett mycket komplext begrepp. Vi skall här försöka förklara en del av de i debatten förekommande begrepp och också belysa några i sammanhanget viktiga parametrar. Därefter följer en mer detaljerad beskrivning av vilka toxiska föreningar som bildas i samband med släckning av brand med HFC-föreningar.

### 5.1 Egentoxicitet

#### 5.1.1 Hur bestäms vilka ämnen som är egentoxiska?

En av grunderna för klassificering av kemiska ämnen kommer från OECD [17]. Den ligger till grund för bla de regler som gäller för transport av farligt gods som ingår i IMDG, transport till sjöss, RID, transport via järnväg och ADR, transport via landsväg. Klassificeringen nedan är hämtad från Amerikanska transportdepartementet, DOT, dvs Department of Transportation. DOT delar in de giftiga kemikalierna i :

- *Klass A,*
- *Klass B,*
- *Irriterande ämnen.*

Utöver de tre klasserna finns ytterligare en som definieras som oklassad, dvs den gäller för alla klasserna ovan och berör inandning av toxiska ämnen. Den sistnämnda kom till efter den stora olyckan med metylisocyanat i Bhopal, Indien, då flera hundra människor omkom pga inandning av kemikalier.

Nedan följer en kort beskrivning av de tre klasserna.

#### *Klass A*

Klass A definieras som en "giftig gas eller vätska av sådan natur att en mycket liten mängd av gasen eller ångan från vätskan, blandad med luft är livshotande" [17].

#### *Klass B*

"De ämnen, vätskor eller fasta, förutom toxiska ämnen enligt klass A eller klassen irriterande ämnen, som är kända att vara så giftiga för människan att de kan orsaka fara för hälsan under dess transport; antas vara giftiga då de faller inom ett av de nedan angivna kriterierna."

- oral toxicitet
- toxicitet vid inandning
- toxicitet vid absorption via huden

För alla tre kriterierna fastställs toxicitetsklassen genom försök på djur. För mer detaljerad beskrivning av hur dessa försök går till, se [17].

### *Irriterande ämnen*

Definieras som " en vätska eller ett fast ämne som vid kontakt med brand eller vid exponering för luft ger ifrån sig farlig eller intensivt irriterande gas."

### *Toxicitet vid inandning*

Gäller alla ämnen som har "en kondenserad ångkoncentration vid 20° C som är lika med, eller 10 gånger större än dess LC<sub>50</sub>-värde i gasfasen om dess LC<sub>50</sub>-värde är 1000 ppm eller lägre" [17]. Toxiciteten vid inandning bestäms antingen med hjälp av djurförsök eller i vissa fall genom beräkning. För mer detaljerad beskrivning, se [17].

## **5.1.2 LC<sub>50</sub>-värdet**

Det finns flera olika metoder att bestämma toxicitet på. Ett accepterat tillvägagångssätt är med hjälp av LC<sub>50</sub>-värdet. Definitionen på LC<sub>50</sub>-värdet är.

"Den koncentration ånga/gas som då den kontinuerligt inandas av både han- och hondjur i 1 timme är mest sannolik att döda hälften av djuren inom 14 dagar" [17].

Koncentrationen anges i ppm ( milliliter per kubikmeter luft ).

Om LC<sub>50</sub>-värdet erhållits under annan tidsperiod än 1 timme finns det omräkningsfaktorer så att olika värden kan bli jämförbara med varandra ( förutsatt att försöken har utförts under i övrigt samma villkor ).

Varken Halon 1301 eller de nya HFC-föreningarna finns nämnda i klasserna ovan. I Sverige är de oklassade.

Tabell 5.1 LC<sub>50</sub>-värden enligt tillverkaren för Halotron II, FM-200 jämfört med Halon 1301. Då LC<sub>50</sub>-värdet för föreningarna i tabellen ligger över halva rumsvolymen bör den låga syrgashalten vara ett större problem än föreningarnas egentoxiska verkan [20,21].

<b>Förening</b>	<b>LC<sub>50</sub>( 4 h ) %</b>
Halotron II	>50
FM-200	>80
Halon 1301	>50

### 5.1.3 Toxicitetstest

Att göra en fullständig toxikologisk undersökning av ett ämne kräver idag både lång tid och framför allt mycket pengar. För att fördela det ekonomiska ansvaret har 17 av världens ledande CFC-tillverkare bildat programmet PAFT, Program for Alternative Fluorocarbon Toxicity Testing. Syftet med programmet är att snabbt och effektivt undersöka tänkbara ersättningskandidater till de nu förbjudna CFC-föreningarna. För närvarande finns det fem olika program igång, innehållandes de föreningar som presenteras i tabell 5.2.

Tabell 5.2 Föreningar upptagna i de idag pågående PAFT-programmen.

FÖRENING	PROGRAMMET AVSLUTAS
HFC 32	93 - 94
HFC125	94 - 95
HFC 134a	92 - 93
HCFC 123	92 - 93
HCFC 124	94 - 95
HCFC 141b	92 - 93

En av de ingående komponenterna i Halotron II är 134a som har genomgått hela PAFT-programmet och även blivit godkänd som en acceptabel ersättare till CFC 12. Heptafluorpropan, FM-200, finns för närvarande ej upptaget i PAFT-programmet.

AFEAS, Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study, är ett annat program som arbetar parallellt med PAFT-programmet. AFEAS undersöker ersättningsmedlen med utgångspunkt från medlens miljöpåverkan.

### 5.1.4 NOAEL och LOAEL

NOAEL och LOAEL är två gränser som i detta sammanhang berör ett ämnes påverkan på hjärtat. Uttrycken kommer ursprungligen från USA där de ligger som förslag att bli upptagna i amerikansk lag, men är det i dagsläget inte (nov 1993).

NOAEL = No Observed Adverse Effect Level, ingen störning på hjärtfrekvensen.

LOAEL = Lowest Observed Adverse Effect Level, den gräns där störningar på hjärtfrekvensen först upptäcks.

Påpekas bör att det i Sverige inte förekommer några regleringar vad gäller NOAEL och LOAEL, utan det toxicitetsvärde som är relevant här är LC<sub>50</sub>-värdet. Däremot bör det beaktas att känsliga personer med hjärtproblem kan få störningar på hjärtrytmen om koncentrationen av släckmedel blir för hög i den lokal där personen vistas.

Mer utvecklade teorier av de toxikologiska egenskaperna och bedömningar härav bör göras av en toxikolog då det ligger utanför vårt kompetensområde.



Tabell 5.3 NOAEL- och LOAEL-värde beräknade med "the dog test model" som gjorts av ICI. Ingen av föreningarna i tabellen har testats på djur för att fastställa gränsen för hjärtarytmi. Värden för FM-200 och Halotron II kommer från respektive tillverkare och jämförs här med Halon 1301 [20,21].

Förening	NOAEL (vol%)	LOAEL (vol%)
Halon 1301	7,5	10,1
FM-200	8,1	10,5
Halotron II	>8	>10

## 5.2 Toxicitet vid brand

Flera oberoende studier av halonersättningsmedel visar att nedbrytningsprodukterna vid släckning innehåller en betydligt större mängd toxiska HF-föreningar än Halon1301. I gengäld bildas mindre CO och ingen HBr [4,7,12].

Vid en toxicitetsanalys enligt NIST, National Institute of Standard and Testing, viktas gasernas toxicitet ihop i förhållande till deras LC<sub>50</sub>-värde. Detta innebär att om en gas har ett 50% lägre LC<sub>50</sub>-värde än en annan gas behövs bara halva mängden för att ge samma toxicitetsnivå.

Det finns flera uppgifter på gränsvärden för nedbrytningsprodukterna, i tabell 5.4 redovisas värden för CO, HBr och HF[15]. IDLH, Immediate Dangerous to Life or Health, är den maximala koncentrationen där utrymning måste ske inom 30 min om ej skadliga symptom eller bestående men skall uppstå. STLC står för Short-Term (10 minuter) Lethal Concentration.

Tabell 5.4 IDLH- och STLC-värden för CO, HF och HBr. För förklaringar, se text.

	IDLH (ppm)	STLC (ppm)
CO	500	5000
HF	20-30	400
HBr	50	>500

Det skall dock påpekas att branden i sig kan producera mycket giftiga kemiska föreningarna beroende på vad det är som brinner.

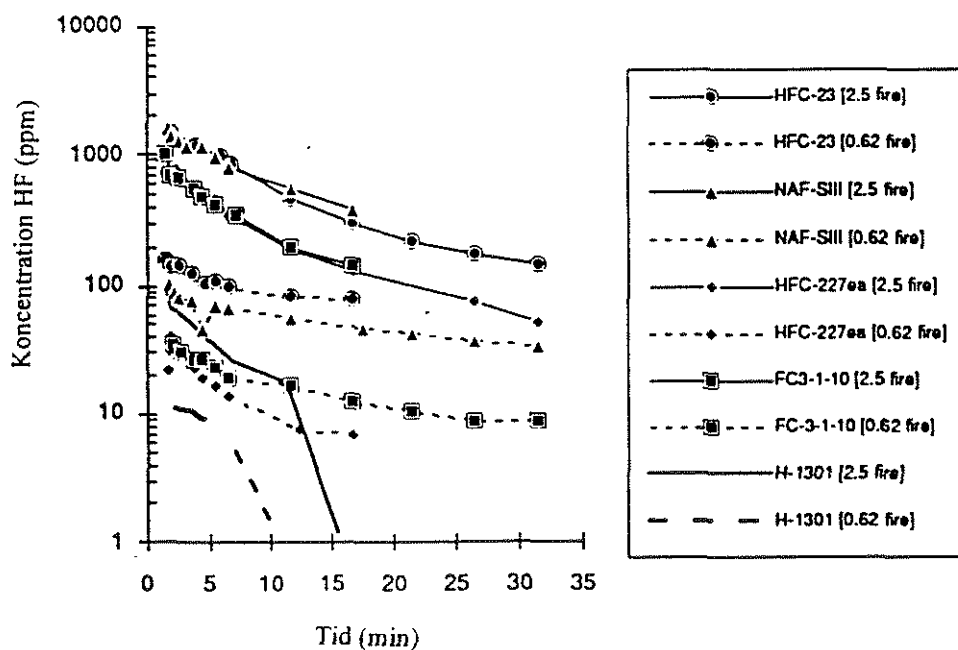
För att belysa HF-produktionen visas i kapitel 5.2.1-5.2.3 vad som gäller *generellt* för halonersättningsmedlen i förhållande till Halon 1301. Bildningen av HF beror dock på:

- brandens storlek,
- släcktid.

### 5.2.1 Brandstorlek och HF-produktion

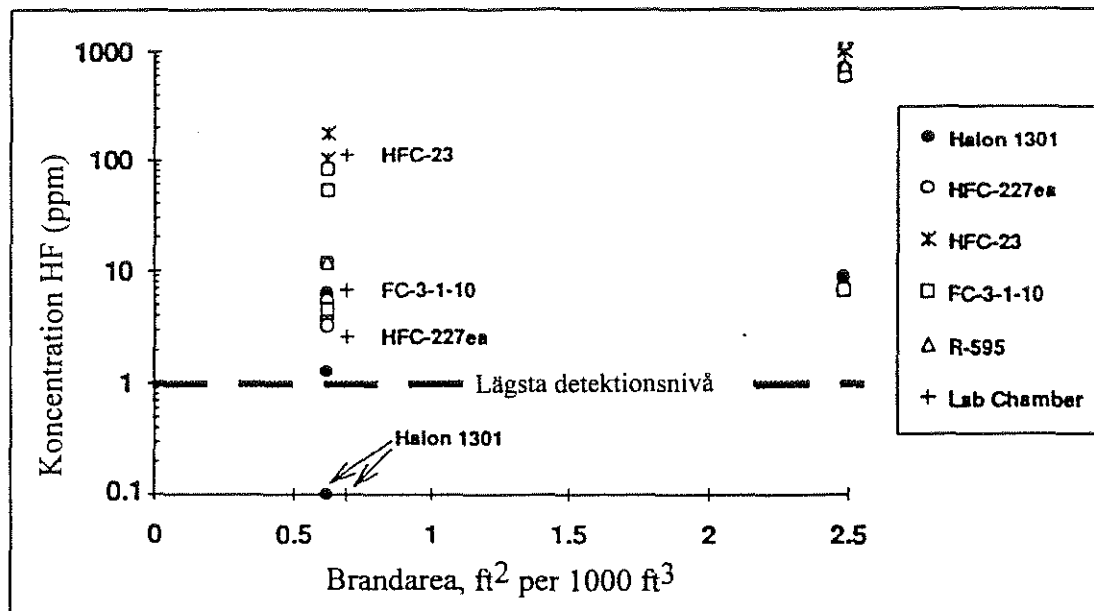
Produktionen av HF ökar med storleken på branden. Då utströmningstiden hålls konstant kan effekten av detta påvisas, (figur 5.1) [ 9 ].

I försöken är släckmedelskoncentrationen dimensionerad efter Cup Burner test+20 %. Rumsvolymen är 645 ft<sup>3</sup> (18,3 m<sup>3</sup>) och effekten 0,62 ft<sup>3</sup> / 1000 ft<sup>3</sup> (2,4 kW/m<sup>3</sup>) resp. 2,5 ft<sup>3</sup> / 1000ft<sup>3</sup> (16 kW/m<sup>3</sup>). Utströmningstiden är mindre än 7 sekunder och släcktiden mindre än 5 sekunder. Bränslet är heptan.



Figur 5.1 HF-produktion som funktion av effekten på branden [9]. Figuren visar att då utströmningstiden hålls konstant ökar bildningen av HF med en ökad brandarea.

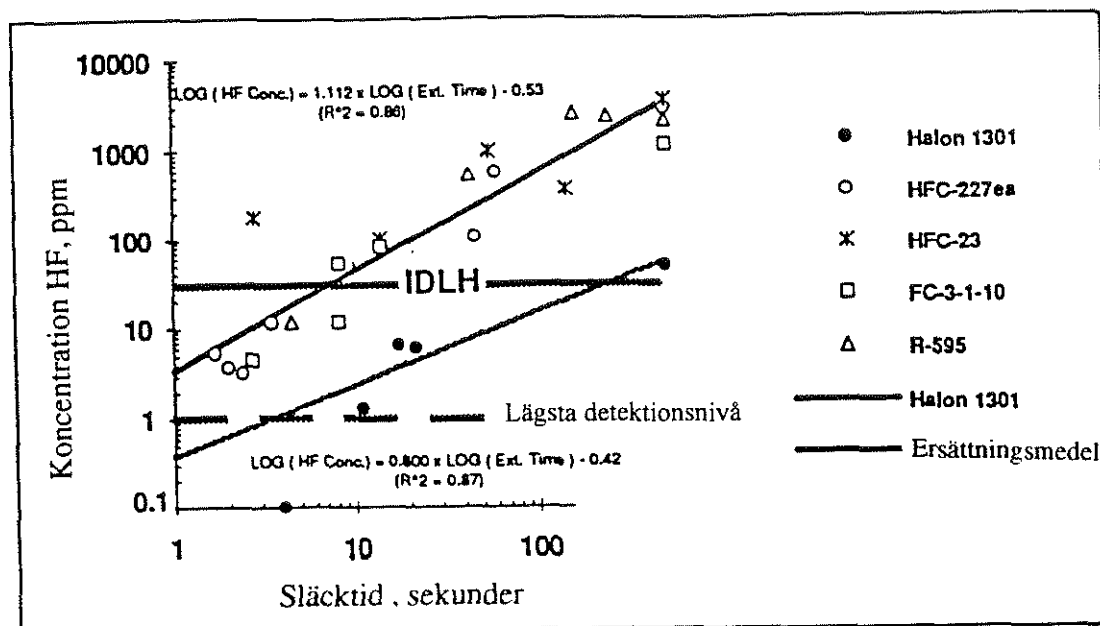
Den ökade bildningen av HF illustreras även i figur 5.2 för ett antal halonersättningsmedel där samma förhållande vad gäller bränsle/rumsvolym har använts. Rumsvolymen är 645 ft<sup>3</sup> ( 18 m<sup>3</sup> ). Även försök i liten skala redovisas där rumsvolymen är 6,18 ft<sup>3</sup> ( 0,18 m<sup>3</sup> ), markeras med + i figuren. Koncentration släckmedel är här okänd. Släcktiden var mindre än 20 sekunder.



Figur 5.2 HF-produktionen som funktion av effekten på branden [7].

## 5.2.2 Släcktid och HF-produktion

Vid *lång* utströmningstid av släckmedlet ökar släcktiden med större HF-produktion som följd. För att belysa denna ökning för ett antal halonersättningsmedel redovisas i figur 5.3 bildningen av HF som funktion av släcktiden. Effekten på branden är  $0,62 \text{ ft}^2 / 1000 \text{ ft}^3$  ( $2,5 \text{ kW/m}^3$ ), rumsvolymen är  $645 \text{ ft}^3$ . Koncentration släckmedel är okänd. Lång släcktid medför att en större mängd släckmedel kommer i kontakt med flamman och bildar högre koncentrationer av HF.



Figur 5.3 HF-produktionen som funktion av släcktiden [8]

### 5.2.3 Nedbrytningsprodukter innehållande svavelatomer

Ren SF<sub>6</sub> är en inert förening dvs den är kemiskt mycket stabil [18]. Lunds tekniska högskola utförde under våren 1993 en försöksserie som sedan analyserades av Statens Provningsanstalt. Syftet med försöksserien var att ta reda på vilka mängder av olika nedbrytningsprodukter som bildas i samband med brandsläckning med Halotron II.

Försöken visade att det bildas en mindre mängd SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, ca en tiondel av den i samma försök bildade mängden F<sup>-</sup>. Mätningar gjordes vid olika REMP-värden, se vidare kapitel 5.3, för att olika stadier av brandsläckningsförloppet skulle kunna studeras. Den låga mängden visar att bildningen av SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> är av underordnad betydelse.

### 5.3 Mätning av toxicitet vid REMP-försök

Toxiciteten kan även mätas vid REMP-försök. I en gasdiffusionsflamma påförs släckmedel till dess att flammen slocknar. Förhållandet mellan massflöde släckmedel ( $\dot{m}_e$ ) och massflöde bränsle ( $\dot{m}_g$ ) noteras under försökets gång. Vid olika REMP-värden mäts toxiciteten ( $\dot{m}_e / \dot{m}_g = \text{REMP}$ , Required Extinguishing Media Portion). Värden för 1301 och en gasblandning med HFC redovisas nedan [4]. Bränslet är propan.

Tabell 5.5 Toxicitet vid olika REMP-värden [4]. Tabellen visar hur mycket F<sup>-</sup> och Br<sup>-</sup> som bildas vid olika REMP-värden i förhållande till mängden bränsle. Även rörbrännarmetoden visar en högre HF-produktion för HFC än för Halon 1301. Tabellen skall tolkas så att släckningen av brand är i samma stadie då Halon 1301 har REMP = 0,79 och HFC har REMP = 3,8.

Halon 1301

REMP	0,79	1,25	1,43	1,5	2,2
F <sup>-</sup> / mg	0,02	0,09	0,07	0,1	0,14
Br <sup>-</sup> / mg	0,02	0,06	0,06	0,06	0,07

HFC

REMP	3,8	5,4	5,6	6,3	8,9
F <sup>-</sup> / mg	0,21	0,8	0,8	1,1	1,5

Tabell 5.6 CO-produktionen vid olika REMP-värden.

De nya släckmedlen producerar en mindre mängd CO och sot än Halon 1301.

Bildningen av CO når dock en topp när man närmar sig släckning. En mindre CO-produktion bör beaktas vid summering av den totala toxiciteten för släckmedlen[16].

Halon 1301

REMP	0,79	1,25	1,43	1,5	2,2
CO / mg	0,15	0,16	0,18	0,19	0,22

HFC

REMP	3,8	5,4	5,6	6,3	8,9
CO / mg	0,01	0,03	0,06	0,09	0,35

I figur 5.5 redovisas bildningen av HF vid släckning av brand för ett antal ersättningsmedel. Ersättningsmedlen avger 6-10 gånger mer HF än Halon 1301. De värden som inte är utprovade med rörbrännare (REMP) är tagna från försök vid släckning av rumsbrand från olika litteratur [4]. Koncentrationen av HF i rummet efter släckning har multiplicerats med rumsvolymen och dividerats med förbränningshastigheten ( före släckning ) och släcktiden.

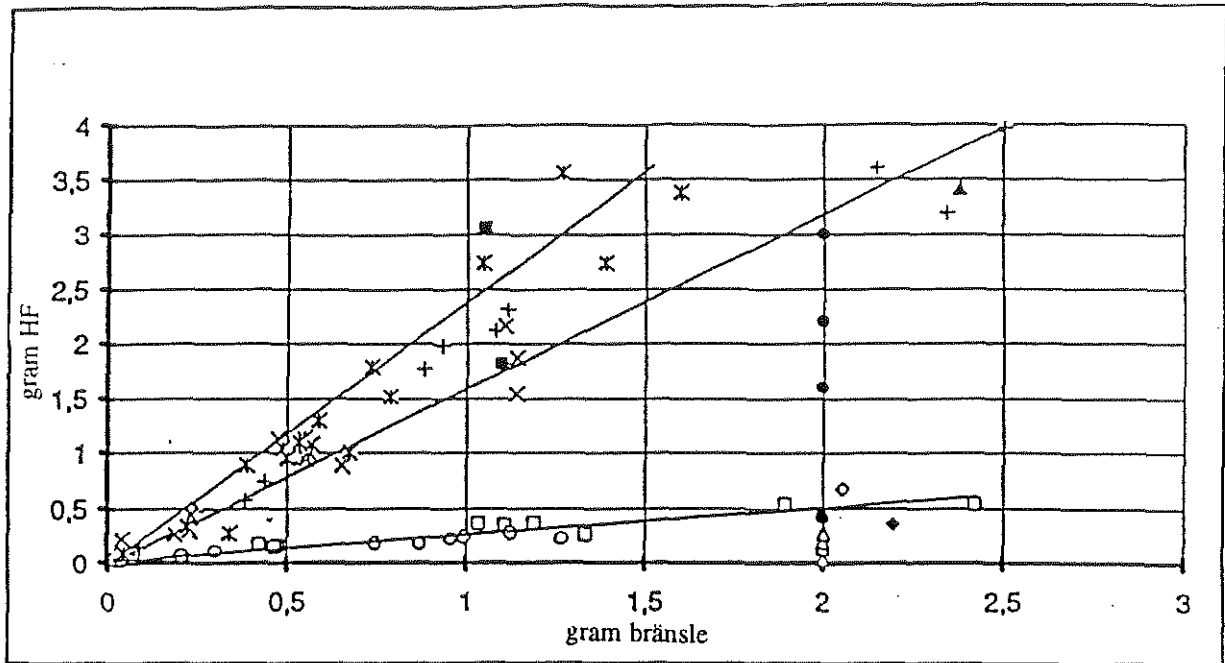
#### 5.4 Släcktid Halon 1301 / HFC-föreningarna

Vid en jämförelse mellan de nya släckmedlen och Halon 1301 finner man att släcktiden är en viktig parameter för bildningen av HF. För att bättre belysa detta redovisas i bilaga 5 en beräkning av vilken släcktid som krävs för ett släckmedel, om man accepterar samma koncentration av HF som för Halon 1301.

Förutsättningar:

- rumsvolym : 30 m<sup>3</sup>,
- bränsle : heptan,
- effekt : 30 kW,
- släcktid : 15 s ( för Halon 1301 ) .

Om bildningen av HF vid släckning med Halon 1301 sätts som en övre gräns för hur mycket HF som får bildas blir den maximala släcktiden, enligt beräkningarna i bilaga 5, 2,5 sekunder för en HFC-förening. Notera att *ingen* hänsyn tagits till att HFC-föreningarna producerar mindre CO. HBr och HF summeras här då deras gränsvärde vad gäller toxicitet är av samma storleksordning, (bilaga 4). Bildningen av HBr och HF följer modellen i figur 5.5 [4] och tabell 5.5 [4].



Figur 5.5 HF-produktionen för olika ersättningsmedel och för Halon 1301 [4]

• Halotron II 50 - 100 kW

+ HFC 227 ea vid släckande Cup Burner-koncentration 0,3 - 7,7 kW

x HFC 227 ea vid släckande Cup Burner-koncentration + 20% 0,3 - 7,7 kW

▲ HFC 227 ea 88 kW

\* PFC - 410 0,3 - 7,7 kW

△ Halon 1301 ref LTH 50 - 100 Kw

□ Halon 1301 vid släckande Cup Burner-koncentration 0,3 - 7,7 kW

◦ Halon 1301 vid släckande Cup Burner-koncentration + 20% 0,3 - 7,7 kW

◇ Halon 1301 88 kW

◆ HBFC 22BI 88kW

■ HFC 23 88 kW

## 5.5 Kommentar toxicitet och släckverkan

Av de studier som gjorts på halonersättningsmedlen tyder allt på att bildningen av HF kommer att styra utformningen av systemen. Vid en jämförelse med Halon 1301 bör det dock beaktas att det ej bildas några bromföreningar och CO-produktionen vid släckning är mycket lägre. Det är den *totala toxiska produktionen som begränsar ett släckmedels giftighet*. Brandens storlek och släcktiden har en större inverkan, med tanke på HF-produktionen, än vad de har för Halon 1301. För att inte HF-koncentrationen ska bli för hög, krävs:

- *Snabb detektering*: En ökad effekt på branden resulterar i hög HF-produktion vid släckning av brand.
- *Snabb släcktid*: Tiden från det att släcksystemet utlöst till det att branden är släckt bör vara så kort som möjligt.
- *Rätt släckmedelskoncentration*: För att nå de nödvändiga, snabba släcktiderna bör släckmedelskoncentrationen vara nära inerteringsgränsen. Inerteringsgränsen för respektive släckmedel fås genom bombförsök med aktuellt bränsle.





## 6 SYSTEMANPASSNING

För att klara de toxiska problem som nämnts i kapitel 5 krävs en släckmedelskoncentration nära inerteringsgränsen. Därigenom uppnår man det snabba släckförlopp, som är nödvändigt. FM-200 och Halotron II har inerteringsgränser omkring 12 vol%. Hur detta påverkar släckmedelsåtgång och systemanpassning beror på:

- molekylvikt,
- vätskedensitet.

Hur molekylvikten och vätskedensiteten spelar in förklaras i kapitel 6.1.

### 6.1 Släckmedelsåtgång

Följande exempel redogör för släckmedelsåtgången för FM 200 resp. Halotron II.

Förutsättning:

- rumsvolym : 100 m<sup>3</sup>
- släckmedelskoncentration Halon 1301 : 6 vol%
- släckmedelskoncentration FM-200 : 8 vol%
- släckmedelskoncentration Halotron II : 10 vol%

Om volymkoncentrationen sätts till ovan nämnda blir beräkningen enligt tabell 6.1. Avrundade värden används.

Tabell 6.1 Fysikaliska data för Halon 1301, Halotron II och FM-200.

	Halon 1301	FM 200	Halotron II
Konc. släckm. vol%	6	8	10
Molekylvikt g/mol	148,93	170	ca 120
Vätskedens. kg/l	1,58	1,4	1,3

Enligt allmänna gaslagen  $PV = nRT$ , utvecklar 1 kg (1000g) av släckmedlen följande volymer vid 20° C och atmosfärstryck.

$$P = 1.013 \text{ bar,}$$

$$V = m^3 \text{ (skall beräknas),}$$

$$R = \text{gaskonstant } 8,3143 * 10^{-2} \text{ bar l/K mol,}$$

$$T = 20^\circ = 293 \text{ K.}$$

$$n = m/M, n = \text{antal mol, } M = \text{molekylvikt g/mol, } m = \text{massa g}$$

$$\text{Halon 1301: } V=1000*0,083143*293 / (148,93*1,013)=161,4 \text{ l} = 0,1614\text{m}^3$$

$$\text{FM-200 : } V=1000*0,083143*293 / (170*1,013)= 141,4 \text{ l} = 0,1414 \text{ m}^3$$

$$\text{Halotron II: } V=1000*0,083143*293 / (120*1,013)= 200,3\text{l} = 0,2003 \text{ m}^3$$

Då koncentrationerna beräknats för 6, 8, resp. 10 vol% blir släckmedelsåtgången enligt följande:

$$\text{vol\%} = x*s/\text{rumsvolym},$$

$$x = \text{mängd släckmedel (kg)},$$

$$s = \text{utvecklad gasvolym per mängd släckmedel (m}^3/\text{kg)},$$

$$\text{rumsvolym} = 100 \text{ m}^3.$$

$$\text{Halon 1301: } 0,06 = x * 0,1614/100, x=37,2 \text{ kg}$$

$$\text{FM-200 : } 0,08 = x * 0,1414/100, x=56,6 \text{ kg}$$

$$\text{Halotron II: } 0,10 = x * 0,2003/100, x=49,9 \text{ kg}$$

## 6.2 Fyllning av behållare

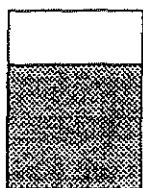
Med hjälp av under kapitel 6.1 redovisade beräknade mängder kontrolleras hur dessa påverkar fyllningen av en befintlig halonbehållare vid varierande fyllfaktor Halon 1301. Med fyllfaktor menas mängd släckmedel per behållarvolym. Givet att halonbehållaren har en volym av 33,8 l blir fyllfaktorn  $(37,2\text{kg} / 33,8 \text{ l}) = 1,1\text{kg/l}$ . Detta motsvarar en vätskefyllnad av behållaren på 70 vol % Halon 1301  $(37,2\text{kg}/(1,58 \text{ kg l}^{-1}*33,8 \text{ l}))$ .

I figur 6.1 redovisas vad som sker när behållaren ska fyllas med de nya släckmedlen vid varierande storlek på den ursprungliga halonbehållaren.

Ur figur 6.1 kan utläsas att även då Halotron II dimensioneras med en högre släckmedelskoncentration än FM-200 åtgår det en mindre mängd. Halotron II upptar även en mindre volym i behållaren än vad FM-200 gör vid given släckmedelskoncentration.

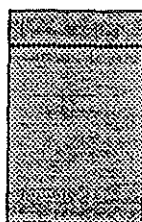
En ökad fyllfaktor medför att trycket i behållaren ökar då behållaren utsätts för värmepåverkan. Det är därför viktigt att vid installation av ett släcksystem veta i vilket temperaturintervall behållaren skall operera och även vilket tryck som behållaren får utsättas för. Diagram över tryckökningen vid ökad temperatur för olika fyllfaktorer tillhandahålls av respektive tillverkare.

Halon 1301  
Volym behållare: 33,8 l



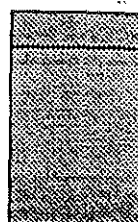
1,1 kg/l = 70 vol%  
m=37,2 kg

FM 200



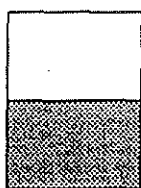
120 vol%  
m=56,6 kg

Halotron II



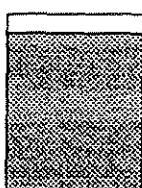
113 vol%  
49,9 kg

Halon 1301  
Volym behållare 46,5 l



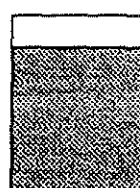
0,8 kg/l = 51 vol %  
m=37,2 kg

FM 200



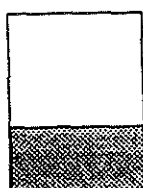
87 vol%  
m=56,6 kg

Halotron II



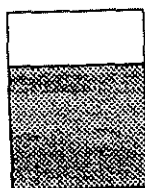
83 vol%  
49,9 kg

Halon 1301  
Volym behållare 62 l



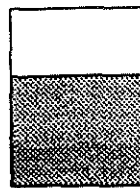
0,6 kg/l = 38 vol%  
m=37,2 kg

FM 200



65 vol%  
m=56,6 kg

Halotron II



62 vol%  
m=49,9 kg

Figur 6.1 En jämförelse av skillnaderna i fyllnadsgrad vid olika behållarvolym mellan Halon 1301, FM-200 och Halotron II.

### 6.3 Systemanpassning beroende på val av släckmedelskoncentration

För att vara på säkra sidan bör släckmedelsmängden vara nära inerteringen vid brandsläckning. Hur systemanpassningen påverkas om ett släcksystem dimensioneras med andra inblandningar framgår av tabell 6.2. Som referens har Halon 1301 används.

Tabell 6.2 Släcksystemets beroende på val av släckkoncentration.

Följande beteckningar införs:

MSIC - Minimum Safe Inerting Concentration,

GVEq - Gas Volume Equivalent =  $MSICc / MSICr$ ,

WEq - Weight Equivalent =  $GVEq \times (MWc / MWr) =$   
 $(MSICc / MSICr) \times (MWc / MW)$ ,

SVEq - Storage Volume Equivalent =  $WEq \times (LDr / LDc) =$   
 $(MSICc / MSICr) \times (MWc / MWr) \times (LDr / LDc)$ .

LDr = Liquid Density (referent)

LDc = Liquid Density (släckmedel)

MWr = Molecule Weight (referent)

MWc = Molecule Weight (släckmedel)

	Halon 1301	Halotron II	FM 200
Inertering (MSIC)	7	12	11,6
GVEq	1	1,7	1,7
WEq	1	1,4	1,9
SVEq	1	1,7	1,9
Inertering -20%	5,6	9,6	9,3
GVEq	1	1,7	1,7
WEq	1	1,4	1,9
SVEq	1	1,7	2,1
Tillv. rekommenderar	6	>9	8
GVEq	1	1,5	1,3
WEq	1	1,2	1,5
SVEq	1	1,5	1,7

## 6.4 Drivgasproblematik

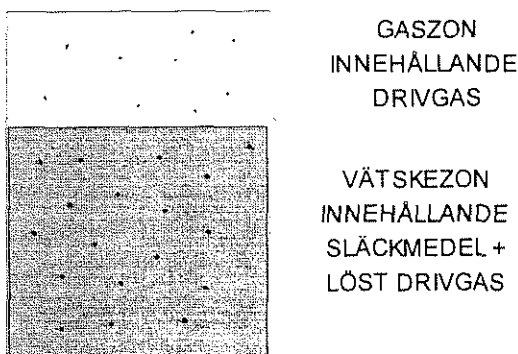
För att ett släcksystem med kondenserad gas ska fungera väl krävs följande:

- snabb distribution av släckmedlet genom rörsystemet ut i rummet,
- en homogen blandning luft / släckmedel måste bildas omgående efter utlösning i rummet.

Om släcksystemet ska fungera tillfredställande, även vid låga temperaturer, är det av stor betydelse hur kombinationen släckmedel / drivgas är sammansatt. Totalt sett beror dock funktionen på:

- ångtrycket,
- kokpunkten,
- drivgasens förmåga att lösa sig i vätskefasen.

Vid tillsättning av drivgas löser sig en del i släckmedlets vätskefas medan resten ligger kvar ovanför vätskan, ( figur 6.2 ). Vid lägre temperaturer hjälper drivgasen på toppen till att hålla ett genomgående högre tryck i rörsystemet vid distributionen av släckmedlet. Den lösta drivgasen håller också rörsystemets tryck uppe, men ser även till att vätskan finfördelas (dispersion) då den lämnar systemet. På så vis förångas vätskan lättare och en homogen blandning luft / släckmedel erhålles snabbare.



Figur 6.2 Behållare med släckmedel och drivgas. Figuren illustrerar hur drivgasen fördelar sig i både gas- och vätskezonerna hos släckmedlet.

För att kunna göra en bedömning av hur stor löslighet drivgasen har i släckmedlet används Henry's lag:

$$H_X = P_n / X_n.$$

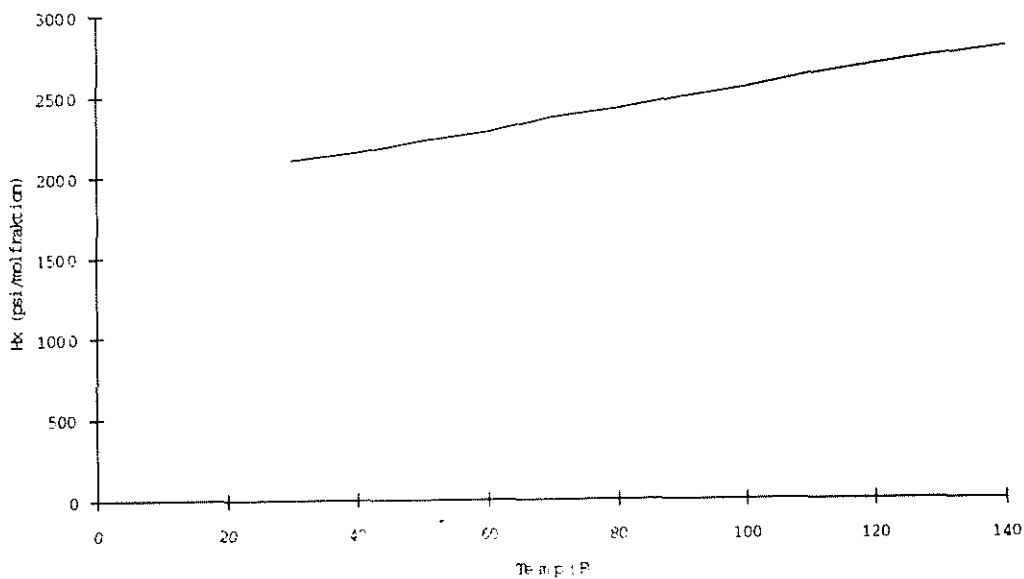
$H_X$  = Henry's lag konstant, psi (bar) per molfraktion

$P_n$  = partialtryck kväve, psi (bar)

$X_n$  = kvävekonzentration i vätska (molfraktion)

Vid atmosfärstryck har FM-200 en kokpunkt på  $-16,4\text{ }^\circ\text{C}$  (jfr Halon 1301  $-57,8\text{ }^\circ\text{C}$ ) och ett ångtryck på 4,0 bar vid  $21\text{ }^\circ\text{C}$ . Drivgasen består av kväve och lösligheten i vätskefasen kan beskrivas med Henry's lag.

Enligt tillverkaren av FM-200 är Henry's lag konstant beroende av temperaturen enligt figur 6.3. Noteras bör att värdet av Henry's lag är individuellt för varje enskild förening. Kondenserade gaser med relativt hög kokpunkt, har i regel svårare att övergå i gasfas vid låga temperaturer.



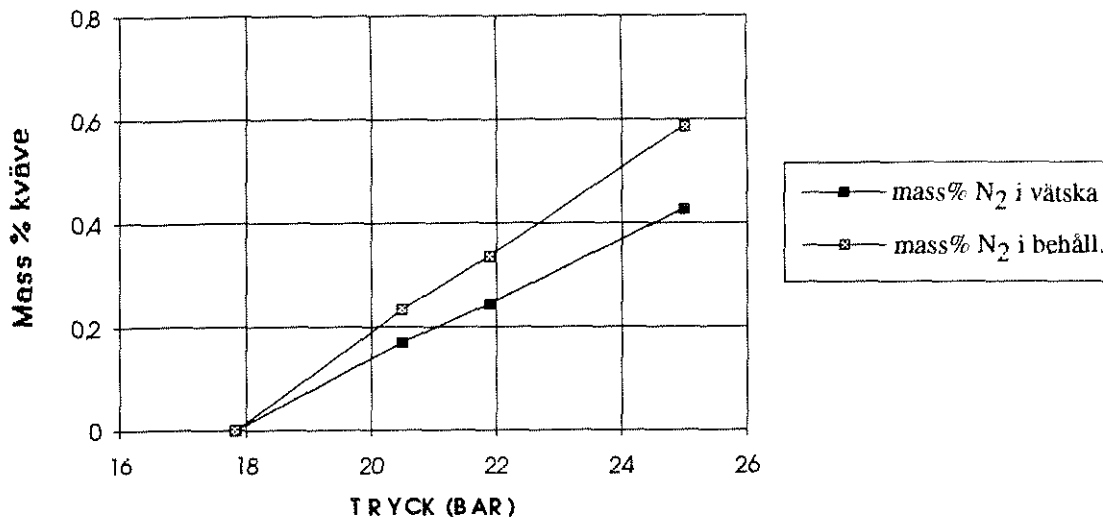
Figur 6.3 Henry's lag konstant beroende av temperaturen för FM-200

Tabell 6.3 Fysikaliska data för Halotron II

	Ångtryck, 20°C (bar)	Kokpunkt, atm.tryck (°C)
HFC 134a	5,7	-26,5
SF <sub>6</sub>	21,1	-64 subl.pkt
R23	41,9	-82,1
CO <sub>2</sub>	57,3	-78 subl.pkt

Halotron II består i första hand av R134a och SF<sub>6</sub>. Den tredje gasen är CO<sub>2</sub> eller i vissa fall R 23 (även andra HFC-föreningar kan användas). De ingående gasernas ångtryck och kokpunkt framgår av tabell 6.3.

Den tredje gasen, CO<sub>2</sub> eller R 23, har en mycket låg kokpunkt och fungerar i sig som en drivgas då den löser sig i vätskefasen. På det viset förångas vätskan snabbt när den lämnar munstycket (dispersion). Därtill kommer att kvävgas ( N<sub>2</sub> ) tillsätts för att önskat tryck, vanligen 25 bar, skall nås.



Figur 6.4 Mass% N<sub>2</sub> i Halotron II (vätska) respektive mass% N<sub>2</sub> totalt i behållaren vid rumstemperatur, fyllfaktor 1,0 kg/l.





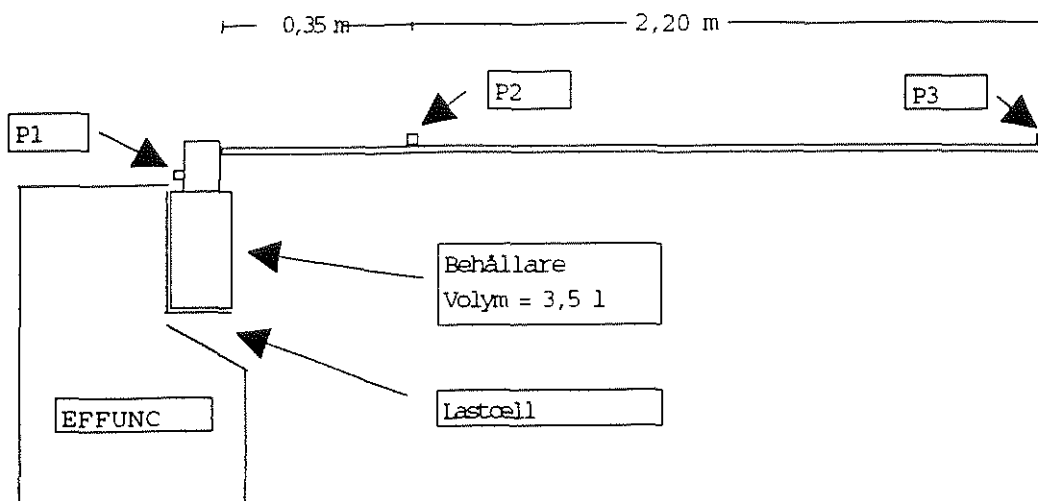
## 7 HYDRAULISKA BERÄKNINGAR

Flera halonsystem som är installerade idag är beräknade efter den standard som National Fire Protection Association givit ut (NFPA 12A). De nya halonersättningsmedlen har dock inte samma fysikaliska egenskaper som Halon 1301. Därför måste nya flödesberäkningar utföras för varje installation av de nya medlen. Med stor sannolikhet måste någon eller några av de ingående komponenterna bytas ut för att få önskad effekt med de nya släckmedlen. Det beror dels på att de fysikaliska egenskaperna skiljer sig från Halon 1301, och dels på att en större mängd släckmedel skall distribueras genom systemet på en kortare tid än för Halon 1301 ( se kapitel 6.1).

För att kontrollera hur Halotron II respektive FM-200 fungerar i ett halonsystem utförde vi försök i liten skala. Halon 1301, FM-200 och Halotron II provades i rumstemperatur. FM-200 och Halotron II provades även då behållarna kylts ned till  $-25^{\circ}\text{C}$ . Syftet med försöken var att se hur FM-200 och Halotron II fungerade tidsmässigt i förhållande till Halon 1301 vid samma fyllnadsgrad, alltså vid lika stor volymprocent vätska i behållaren. Vi kontrollerade även dispersionen vid munstycket, dvs släckmedlens förmåga att snabbt förångas och spridas efter det att det lämnat munstycket.

### 7.1 Försöksutrustning

Försöksuppställningen såg ut enligt figur 7.1. Släckmedelsbehållaren monterades i en EFFUNC, ( EFFUNC = effektiv funktionstid ), som vanligen används för att bestämma effektiv funktionstid för handbrandsläckare. Behållaren och rörsystemet monterades på en lastcell vilket gjorde det möjligt att mäta viktsminskningen, dvs flödet som lämnade behållaren (kg/s). Till Effuncen kopplades även en tryckgivare som registrerade trycket i behållaren (P1). Effuncen registrerade signaler för tryck och vikt ca 4 gånger per sekund och värdena lagrades i en datafil. På röret monterades två stycken tryckgivare (P2, P3) och signalerna från dessa lagrades på ett oscilloskop. För att i efterhand kunna se dispersionen efter munstycket videofilmades försöken.



Figur 7.1 Försöksuppställning vid Effuncförsök. Behållaren med släckmedel är placerad på en lastcell och tryck registreras i P1 - P3.

## 7.2 Flödesberäkningar

För att beräkna rörsystemet som användes vid försöken utgick vi från NFPA 12A. Flödesberäkningarna bygger på en tvåfasekvation.

$$Q^2 = (1,013 D^{5,25} Y) / (L + 8,08 D^{1,25} Z)$$

Q = Flöde, lbs/s

D = Innerdiameter på rören, inch

L = Ekvivalent rörlängd, foot

Y,Z = Faktorer beroende på tryck och densitet

Resultatet ger ett medeldrivtryck i systemet baserat på det stadiet när hälften av släckmedlet har lämnat munstycket. Vi valde att beräkna ett system med tömningstiden 8 sekunder och strypningen av flödet förlagd vid munstycket. De ingående delarna i systemet var:

- halonbehållare, 3.5 liter,
- spindelventil med vinklat utlopp, 16 mm, med stigrör,
- 2,55 m rör, innerdiameter 12,5mm.

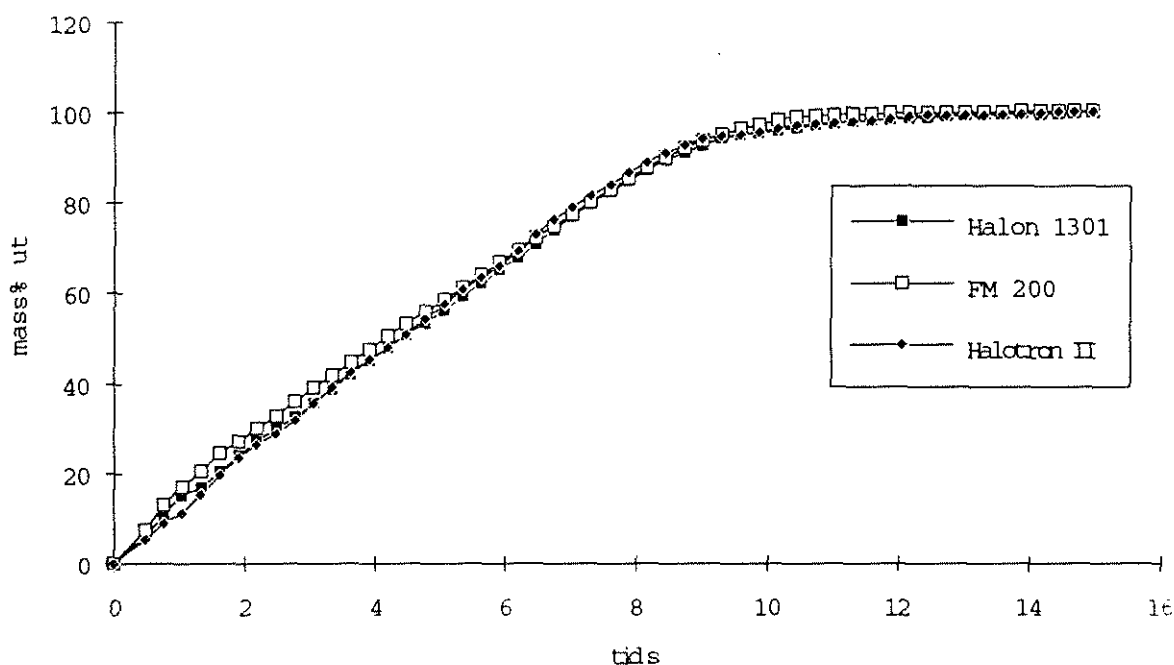
Systemet beräknades för fyllnadsgraden 70 vol% Halon 1301. Enligt NFPA 12A gav det ett medeltryck vid munstycket på 249 psi (17,2 bar). För att tömningstiden 8 sekunder skulle erhållas monterades ett munstycke med diametern 5,5 mm på röret. Då alla försök utfördes vid fyllnadsgraden 70 vol% innebar det en fyllfaktor 1.1kg/l Halon 1301, 1.0 kg/l FM-200 och 0.9 kg/l Halotron II. Samtliga behållare trycksattes till 25 bar vid rumstemperatur.

### 7.3 Resultat från Effuncförsök

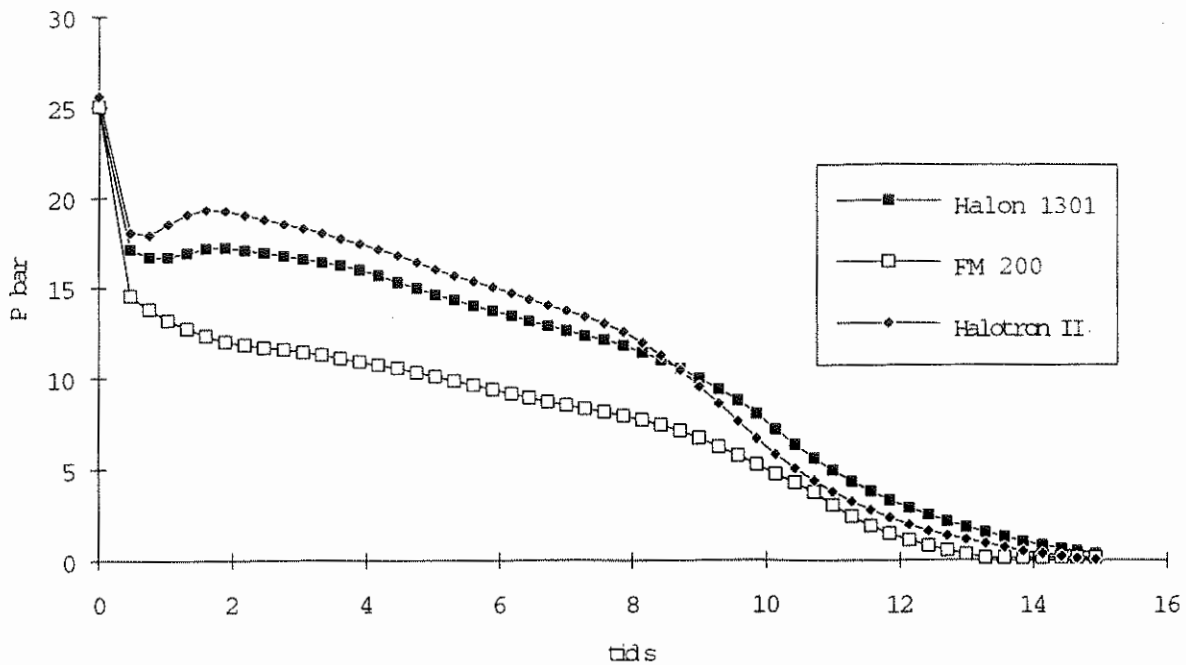
Fullständiga resultat från försöken som utfördes vid rumstemperatur redovisas för Halon 1301 i bilaga 6, för FM-200 i bilaga 7 och för Halotron II i bilaga 8. Resultaten från försöken där behållaren var kyld till  $-25^{\circ}\text{C}$  redovisas fullständigt för FM-200 i bilaga 9 och för Halotron II i bilaga 10.

#### 7.3.1 Resultat från försöken som utfördes då behållaren höll rumstemperatur

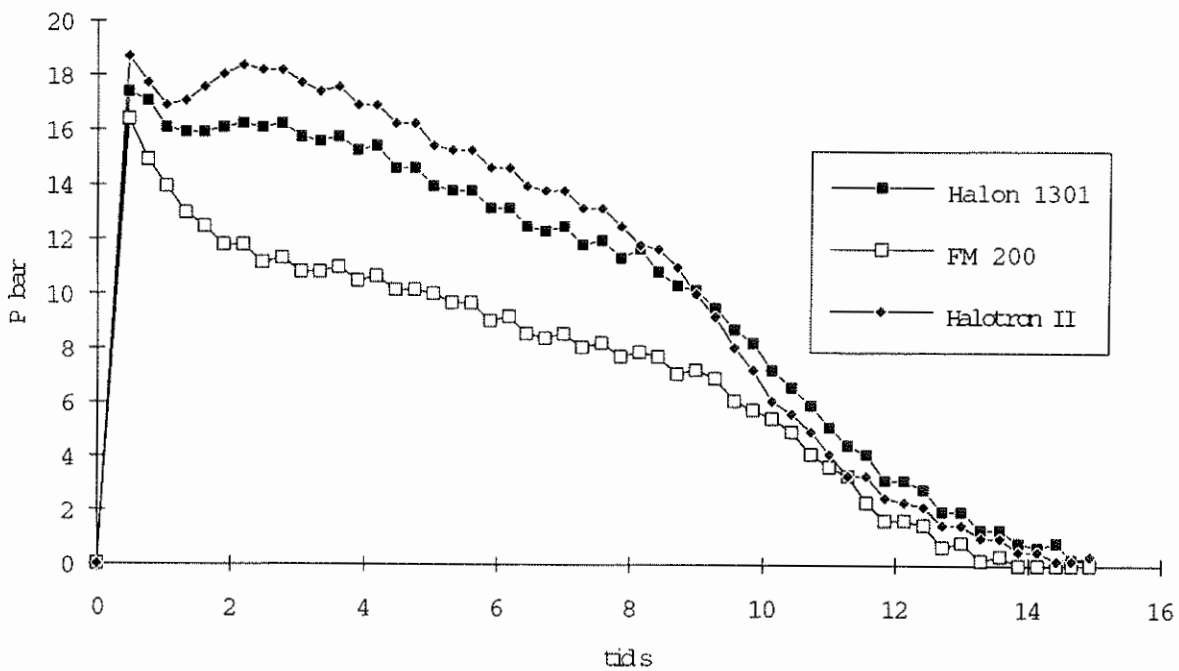
Då behållaren höll rumstemperatur visade det sig att tömningstiden var ca 8 sekunder för Halon 1301 vilket stämde överens med den beräknade tiden. Även FM-200 och Halotron II hade en tömningstid på ca 8 sekunder ( figur 7.2 ). Trycket i behållarna varierade enligt figur 7.3. Halon 1301 och Halotron II bygger upp ett extra tryck strax efter utlösningen av systemet. Sannolikt beror detta på att en del av den lösta drivgasen i vätskezonerna frigörs och på så vis stiger trycket i behållaren. Då det inte förekom några större förluster i systemet blev tryckfallet litet fram till munstycket ( figur 7.4 ). Halon 1301 och Halotron II gick snabbare över i gasfas än FM-200 då släckmedlet lämnat munstycket, se foto bilaga 6-8. Detta beror på att Halotron II och Halon 1301 har en lägre kokpunkt.



Figur 7.2 Mass% som lämnat munstycket som funktion av tiden. 8 sekunder efter det att systemet aktiverades hade ca 90 % av släckmedlen lämnat munstycket. Diagrammet visar att fyllnadsgraden (vol% vätska) är den dominerande faktorn vid beräkning av ett systems tömningstid med olika släckmedel, under förutsättning att de är trycksatta till samma nivå.



Figur 7.3 Trycket (P1) som funktion av tiden. Halon 1301 och Halotron II bygger upp ett extra tryck i behållaren strax efter utlösning av systemet. Detta beror förmodligen på att en del av den lösta drivgasen i vätskezonen frigörs och på så vis trycksätter behållaren.



Figur 7.4 Trycket (P3) som funktion av tiden. Tryckfallet från behållaren till munstycket var litet, jfr figur 7.3.

### 7.3.2 Resultat av försöken då behållaren höll -25° C

Till följd av att behållarna höll en temperatur av -25° C var trycket lägre vid dessa försök. Det medförde att tömningstiden blev något längre. FM-200 fick lite kortare tömningstid än Halotron II, vilket beror på att större delen av trycksättningen består av kvävgas (då FM-200 har ett lågt ångtryck). Halotron II övergick dock i gasfas direkt efter det att släckmedlet lämnat munstycket. Vid försöket med FM-200 noterades en större andel vätska då släckmedlet lämnat munstycket. Resultaten från dessa försök redovisas i sin helhet i bilaga 9 för FM-200 och i bilaga 10 för Halotron II. *Ett riktigt kallprov borde dock utföras där även omgivningen håller en temperatur på -20 till -30° C.*



## 8 SAMMANSTÄLLNING

Vi har i kapitel 1-7 belyst faktorer som spelar in vid ersättning av Halon 1301 med nya, halogenerade släckmedel. Bedömningen av ersättningsmedlen har gjorts utifrån en helhetssyn av dess för- och nackdelar. Nedan följer en sammanställning av rapporten.

### 8.1 Viktiga parametrar

*Skyddsmål:* Skyddsmålet bör bestämmas av acceptabla skadekriterier och de ekonomiska ramar som föreligger (kapitel 3).

*Val av släckmedel:* Valet av skyddsmål bestämmer vilket släckmedel som bör användas. Om en snabb och ren släckning eftersträvas bör de kondenserade gaserna (HFC-föreningarna) användas (kapitel 3).

*Provningsmetoder:* Då Cup Burner test ger stora variationer i resultatet vid bestämning av släckande koncentration, bör valet av släckmedelskoncentration utgå från inerteringsförsök (kapitel 4).

*HFC-föreningarnas toxicitet:* Egentoxiciteten för HFC-föreningarna anges med  $LC_{50}$ -värdet. Ersättningsmedlen bildar ca 6-10 gånger mer HF vid släckning av brand än Halon 1301. Däremot bildar de mindre CO och sot och ingen HBr. Bildningen av HF är beroende av släcktid och effekt på branden. Det skall dock beaktas att branden i sig producerar toxiska föreningar om den inte släcks (kapitel 5). Bedömningar av de toxiska föreningarnas påverkan på människan bör göras av en på området utbildad person.

*Släckmedelskoncentration:* För att nå en snabb släcktid med tanke på bildning av HF och en eventuell utveckling av effekt vid tillsats av släckmedlet i brandzonen bör släckmedelskoncentrationen ligga nära inerteringsgränsen (kapitel 4 och kapitel 5).

*Detektering:* Bildningen av HF ökar med en ökad brandeffekt. Detta medför att det krävs en snabb detektering av branden.

*Systemanpassning:* Vid installation av ett släcksystem måste hänsyn tas till det temperaturintervall som behållaren kan utsättas för. Dels med tanke på funktionen vid lägre temperaturer då trycket i behållaren sjunker med en längre tömningstid som följd, dels för att tryckökningen i behållaren vid höga temperaturer inte skall överstiga det för behållaren maximala fyllningstrycket (kapitel 6 och kapitel 7).



*Hydrauliska beräkningar:* Halonersättningsmedlen har inte samma fysikaliska egenskaper som Halon 1301. Dessutom krävs det en större mängd släckmedel som skall distribueras på en kortare tid. Detta innebär att nya hydrauliska beräkningar måste utföras vid installation av ersättningsmedlen i både nya och befintliga system (kapitel 7).

*Temperaturberoende:* Då de halogeniserade ersättningsmedlen skall användas i fasta släcksystem krävs en homogen blandning av släckmedel och luft för att erhålla bästa släckresultat. För att uppnå detta krävs en snabb förångning av släckmedlet då medlet lämnat munstycket (kapitel 7). Beroende på släckmedlens förångningsförmåga är det viktigt att specificera det temperaturintervall där systemet skall operera.

Tabell 8.1 Tabellen presenterar data och kommentarer för FM-200 och Halotron II, även Halon 1301 finns med som en referent. Tabellen bygger på studier och försök som utförts på de aktuella släckmedlen.

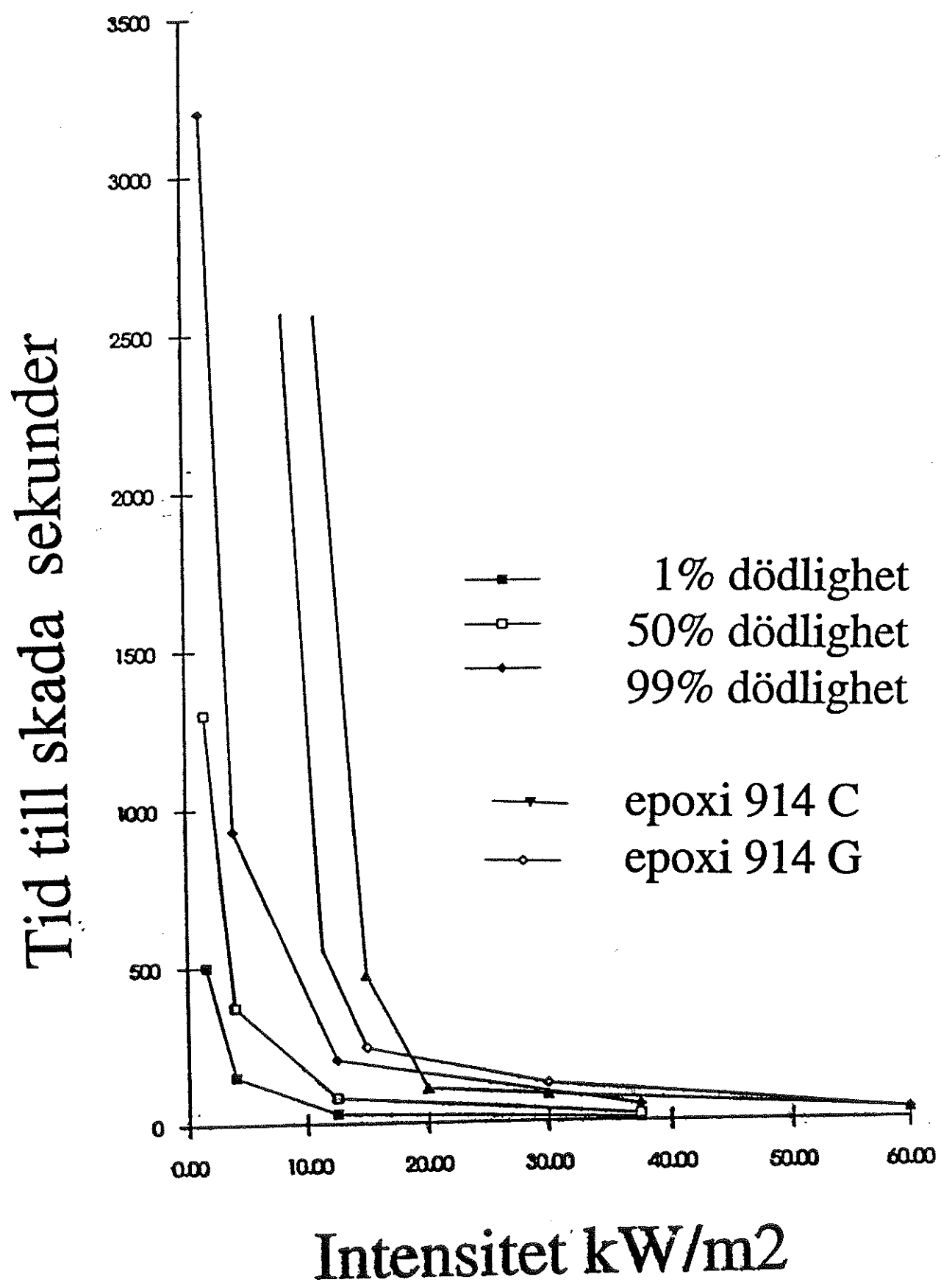
	Halon 1301	FM-200	Halotron II	Egna kommentarer
Gasblandning	Nej	Nej	Ja	Halotron består av 3 komponenter (kap 3) HFC-föreningarna har ODP = 0 (kap 2).  Lägre kokpunkt ger snabbare förångning, bör beaktas vid låga temperaturer.
ODP	10-16	0	0	
Molekylvikt	148,93	170,03	> 100	
Densitet (kg/l)	1,57	1,1	1,3	
Kokpunkt (°C)	-58	-16,4	-26 till -82	
Inert.konc. (%)	7	11,6	12	Dim. konc. bör vara nära inerteringsgränsen för att klara en snabb släckning.  Det åtgår en mindre mängd H II än FM-200 vid ovan rekommenderade dim. konc.
Rek dim. konc.(%)	6	8	>9	
GVEq	1	1,3	1,5	
WEq	1	1,5	1,2	
SVq	1	1,7	1,5	
PAFT-testad	-	Nej	Ja	HFC 134a har genomgått testprogrammet (kap 5.1.3).
REMP-värde (me/mg)	4-5	11-12	10-12	Flera av HFC-föreningarna kan utveckla effekt i kontakt med brandzonen (kap 4.3)
Hydrauliska försök, tömningstid (s)	8-10	8-10	8-10	Försöken visar att vid samma fyllnadsgrad av släckmedlen blir tiden till det att släckmedlet är ute ur systemet lika för ersättningsmedlen (P = 25 bar). <i>Det skall dock betonas att då Halon 1301 ersätts med de nya släckmedlen erfordras en större mängd släckmedel, vilket medför att tömningstiden blir längre då samma system används. Därför krävs det nya hydrauliska beräkningar vid installation av ersättningsmedlen.</i>

## 9 REFERENSER

- [1] R.G.Gann, J.D.Barnes, S.Davis, J.S.Harris, 1990, Preliminary Screening Procedures and Criteria for Replacement for Halons 1211 and 1301. NIST Technical Note 1278, USA.
- [2] Y.Saso, N.Saito, Y.Iwata, 1993, Scale Effect of Cup Burner on Flame-Extinguishing Concentration. Fire Research Institute, Mitaka, Tokyo, Japan. *Fire Technology*, 29, pp 22-33.
- [3] D.J.Rasbash, Mechanisms of Extinction. University of Edinburgh, Department of Fire Safety Engineering, England.
- [4] G.Holmstedt, P.Andersson, J.Andersson, 1993, Scale Effect on Extinguishing and Inerting Concentration and Thermal Decomposition Products Formation of Halon Alternatives. Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Sweden.
- [5] R.Rubenstein, J.S.Bellin, 1993, Short Duration High-Level Exposure to Halon Substitutes: Potential Cardiovascular Effects. U.S. Environmental Protection Agency, Health Risk Consultant, USA.
- [6] D.A.Purser, 1988, Toxicity Assessment of Combustion Products. The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Chapter 1-14, USA.
- [7] D.S. Dierdorf, T.A.Moore, S.R.Skaggs, 1993, Decomposition Product Analysis during Intermedia-Scale (6,18 ft<sup>3</sup>) Testing of NFPA 2001 Agents. Center for Global Environmental Technologies, USA.
- [8] P.J.DiNenna, M.Maynard, 1993, Evaluation of Alternative Agents for Halon 1301 in Total Flooding Fire Suppression Systems-Thermal Decomposition Product Testing. Columbia, Maryland, Kennedy Space Centre, Florida.
- [9] T.A.Moore, D.S.Dierdorf, S.R.Skaggs, 1993, Intermediate-Scale (645 ft<sup>3</sup>) Fire Suppression Evaluation of NFPA 2001 Agents. NMERI, USA.
- [10] M.L.Robin, 1993, Halon Alternatives: Recent Technical Progress. Great Lakes Chemical Department, USA.
- [11] R.E.Tapscott, 1993, Halon Substitutes-an Overview. Center of Global Environmental Technologies. NMERI, University of New Mexico, Albuquerque, NM87131-1376, USA.
- [12] R.S.Sheinson, 1993, Total Flooding Fire Suppression Testing in a 56 m<sup>3</sup> (2000 ft<sup>3</sup>) Compartment. Naval Research Laboratory, USA.
- [13] J.T.Houghton, B.A.Callander, S.K.Varney, 1992, Climate Change. The Supplement Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University, England.
- [14] W.M.Pitts, M.R.Nyden, 1990, Construction of an Exploratory List of Chemicals to Initiate The Search for Halon Alternatives. NIST Technical Note 1279.

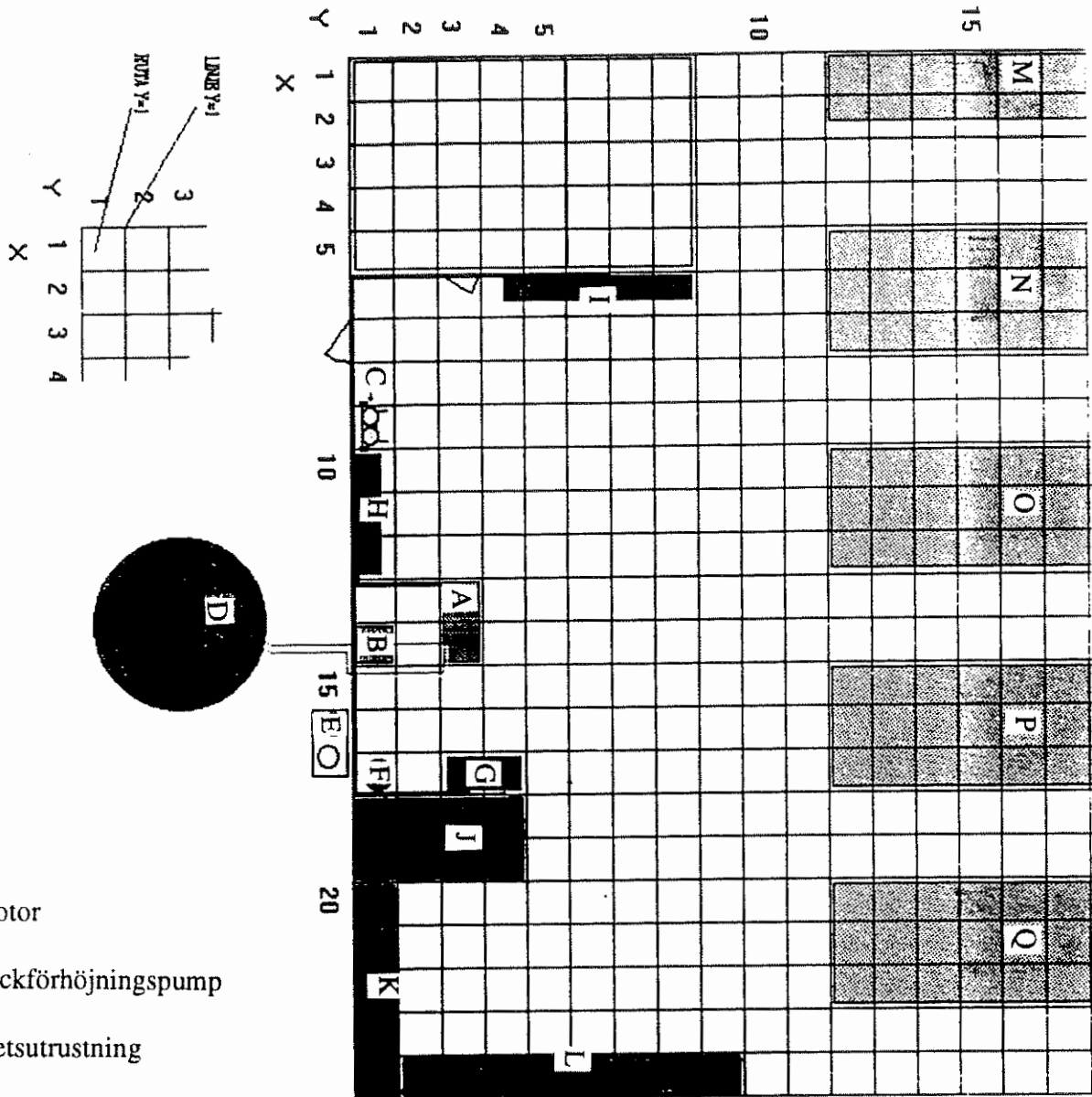
- [15] S.C.Gad, R.C.Anderson, Combustion Toxicology. G.D Searle & Co, Skokie, Illinois, Anderson Laboratories, Dedham Massachusetts, USA.
- [16] L-S.Hansen, K.H.Jørgensen, 1992, Combustion of Chemical Substances and the Impact on the Environment of the Fire Products, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.
- [17] Red Book on Transportation of Hazardous Materials, USA.
- [18] Produktionformation om Sulphur Hexafluoride från Solvay Fluor Und Derivaten, Postfach 220, Hans-Böckler-Allee 20, W-3000 Hannover 1, Germany.
- [19] J.F.Parker, 1972, Bioastronautics Data Book. Biotechnology Inc., Falls Church, VA, USA.
- [20] Produktionformation om Halotron II från Bejaro Brandskydds företaget AB, 1993, Lokalvägen 11, 246 42 Löddeköpinge, Sverige.
- [21] Produktinformation om FM-200, 1993, The New Solution For Fire Protection från Great Lakes Chemical Corporation, PO Box 2200, Highway 52 NW, West Lafayette, IN 47906-0200, USA.
- [22] Donald A. Fisher, Charles H. Hales, Wei-Chyung Wang, Malcolm K. W. Ko, N. Dak Sze, 1990, Model calculations of the relative effects of CFCs and their replacements on global warming, Atmospheric and Environmental Research INC, 840 Memorial Drive, Cambridge, Massachusetts 02139, USA, du Pont de Nemours and Company, Experimental Station, Wilmington, Delaware 19880-0320, USA
- [23] AFEAS, Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study, Sept 1992, Relative Contributions of Greenhouse Gas Emissions to Climate Forcing,
- [24] Malcolm K. W. Ko et al, juni 1993, Atmospheric Sulfur Hexafluoride: Sources, Sinks and Green house Warming, *Journal of Geophysical Research*.

# Skadekriterier ("värmedos")





Utformning av lokal till fiktivt referensobjekt



- A motor
- B tryckförhöjningspump
- C svetsutrustning
- D oljetank
- E gasolförråd
- F smörjolja
- G styrutrustning
- H högspänningsställverk
- I lågspänningsställverk
- J, K, L maskiner
- M, N, O, P, Q lagerhyllor

- F1 brand i lagerhylla O
- F2 brand i lagerhylla O
- F3 poolbrand vid F
- F4 spraybrand vid B
- F5 kabelbrand mellan G, I och H
- F6 gasolbrand vid väggen mot E



## Uppgifter till fiktivt referensobjekt

### Byggnad:

Väggar, 300 mm prefab lättbetongelement (100 lbtg, 100 min.ull, 100 lbtg) på 300 x 500 mm betongpelare cc 6 meter på insidan.

Tak, 200 mm lättbetongkassetter med 250 mm isolering och tre lager takpapp överst.

Öppningar, rökventilation i taket  $4 \times 1 \text{ m}^2$  på smältbleck  $70^\circ\text{C}$ . Fönsterband 1,5 m högt längs tak, hela vägg  $y = 0$  och väggarna  $x = 0$  och  $x = 24$  mellan  $y = 0$  och  $y = 9$ . Dörrar  $1000 \times 2100 \text{ mm}$  i vägg  $y = 0$ , ruta 7 och vägg  $x = 24$  ruta 11.

### Komponenter:

A. motor, stål, massa 1500 kg, skadekriterium: högst  $60^\circ\text{C}$  kontinuerlig omgivningstemperatur, max inre genomsnittstemperatur  $80^\circ\text{C}$ .

B. tryckförhöjningspump för bränsleolja, stål, massa 470 kg, skadekriterium: högst  $60^\circ\text{C}$  kontinuerlig omgivningstemperatur, max inre genomsnittstemperatur  $100^\circ\text{C}$  vid pumpning.

C. svetsutrustning, acetylgas 15 bar och syrgas 150 bar av konventionell typ, skadekriterium:  $50^\circ\text{C}$  kontinuerlig omgivningstemperatur,  $500^\circ\text{C}$  i 10 min.

D. oljetank, stål, höjd 11 m, innehåll  $300 \text{ m}^3$  EO1 temperatur  $+10^\circ\text{C}$

E. gasolförråd, innehåll 2 st P45 en inkopplad och en i reserv.

F. smörjolja, ett 200 liters fat.

G. styrutrustning för A, B, J, K, L. Elektrisk utrustning i plåtskåp, skadekriterium: tål max  $55^\circ\text{C}$  kontinuerlig omgivningstemperatur.

H. högspänningsställverk, elektrisk utrustning i plåtskåp, skadekriterium: tål max  $55^\circ\text{C}$  kontinuerlig omgivningstemperatur.

I. lågspänningsställverk och korskopplingskåp, elektrisk utrustning i plåtskåp, skadekriterium: tål max  $55^\circ\text{C}$  kontinuerlig omgivningstemperatur.

J, K, L är maskiner, stål, skadekriterium: tål max ytemperatur  $100^\circ\text{C}$ .

M, N, O, P, Q. lagerhyllor till tak, anpassade till sk SJ-pallar  $800 \times 1200 \text{ mm}$ , 1,5 m mellan nivåerna, pallarna är lastade  $1200 \text{ mm}$  högt med papplådor innehållande färdiga produkter i stötdämpande plastflingor.





Förbindelser:

D - B självtryck, 0,15 kg / s

B - A 50 bar 0,15 kg / s

A - D 20 bar 0,075 - 0,15 kg / s

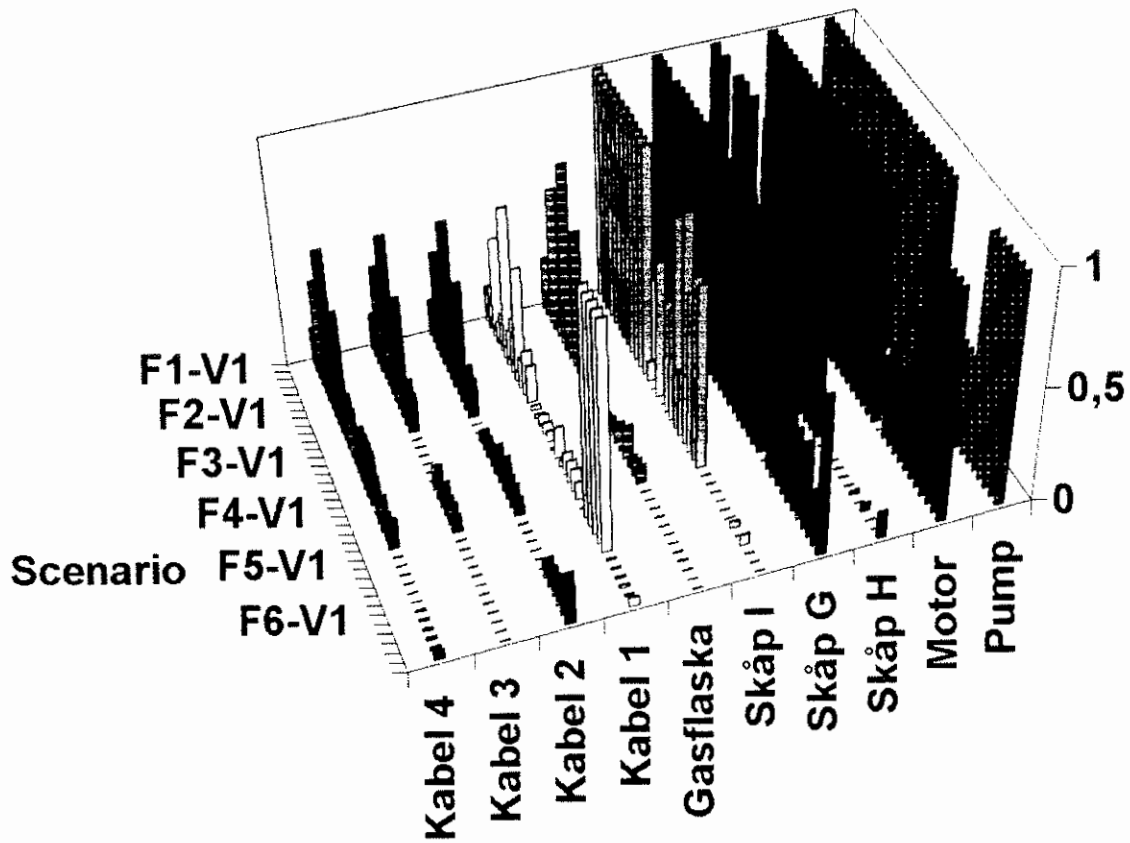
G - H - I kabelstegar PVC-kabel 250 MJ / m

G - A kablar 10 st 50 MJ / m

H - A kabel 50 MJ / m

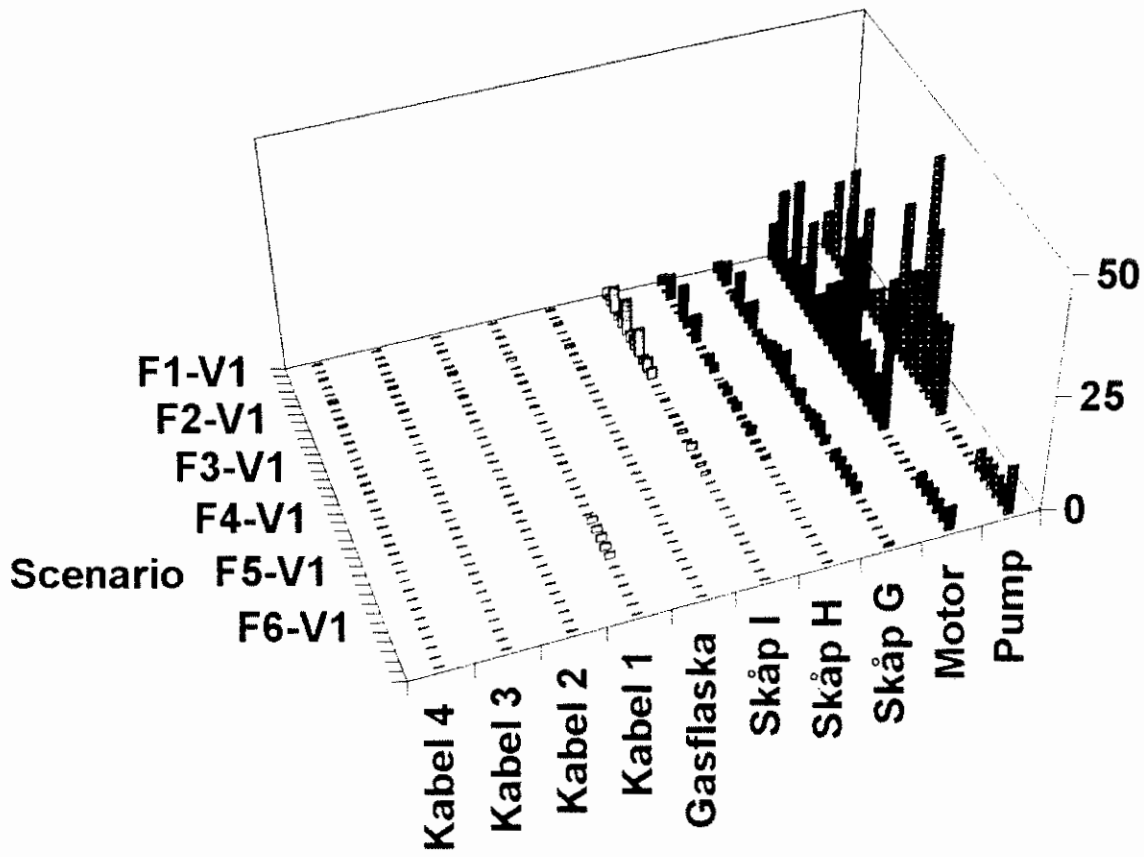
H - B kabel 100 MJ / m





Komponentpåverkan vid 36 olika brandscenarier. För respektive komponents skadekriterie, se bilaga 2.2



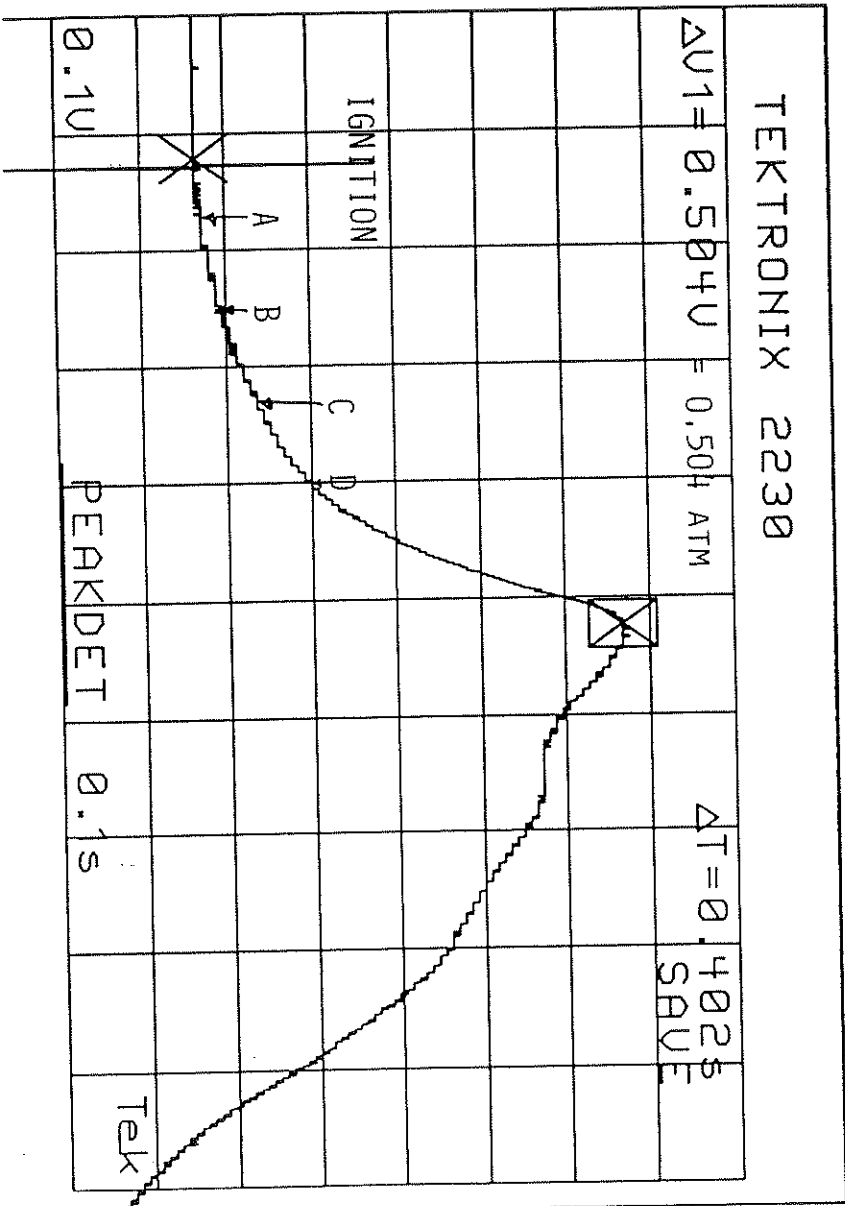
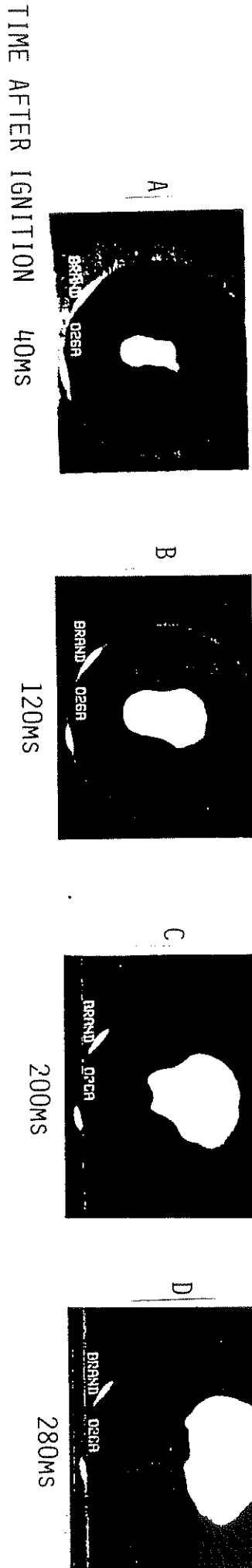


Komponentpåverkan vid 36 olika brandscenarier. Då stapeln når 1 är komponentens skadekriterie uppnått.



Bedömning av inerteringsförsök

PRESSURE AND VIDEO RECORDINGS,  
 HALON 1301, .7 JOULE, 6 VOL% AGENT, 3.0% PROPANE

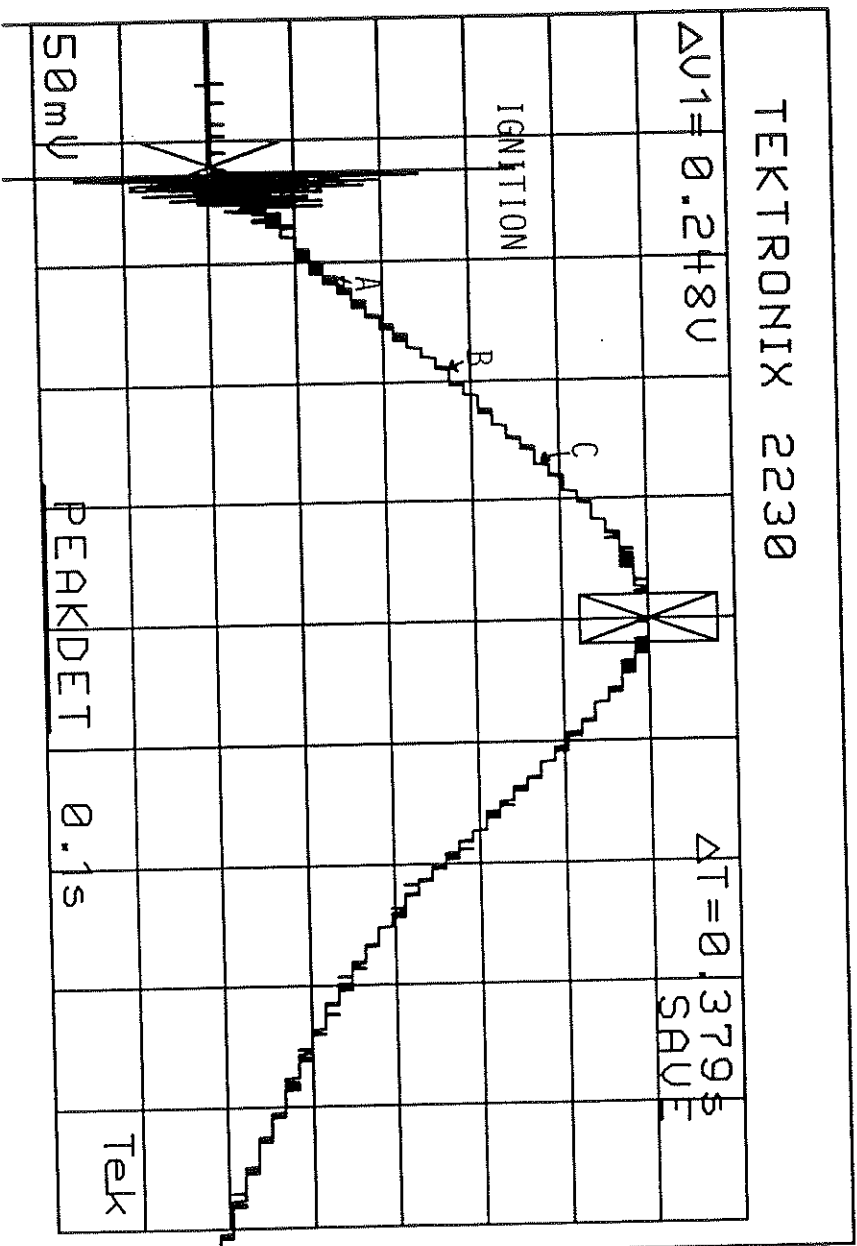
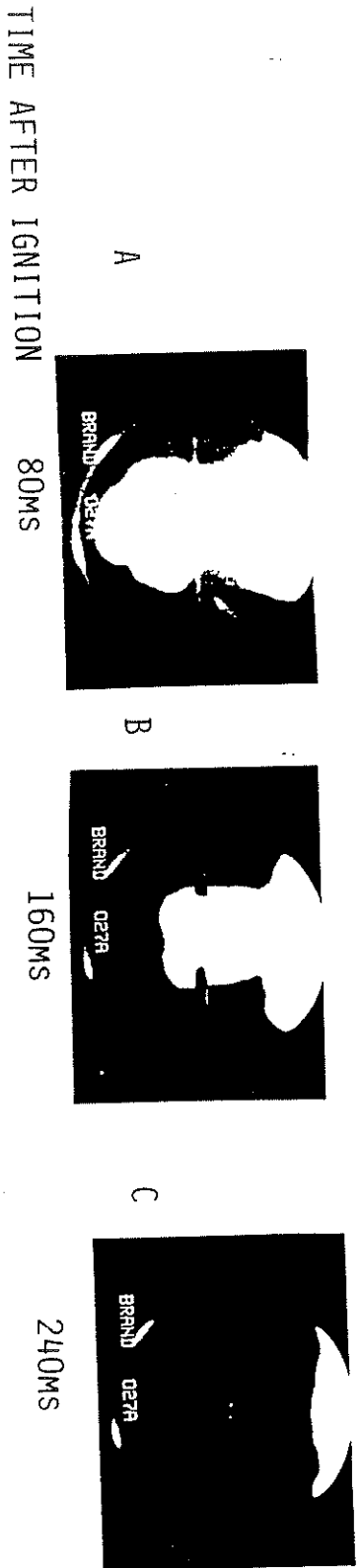






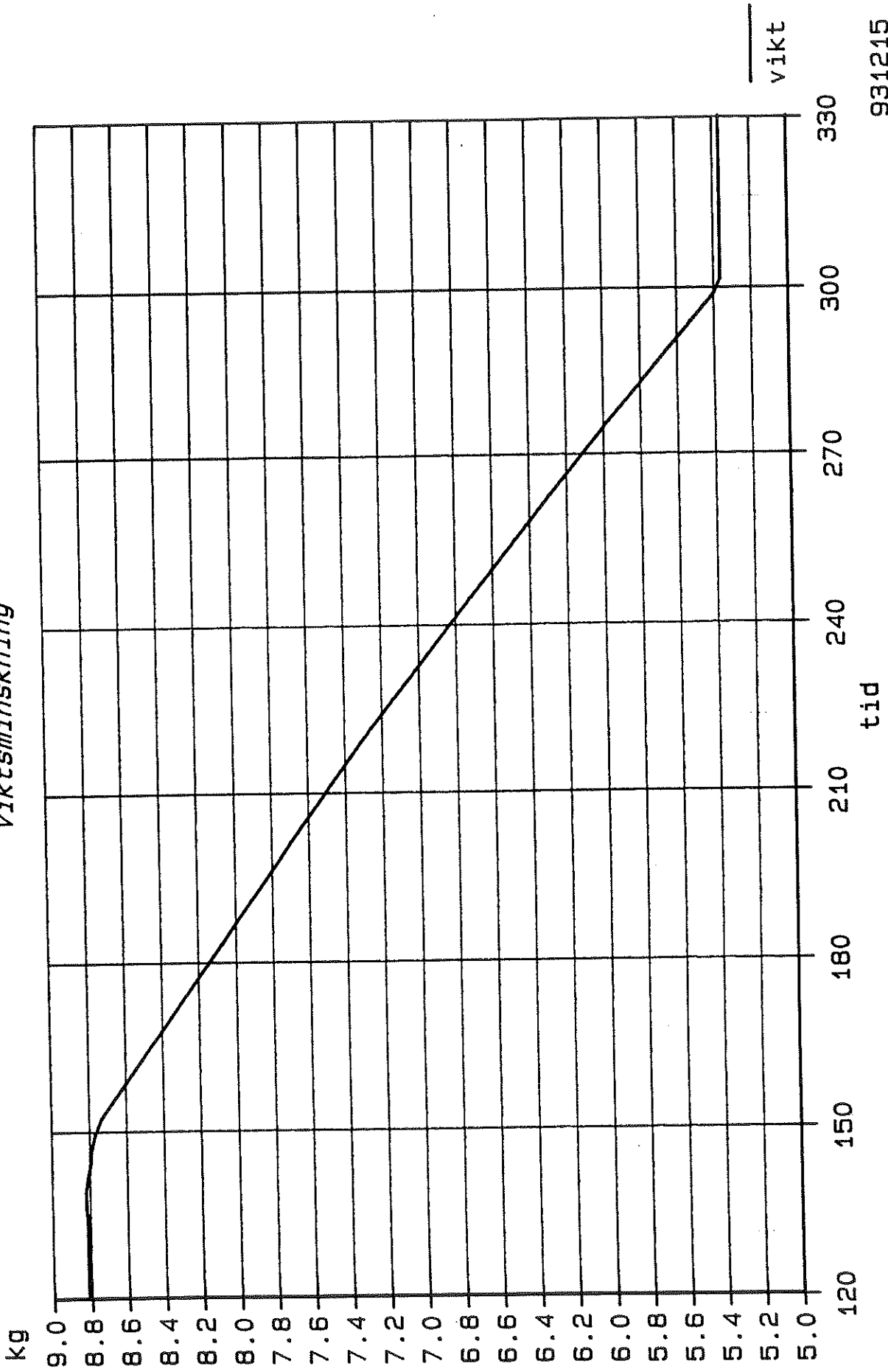
Bedömning av inerteringsförsök

PRESSURE AND VIDEO RECORDINGS.  
 HALON 1301, 144 JOULE, 7 VOL% AGENT 3.9 VOL% PROPANE





Heptafluorpropan 03 931214  
viktsminskning



viktsminskning

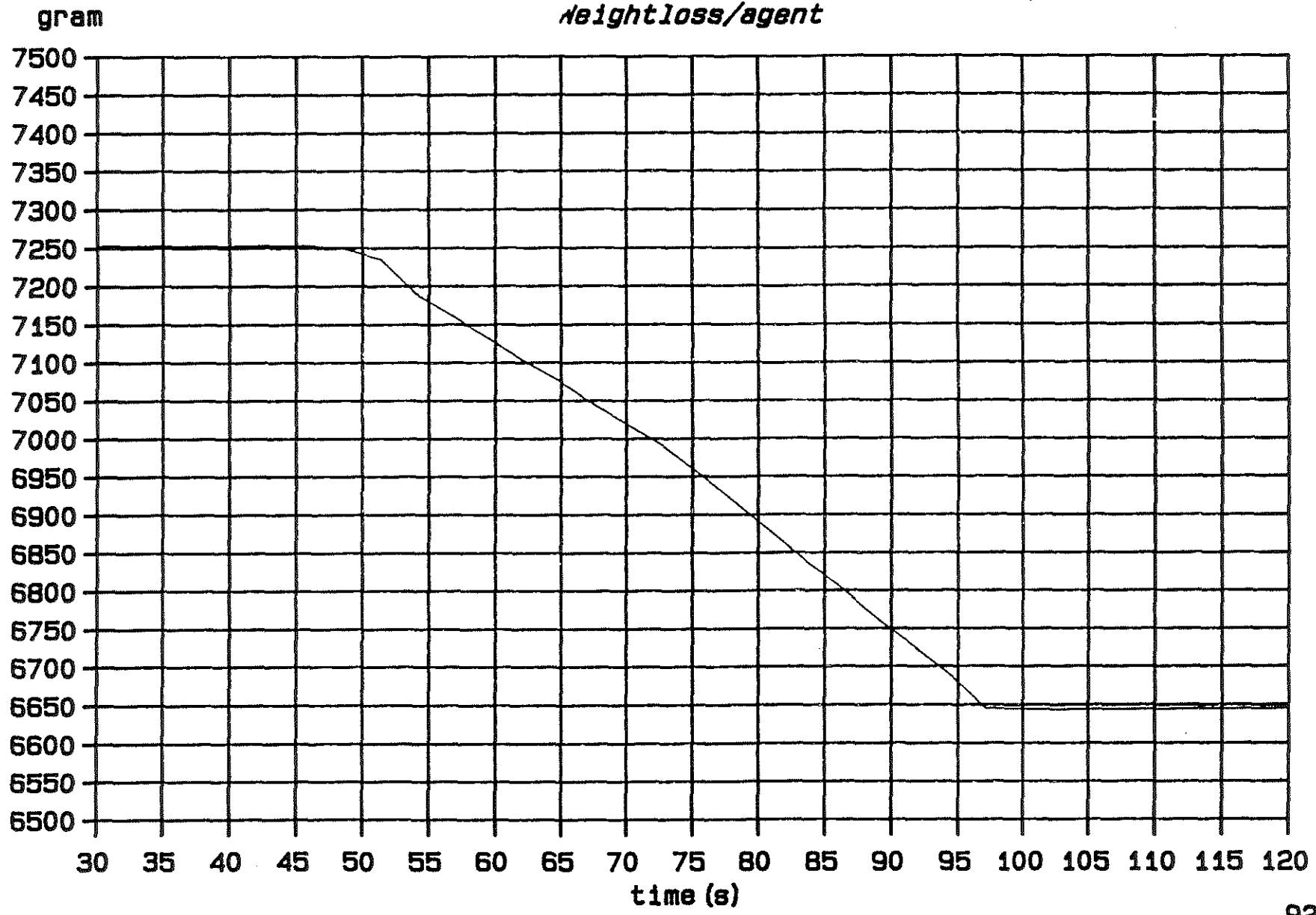
tid

931215



HALOTRON II

92-12-02

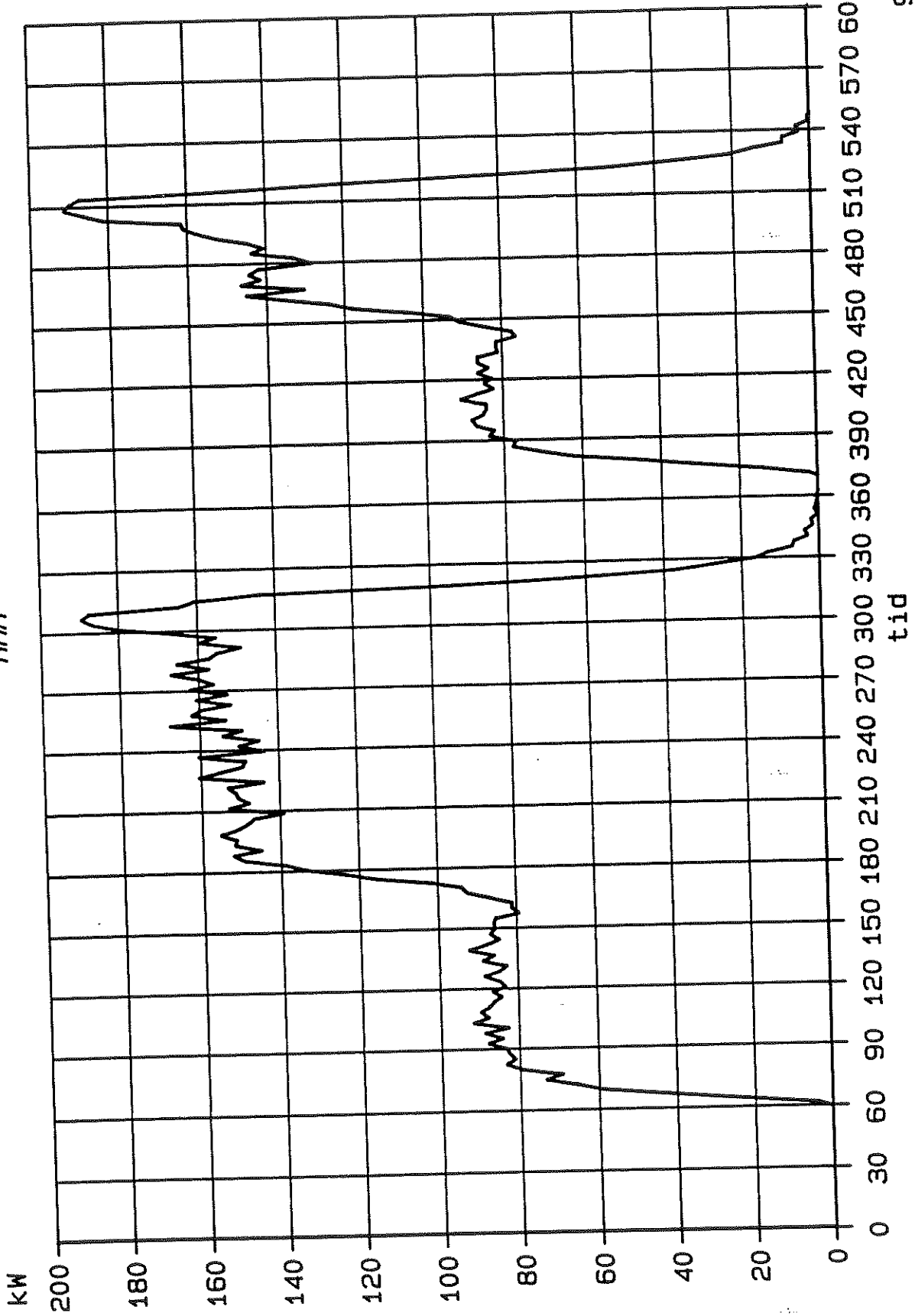


weigh

921202



Heptafluorpropan 03 931214  
RHR

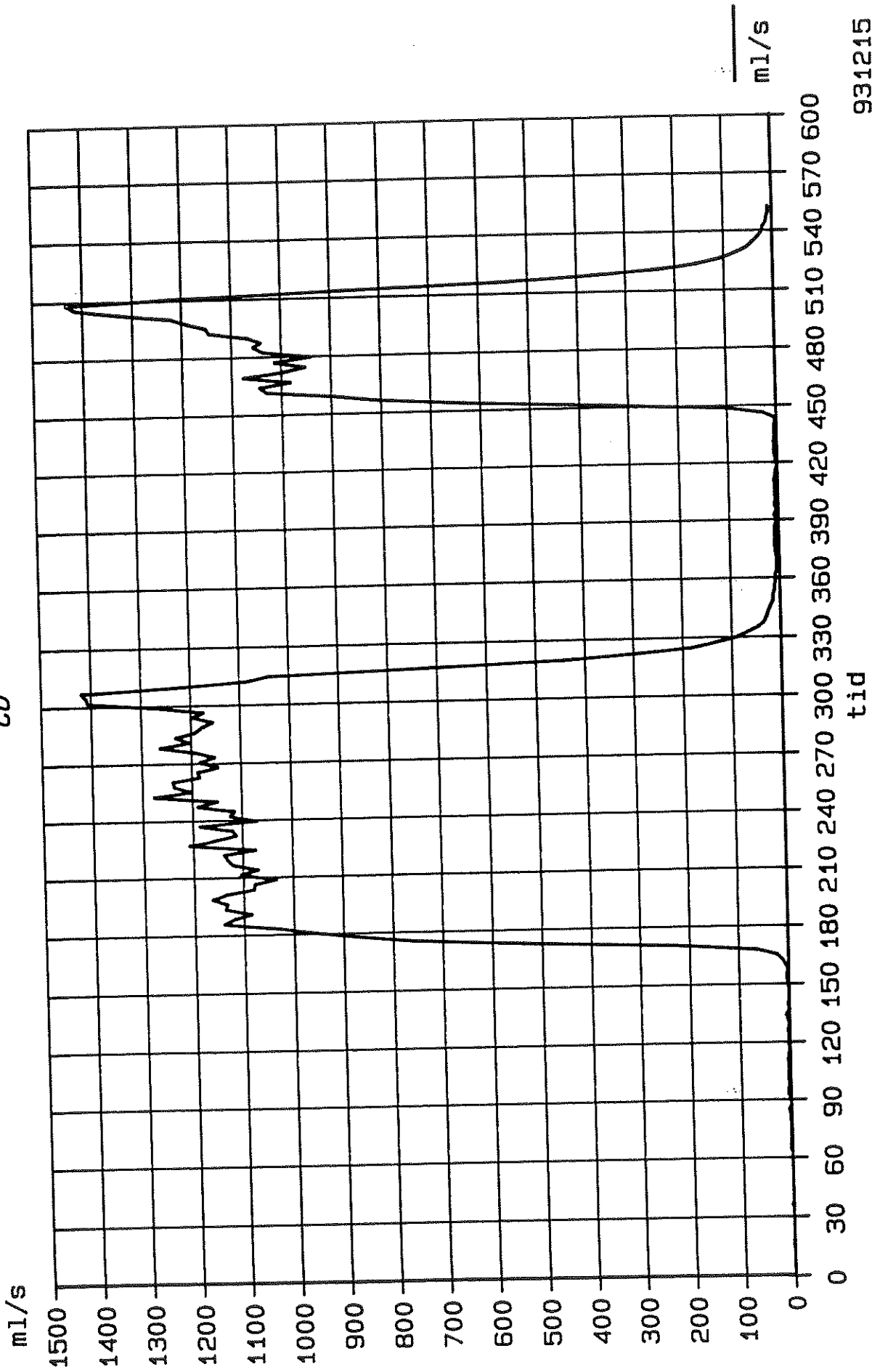


931215





Heptafluorpropan 03 931214



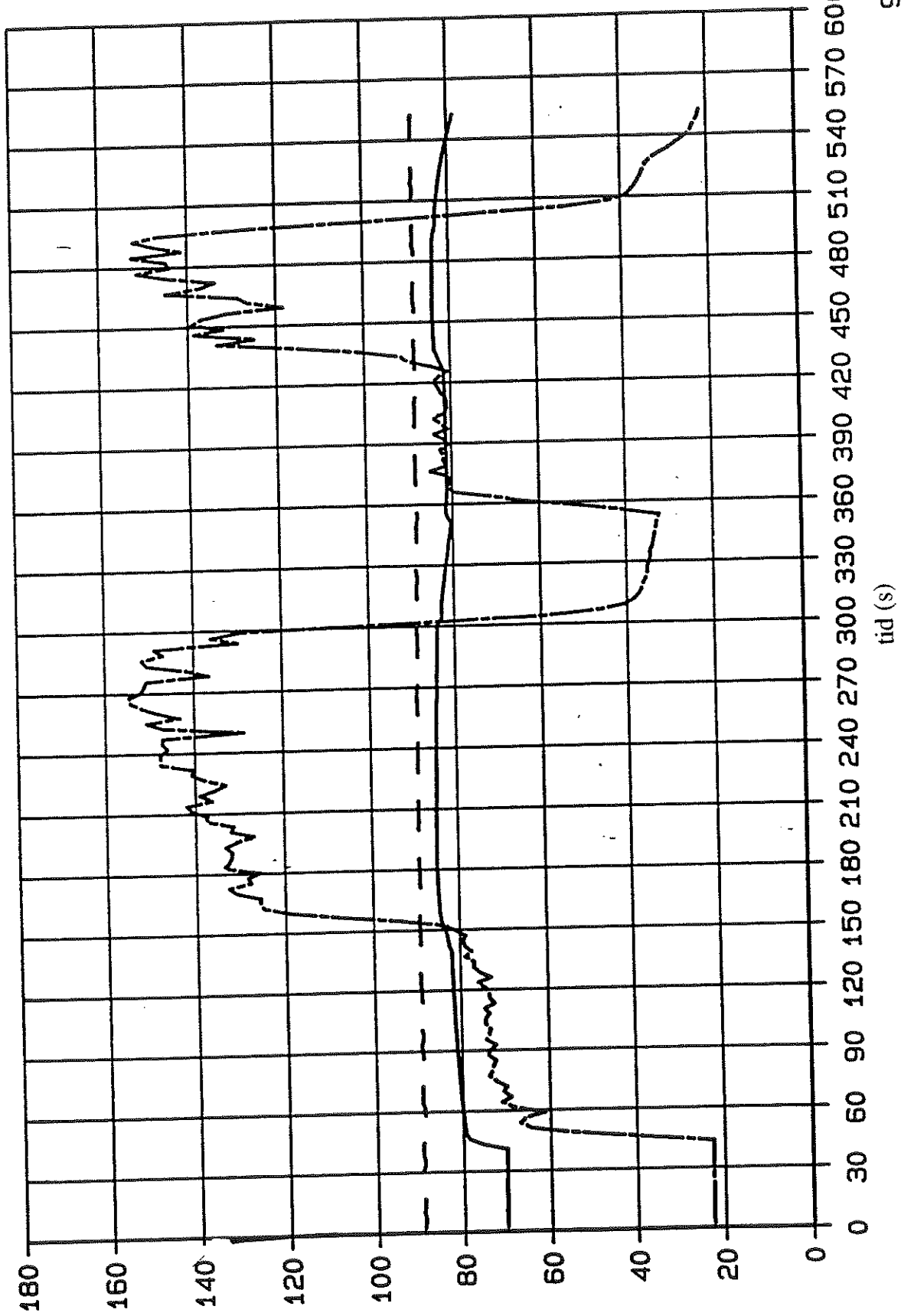
931215



# Heptafluorpropan 03 931214

Temperatur

°C

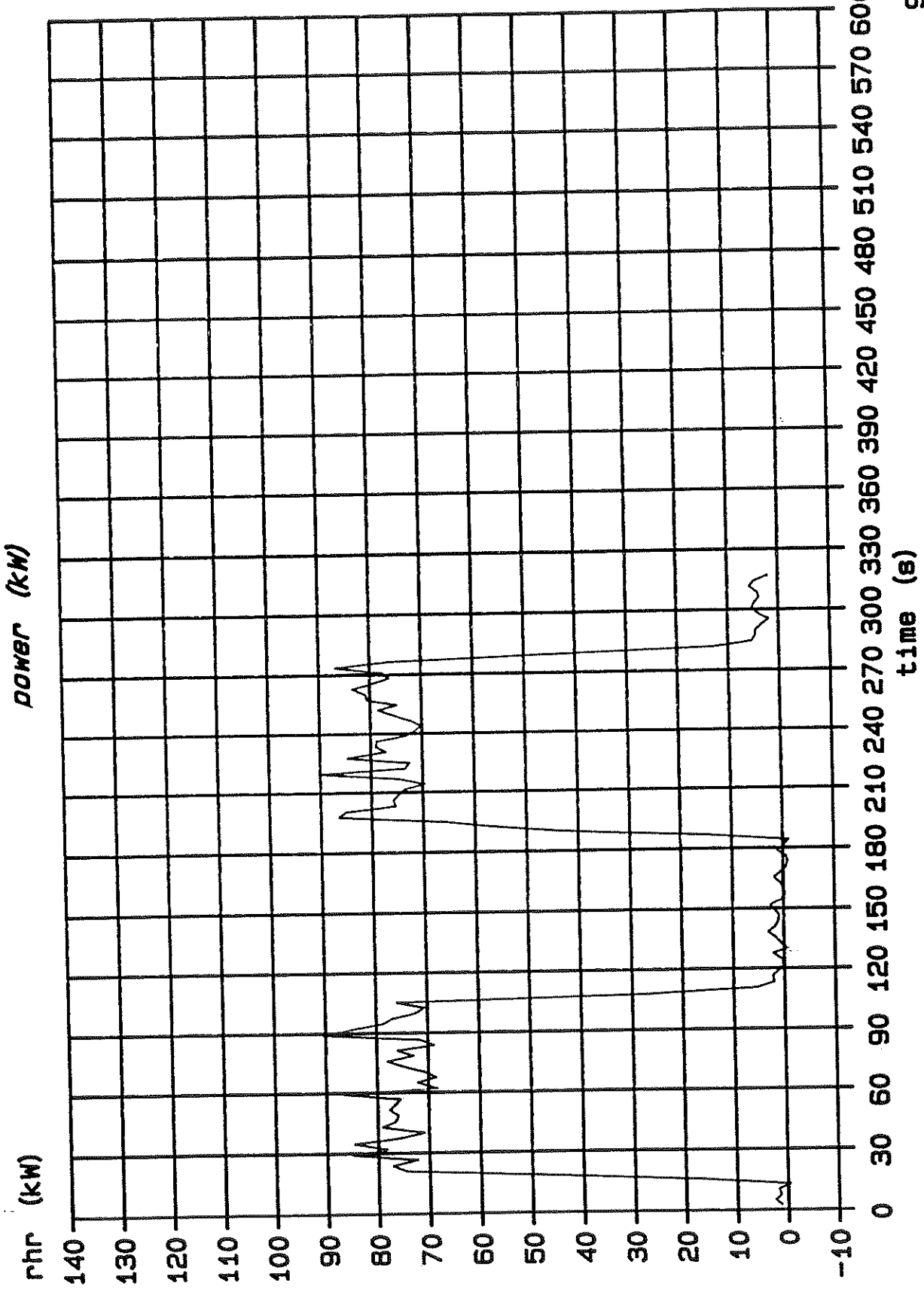


tid (s)

931215



HALOTRON II 92-12-02



921202

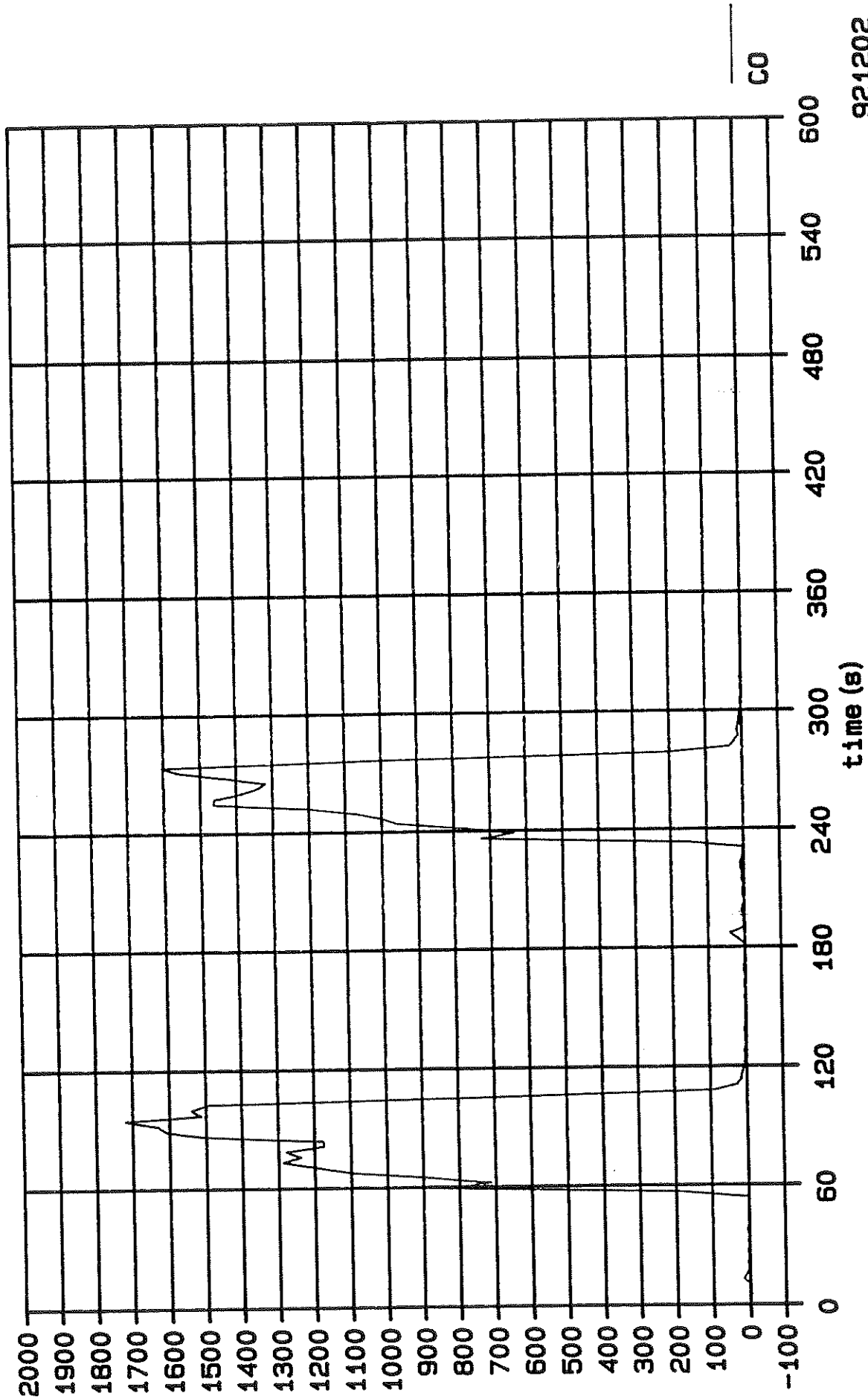


92-12-02

HALOTRON II

CO potential

ml/s C



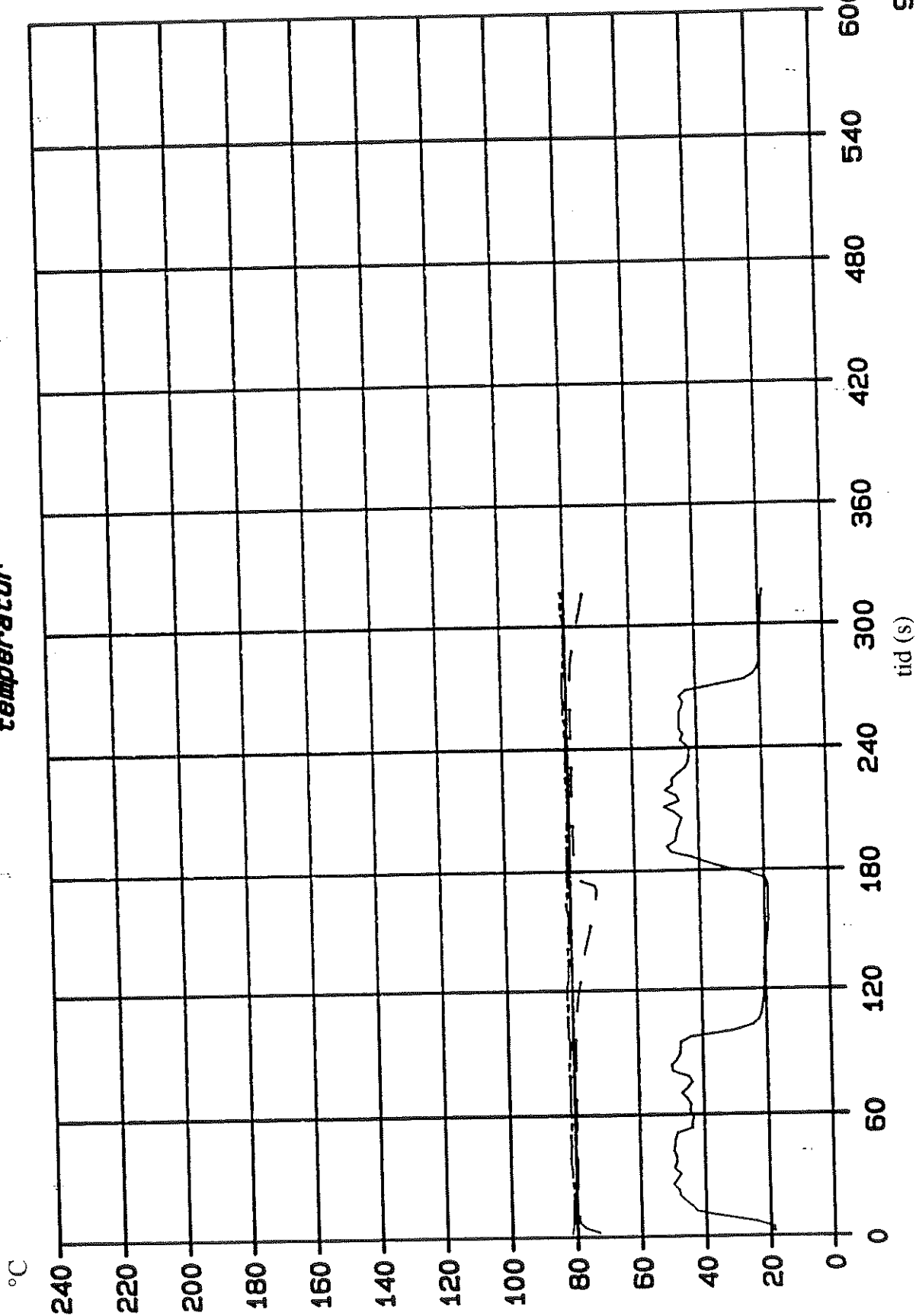
921202

CO





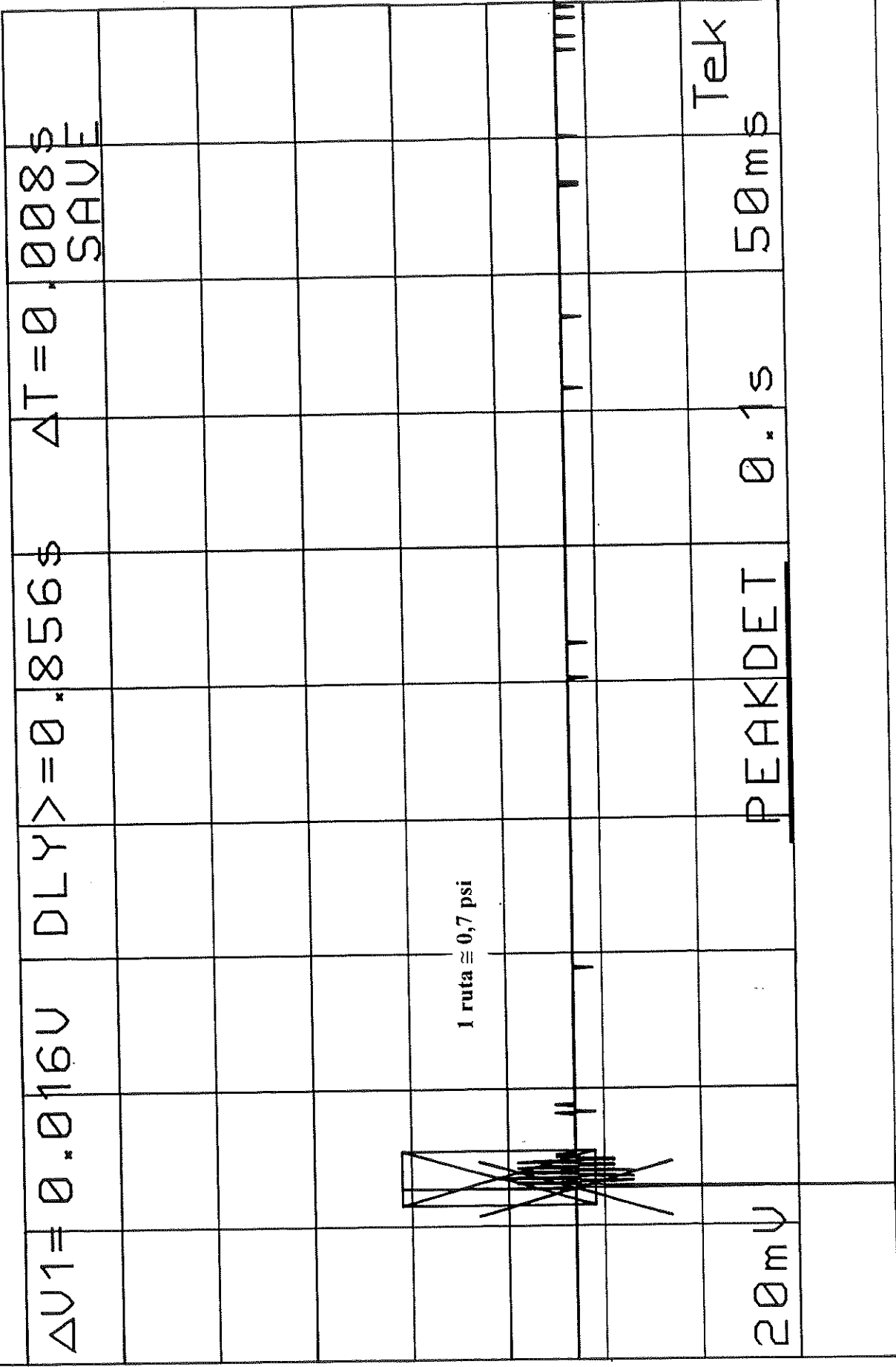
temperatur



921202



TEKTRONIX 2230





## Beräkningsexempel på toxicitet och släcktid

**A Beräkning av koncentration HF, HBr i ppm vid släckning med Halon 1301.**Rumsvolym : 30 m<sup>3</sup>

Effekt : 30 kW

Bränsle : Heptan

Släcktid Halon 1301 : 15 s

Om branden antages brinna med samma effekt under hela släckförloppet blir förbränningen enligt följande:

30 kW motsvarar 0,72 g/s

0,72 g/s \* 15 s = 10,8 g

Enligt figur 4.5 produceras en faktor 0,25 HF i förhållande till mängden bränsle,

1 g bränsle ger 0,25 g HF (approximativt!)

10,8 \* 0,25 = 2,7 g HF

2,7 g HF motsvarar 0,135 mol HF

1 mol gas motsvarar ca 24 l gasvolym vid 20° C

0,135 mol \* 24 l = 3,24 l

3,24 l / 30 m<sup>3</sup> = 0,00324 m<sup>3</sup> / 30 m<sup>3</sup> = **108 ppm**

PSS beräknas HBr-produktionen

Enligt tabell 4.3 produceras en faktor 0,07 HBr i förhållande till mängden bränsle, dvs 1 g bränsle motsvarar 0,07 g HBr ( approximation!)

Det ger 0,23 l HBr

0,0023 m<sup>3</sup> / 30 m<sup>3</sup> = **8 ppm**

Då de toxiska gränserna ligger i samma område för HBr och HF adderas föreningarna till 116 ppm ( 108 + 8 ). För att nu påvisa vilken släcktid som krävs för en HFC-förening sätter vi kriteriet att de 116 ppm:n inte får överstigas.

**B Beräkning av släcktid för en HFC-förening med följande förutsättningar:**Rumsvolym : 30 m<sup>3</sup>

Effekt : 30 kW

Bränsle : Heptan

HF : ej över 116 ppm

Volymen HF ges av följande:

( 116 / 100000 ) \* 30 m<sup>3</sup> = 3,48 l

3,48 l motsvarar 2,9 g HF

Enligt figur 4.5 motsvarar det en faktor 0,625, dvs 1 g HF motsvarar 0,625 g bränsle

2,9 \* 0,625 = 1,8125 g

Förbränningshastigheten är 0,72 g / s vilket ger

1,81 g / 0,72 g / s = **2,5 s**

Den nya släcktiden för en HFC-förening blir alltså 2,5 s.

**OBS!** Detta skall enbart ses som ett exempel på att släcktiden måste vara kortare för de nya medlen.

CO-produktionen har ej beaktats.



## Resultat av försöken med Halon 1301 då behållaren höll 20° C.

	Tidssteg	Tid(s)		Pl (bar)		Vikt (kg)	Flöde (kg/s)	Tid(s)
	0	0,00	8,2	25,0406	14,33	11,747086	0	0,00
	85	0,47	5,544	17,14355	14,196	11,506756	0,6338295	0,47
	136	0,75	5,4	16,71454	14,096	11,327383	0,6085406	0,75
	187	1,04	5,4	16,71454	14	11,155167	0,2362654	1,04
	239	1,33	5,464	16,90522	13,962	11,086993	0,4691456	1,33
	290	1,61	5,552	17,16738	13,888	10,954225	0,4974721	1,61
	342	1,90	5,56	17,19121	13,808	10,810681	0,4184948	1,90
	393	2,18	5,52	17,07205	13,742	10,692247	0,3855978	2,18
	445	2,47	5,464	16,90522	13,68	10,580983	0,3731837	2,47
	497	2,76	5,404	16,72645	13,62	10,473302	0,4185796	2,76
	548	3,04	5,344	16,54767	13,554	10,354844	0,4186093	3,04
	599	3,32	5,288	16,3808	13,488	10,236378	0,4566986	3,32
	650	3,61	5,236	16,22583	13,416	10,107133	0,3981767	3,61
	702	3,90	5,156	15,98739	13,352	9,9922401	0,3806355	3,90
	753	4,18	5,044	15,65354	13,292	9,8845206	0,3733397	4,18
	805	4,47	4,92	15,28385	13,232	9,7767942	0,360918	4,47
	857	4,76	4,804	14,93796	13,174	9,672652	0,3933992	4,76
	908	5,04	4,692	14,60393	13,112	9,5613204	0,4188086	5,04
	959	5,32	4,588	14,29372	13,046	9,442798	0,4061459	5,32
	1010	5,60	4,484	13,98346	12,982	9,3278591	0,3983628	5,60
	1062	5,89	4,392	13,70897	12,918	9,2129123	0,3681192	5,89
	1113	6,18	4,296	13,4225	12,86	9,108735	0,4270243	6,18
	1160	6,44	4,204	13,14793	12,798	8,9973657	0,4532289	6,44
	1210	6,71	4,112	12,87332	12,728	8,8716174	0,4109244	6,71
	1262	7,00	4,028	12,62256	12,662	8,7530459	0,3682207	7,00
	1313	7,29	3,94	12,35983	12,604	8,6488399	0,3611621	7,29
	1365	7,57	3,856	12,109	12,546	8,5446273	0,330169	7,57
	1416	7,86	3,756	11,81037	12,494	8,4511898	0,3301875	7,86
	1467	8,14	3,628	11,42805	12,442	8,357747	0,3048049	8,14
	1518	8,42	3,484	10,99786	12,394	8,2714876	0,2366743	8,42
	1570	8,71	3,312	10,48391	12,356	8,2031957	0,2159218	8,71
	1621	8,99	3,132	9,945915	12,322	8,14209	0,2159297	8,99
	1672	9,28	2,932	9,347983	12,288	8,0809821	0,110005	9,28
	1725	9,57	2,728	8,737916	12,27	8,04863	0,0508091	9,57
	1776	9,86	2,492	8,031931	12,262	8,034251	0,088917	9,86
	1827	10,14	2,204	7,170068	12,248	8,0090876	0,0762156	10,14
	1878	10,42	1,928	6,343785	12,236	7,9875187	0,0747509	10,42
	1930	10,71	1,684	5,613031	12,224	7,9659494	0,0508116	10,71
	1981	10,99	1,46	4,941953	12,216	7,9515698	0,0498349	10,99
	2033	11,28	1,26	4,342594	12,208	7,93719	0,0381093	11,28
	2084	11,56	1,08	3,803026	12,202	7,9264051	0,0254064	11,56
	2135	11,85	0,92	3,323294	12,198	7,9192151	0,0249179	11,85
	2187	12,14	0,772	2,879444	12,194	7,9120251	0,0254066	12,14
	2238	12,42	0,64	2,483499	12,19	7,9048351	0,0373772	12,42
	2290	12,71	0,52	2,123485	12,184	7,89405	0,0254069	12,71
	2341	12,99	0,412	1,79942	12,18	7,8868599	0,0249184	12,99
	2393	13,28	0,316	1,51132	12,176	7,8796697	0,0127035	13,28
	2444	13,56	0,232	1,259201	12,174	7,8760746	0,0127036	13,56
	2495	13,84	0,156	1,031067	12,172	7,8724796	-0,0124593	13,84
	2547	14,13	0,088	0,826926	12,174	7,8760746	0,0127036	14,13



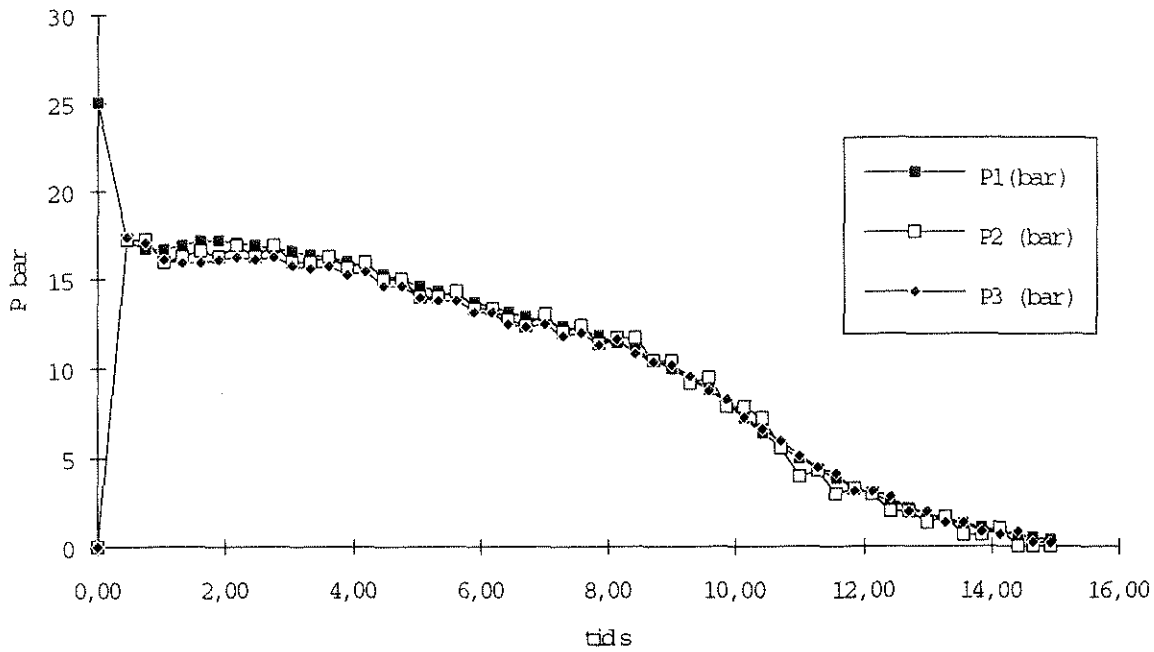


## Resultat av försöken med Halon 1301 då behållaren höll 20° C.

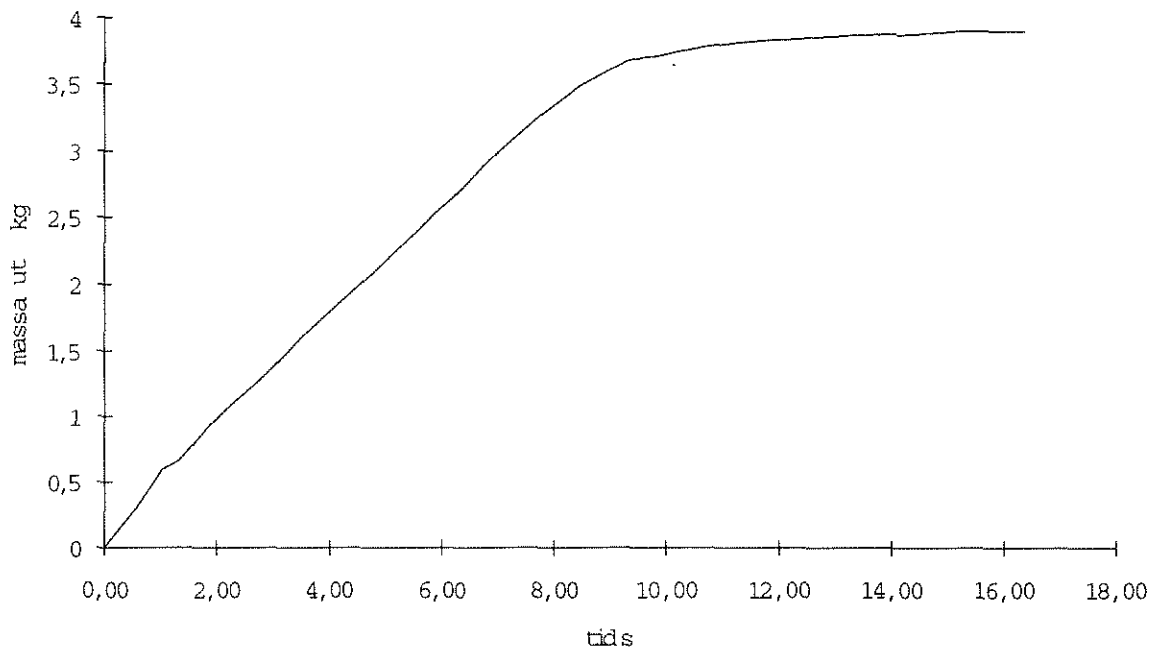
massa ut (kg)	mass% ut		P2 (bar)		P3 (bar)	Tid(s)
0	0	0	0	0	0	0,00
0,240333757	6,1687309	1,06	17,2462	8,48	17,384	0,47
0,419706876	10,772764	1,06	17,2462	8,32	17,056	0,75
0,59192326	15,193102	0,98	15,9446	7,84	16,072	1,04
0,660097168	16,942946	1	16,27	7,76	15,908	1,33
0,792864897	20,350742	1,02	16,5954	7,76	15,908	1,61
0,936409487	24,035151	1	16,27	7,85	16,0925	1,90
1,05484309	27,075028	1,04	16,9208	7,92	16,236	2,18
1,166106571	29,930867	1	16,27	7,84	16,072	2,47
1,273787984	32,694763	1,04	16,9208	7,92	16,236	2,76
1,392245578	35,735256	0,98	15,9446	7,68	15,744	3,04
1,510711595	38,775965	0,98	15,9446	7,6	15,58	3,32
1,639956855	42,093348	1	16,27	7,68	15,744	3,61
1,754849946	45,04235	0,96	15,6192	7,44	15,252	3,90
1,862569411	47,807223	0,98	15,9446	7,52	15,416	4,18
1,970295837	50,572275	0,92	14,9684	7,12	14,596	4,47
2,074437998	53,245329	0,92	14,9684	7,12	14,596	4,76
2,185769571	56,102915	0,86	13,9922	6,8	13,94	5,04
2,304291993	59,145072	0,86	13,9922	6,72	13,776	5,32
2,41923087	62,095248	0,88	14,3176	6,72	13,776	5,60
2,534177666	65,045628	0,82	13,3414	6,4	13,12	5,89
2,638355041	67,719585	0,82	13,3414	6,4	13,12	6,18
2,749724256	70,578138	0,78	12,6906	6,08	12,464	6,44
2,875472625	73,805766	0,76	12,3652	6	12,3	6,71
2,99404405	76,84918	0,8	13,016	6,08	12,464	7,00
3,098250135	79,523874	0,74	12,0398	5,76	11,808	7,29
3,202462724	82,198735	0,76	12,3652	5,84	11,972	7,57
3,29590023	84,597028	0,7	11,389	5,52	11,316	7,86
3,389342965	86,995456	0,72	11,7144	5,68	11,644	8,14
3,475602437	89,209508	0,72	11,7144	5,28	10,824	8,42
3,543894345	90,962381	0,64	10,4128	5,04	10,332	8,71
3,604999998	92,530801	0,64	10,4128	4,96	10,168	8,99
3,666107886	94,099278	0,56	9,1112	4,64	9,512	9,28
3,698460026	94,929672	0,58	9,4366	4,24	8,692	9,57
3,712838956	95,298741	0,48	7,8096	4	8,2	9,86
3,738002381	95,94462	0,48	7,8096	3,52	7,216	10,14
3,759571333	96,498238	0,44	7,1588	3,2	6,56	10,42
3,781140563	97,051863	0,34	5,5318	2,88	5,904	10,71
3,795520205	97,42095	0,24	3,9048	2,48	5,084	10,99
3,80989997	97,79004	0,26	4,2302	2,16	4,428	11,28
3,820684875	98,06686	0,18	2,9286	2	4,1	11,56
3,82787485	98,251408	0,2	3,254	1,52	3,116	11,85
3,835064857	98,435956	0,18	2,9286	1,52	3,116	12,14
3,842254894	98,620505	0,12	1,9524	1,36	2,788	12,42
3,853040008	98,897331	0,12	1,9524	0,96	1,968	12,71
3,860230123	99,081882	0,08	1,3016	0,96	1,968	12,99
3,867420268	99,266434	0,1	1,627	0,64	1,312	13,28
3,871015352	99,35871	0,04	0,6508	0,64	1,312	13,56
3,874610445	99,450987	0,04	0,6508	0,4	0,82	13,84
3,871015352	99,35871	0,06	0,9762	0,32	0,656	14,13



Resultat av försöken med Halon 1301 då behållaren höll 20° C.



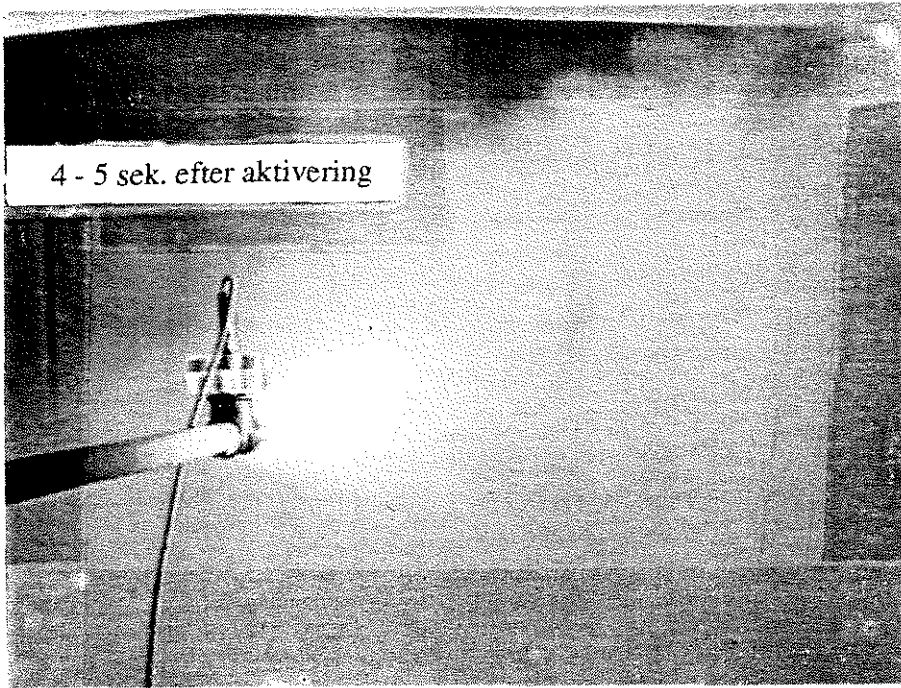
Trycket i systemet varierade enligt ovan för Halon 1301. Då P1,P2 och P3 är lika tyder det på att systemet hade lite förluster.



Halon 1301 tömningstid var ca 8 sekunder.



Resultat av försöken med Halon 1301 då behållaren höll 20° C.



Förångningen av Halon 1301 såg ut enligt ovan. Släckmedlet övergick snabbt i gasfas när det lämnade munstycket.



## Resultat av försöken med FM 200 då behållaren höll 20° C.

	Tidssteg	Tid(s)	PI (bar)		Vikt (kg)	Flöde (kg/s)	Tid(s)	
	0	0,00	8,2	25,0406	14,0152	11,182436	0	0,00
	85	0,47	4,68	14,56814	13,864	10,911163	0,6974657	0,47
	136	0,75	4,424	13,80445	13,754	10,713781	0,5072997	0,75
	187	1,04	4,212	13,1718	13,674	10,570216	0,4353862	1,04
	239	1,33	4,048	12,68227	13,604	10,444586	0,5073817	1,33
	290	1,61	3,916	12,28817	13,524	10,300997	0,311037	1,61
	342	1,90	3,812	11,97761	13,474	10,211248	0,3932721	1,90
	393	2,18	3,752	11,79842	13,412	10,099953	0,3359612	2,18
	445	2,47	3,712	11,67895	13,358	10,003012	0,3982016	2,47
	497	2,76	3,676	11,57143	13,294	9,8881114	0,4060374	2,76
	548	3,04	3,628	11,42805	13,23	9,7732032	0,329926	3,04
	599	3,32	3,576	11,27272	13,178	9,6798344	0,3807068	3,32
	650	3,61	3,52	11,10542	13,118	9,5720948	0,3236203	3,61
	702	3,90	3,46	10,92616	13,066	9,4787148	0,3807527	3,90
	753	4,18	3,396	10,73492	13,006	9,3709621	0,348557	4,18
	805	4,47	3,332	10,54368	12,95	9,2703867	0,3236789	4,47
	857	4,76	3,256	10,31655	12,898	9,1769898	0,3427383	4,76
	908	5,04	3,176	10,07744	12,844	9,0799952	0,3300632	5,04
	959	5,32	3,092	9,826342	12,792	8,9865877	0,3554733	5,32
	1010	5,60	3,012	9,587176	12,736	8,8859891	0,3486583	5,60
	1062	5,89	2,928	9,336022	12,68	8,7853844	0,3301214	5,89
	1113	6,18	2,848	9,0968	12,628	8,6919604	0,3720157	6,18
	1160	6,44	2,772	8,869514	12,574	8,5949376	0,3238095	6,44
	1210	6,71	2,708	8,678096	12,524	8,5050967	0,3362826	6,71
	1262	7,00	2,644	8,48666	12,47	8,408063	0,3428963	7,00
	1313	7,29	2,58	8,295207	12,416	8,3110237	0,3238649	7,29
	1365	7,57	2,524	8,127672	12,364	8,2175731	0,3302337	7,57
	1416	7,86	2,456	7,924217	12,312	8,1241173	0,3048475	7,86
	1467	8,14	2,38	7,696804	12,264	8,0378458	0,2794574	8,14
	1518	8,42	2,288	7,421481	12,22	7,9587596	0,2740962	8,42
	1570	8,71	2,176	7,086257	12,176	7,8796697	0,2159636	8,71
	1621	8,99	2,048	6,703078	12,142	7,8185522	0,1524497	8,99
	1672	9,28	1,884	6,212028	12,118	7,7754091	0,1711511	9,28
	1725	9,57	1,728	5,744825	12,09	7,7250741	0,1143433	9,57
	1776	9,86	1,56	5,241568	12,072	7,6927151	0,1270507	9,86
	1827	10,14	1,396	4,750176	12,052	7,6567599	0,0889371	10,14
	1878	10,42	1,232	4,25867	12,038	7,6315908	0,0124611	10,42
	1930	10,71	1,052	3,719081	12,036	7,6279951	0,0254109	10,71
	1981	10,99	0,824	3,035402	12,032	7,6208039	0,0249223	10,99
	2033	11,28	0,616	2,411502	12,028	7,6136126	0	11,28
	2084	11,56	0,436	1,871439	12,028	7,6136126	0,0254111	11,56
	2135	11,85	0,296	1,451295	12,024	7,6064213	0	11,85
	2187	12,14	0,18	1,103112	12,024	7,6064213	0	12,14
	2238	12,42	0,076	0,790899	12,024	7,6064213	0,0124613	12,42
	2290	12,71	-0,008	0,538694	12,022	7,6028256	0	12,71
	2341	12,99	-0,084	0,310482	12,022	7,6028256	0,0124613	12,99
	2393	13,28	-0,144	0,130297	12,02	7,5992299	0	13,28
	2444	13,56	-0,144	0,130297	12,02	7,5992299	0,0254113	13,56
	2495	13,84	-0,144	0,130297	12,016	7,5920385	0	13,84
	2547	14,13	-0,144	0,130297	12,016	7,5920385	0	14,13



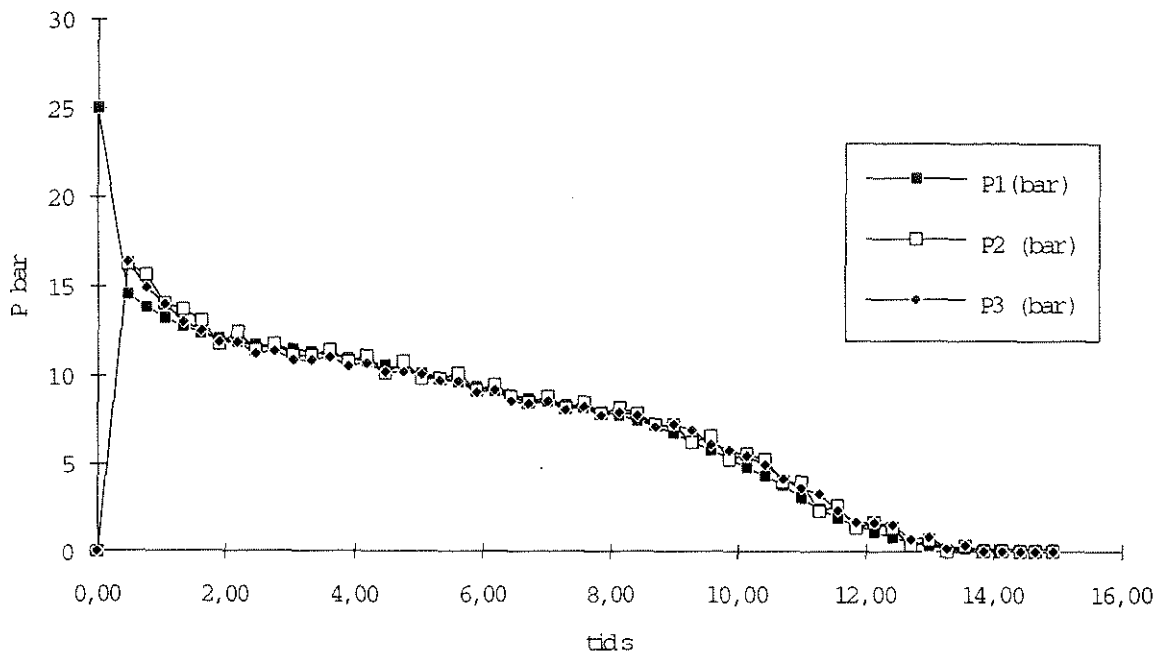


## Resultat av försöken med FM 200 då behållaren höll 20° C.

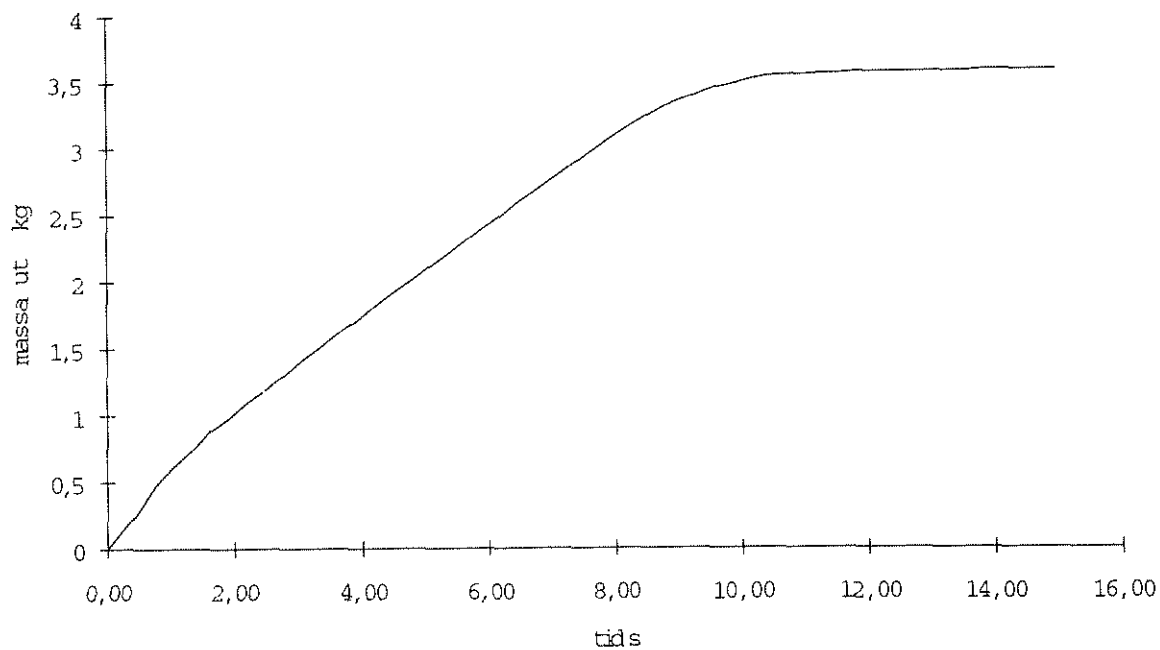
massa ut (kg)	mass% ut		P2 (bar)		P3 (bar)	Tid(s)
0	0	0	0	0	0	0,00
0,271276975	7,5564617	1	16,27	8	16,4	0,47
0,468659081	13,054571	0,96	15,6192	7,28	14,924	0,75
0,612224399	17,053604	0,86	13,9922	6,8	13,94	1,04
0,737854203	20,553042	0,84	13,6668	6,32	12,956	1,33
0,881442723	24,552722	0,8	13,016	6,08	12,464	1,61
0,971191833	27,052697	0,72	11,7144	5,76	11,808	1,90
1,082487441	30,152854	0,76	12,3652	5,76	11,808	2,18
1,179428382	32,853158	0,7	11,389	5,44	11,152	2,47
1,29432865	36,053723	0,72	11,7144	5,52	11,316	2,76
1,409236838	39,254508	0,68	11,0636	5,28	10,824	3,04
1,502605572	41,855308	0,68	11,0636	5,28	10,824	3,32
1,610345223	44,856413	0,7	11,389	5,36	10,988	3,61
1,703725218	47,457527	0,66	10,7382	5,12	10,496	3,90
1,811477863	50,458993	0,68	11,0636	5,2	10,66	4,18
1,912053278	53,260537	0,62	10,0874	4,96	10,168	4,47
2,005450164	55,862122	0,66	10,7382	4,96	10,168	4,76
2,102444772	58,563921	0,6	9,762	4,88	10,004	5,04
2,195852316	61,165803	0,6	9,762	4,72	9,676	5,32
2,296450903	63,967992	0,62	10,0874	4,72	9,676	5,60
2,397055554	66,77035	0,56	9,1112	4,4	9,02	5,89
2,490479587	69,37269	0,58	9,4366	4,48	9,184	6,18
2,587502386	72,075275	0,54	8,7858	4,16	8,528	6,44
2,677343338	74,577809	0,52	8,4604	4,08	8,364	6,71
2,774376996	77,280696	0,54	8,7858	4,16	8,528	7,00
2,871416292	79,983741	0,5	8,135	3,92	8,036	7,29
2,964866869	82,586821	0,52	8,4604	4	8,2	7,57
3,058322675	85,190047	0,48	7,8096	3,76	7,708	7,86
3,144594212	87,593154	0,5	8,135	3,84	7,872	8,14
3,223680368	89,796111	0,48	7,8096	3,76	7,708	8,42
3,302770268	91,999172	0,44	7,1588	3,44	7,052	8,71
3,363887754	93,701609	0,44	7,1588	3,52	7,216	8,99
3,407030855	94,903366	0,38	6,1826	3,36	6,888	9,28
3,45736588	96,305456	0,4	6,508	2,96	6,068	9,57
3,489724911	97,206822	0,32	5,2064	2,8	5,74	9,86
3,525680125	98,20836	0,34	5,5318	2,64	5,412	10,14
3,550849235	98,909449	0,32	5,2064	2,4	4,92	10,42
3,554444853	99,009606	0,24	3,9048	2	4,1	10,71
3,561636112	99,20992	0,24	3,9048	1,76	3,608	10,99
3,568827402	99,410234	0,14	2,2778	1,6	3,28	11,28
3,568827402	99,410234	0,16	2,6032	1,12	2,296	11,56
3,576018723	99,610549	0,08	1,3016	0,8	1,64	11,85
3,576018723	99,610549	0,1	1,627	0,8	1,64	12,14
3,576018723	99,610549	0,08	1,3016	0,72	1,476	12,42
3,579614396	99,710707	0,02	0,3254	0,32	0,656	12,71
3,579614396	99,710707	0,04	0,6508	0,4	0,82	12,99
3,583210076	99,810866	0	0	0,08	0,164	13,28
3,583210076	99,810866	0,02	0,3254	0,16	0,328	13,56
3,590401459	100,01118	0	0	0	0	13,84
3,590401459	100,01118	0	0	0	0	14,13



Resultat av försöken med FM 200 då behållaren höll 20° C.



Trycket i systemet varierade enligt ovan för FM 200. Då P1,P2 och P3 är lika tyder det på att systemet hade lite förluster.



Tömningstiden för FM 200 var ca 8 sekunder och det överensstämde med Halon 1301 vid samma fyllnadsgrad (70 vol%).



Resultat av försöken med FM 200 då behållaren höll 20° C.



Förångningen av FM 200 såg ut enligt ovan. En större andel vätska kunde iaktgas då släckmedlet lämnade munstycket. Det beror förmodligen på en relativt hög kokpunkt.



## Resultat av försöken med Halotron II då behållaren höll 20° C.

	Tidssteg	Tid(s)		Pl (bar)		Vikt (kg)	Flöde (kg/s)	Tid(s)
	0	0,00	8,4	25,63404	13,9828	11,124309	0	0,00
	85	0,47	5,86	18,08468	13,886	10,950637	0,4184596	0,47
	136	0,75	5,812	17,94175	13,82	10,832213	0,2536264	0,75
	187	1,04	6,02	18,56105	13,78	10,760437	0,4726525	1,04
	239	1,33	6,196	19,08492	13,704	10,624054	0,4946434	1,33
	290	1,61	6,284	19,3468	13,626	10,48407	0,422968	1,61
	342	1,90	6,256	19,26348	13,558	10,362024	0,3298095	1,90
	393	2,18	6,176	19,02539	13,506	10,268688	0,286159	2,18
	445	2,47	6,092	18,77537	13,46	10,186118	0,3359439	2,47
	497	2,76	6,004	18,51341	13,406	10,089182	0,4313637	2,76
	548	3,04	5,92	18,26333	13,338	9,9671061	0,4187067	3,04
	599	3,32	5,836	18,01322	13,272	9,8486126	0,367979	3,32
	650	3,61	5,744	17,73925	13,214	9,7444749	0,3235869	3,61
	702	3,90	5,644	17,44142	13,162	9,6511045	0,3045687	3,90
	753	4,18	5,536	17,11972	13,114	9,5649119	0,3111744	4,18
	805	4,47	5,412	16,75029	13,064	9,4751231	0,3983277	4,47
	857	4,76	5,284	16,36888	13	9,3601865	0,3680867	4,76
	908	5,04	5,16	15,99932	12,942	9,2560183	0,3808036	5,04
	959	5,32	5,04	15,64162	12,882	9,1482513	0,2919661	5,32
	1010	5,60	4,928	15,30771	12,836	9,0656252	0,2988165	5,60
	1062	5,89	4,82	14,98567	12,788	8,9794023	0,3681708	5,89
	1113	6,18	4,712	14,66359	12,73	8,8752103	0,4408614	6,18
	1160	6,44	4,604	14,34145	12,666	8,7602323	0,3885351	6,44
	1210	6,71	4,5	14,0312	12,606	8,6524333	0,2988905	6,71
	1262	7,00	4,4	13,73284	12,558	8,566189	0,3047668	7,00
	1313	7,29	4,296	13,4225	12,51	8,4799403	0,2740107	7,29
	1365	7,57	4,164	13,02854	12,466	8,4008751	0,304797	7,57
	1416	7,86	4,008	12,56285	12,418	8,3146179	0,2667103	7,86
	1467	8,14	3,804	11,95372	12,376	8,2391391	0,2286184	8,14
	1518	8,42	3,564	11,23687	12,34	8,1744403	0,2117731	8,42
	1570	8,71	3,288	10,41218	12,306	8,1133336	0,1651248	8,71
	1621	8,99	2,98	9,491502	12,28	8,0666035	0,0508086	8,99
	1672	9,28	2,668	8,558451	12,272	8,0522247	0,0366687	9,28
	1725	9,57	2,352	7,613014	12,266	8,0414405	0,0762142	9,57
	1776	9,86	2,036	6,667152	12,254	8,019872	0,1016204	9,86
	1827	10,14	1,748	5,804729	12,238	7,9911135	0,0762165	10,14
	1878	10,42	1,496	5,049819	12,226	7,9695443	0,0373757	10,42
	1930	10,71	1,268	4,366572	12,22	7,9587596	0,0127029	10,71
	1981	10,99	1,068	3,76705	12,218	7,9551647	0,0249174	10,99
	2033	11,28	0,888	3,227334	12,214	7,9479749	0,012703	11,28
	2084	11,56	0,732	2,759469	12,212	7,9443799	0,0508123	11,56
	2135	11,85	0,592	2,339501	12,204	7,9300001	0,0498356	11,85
	2187	12,14	0,464	1,955458	12,196	7,9156202	0,0508132	12,14
	2238	12,42	0,348	1,607358	12,188	7,9012401	-0,012459	12,42
	2290	12,71	0,268	1,367256	12,19	7,9048351	0	12,71
	2341	12,99	0,196	1,15114	12,19	7,9048351	0	12,99
	2393	13,28	0,116	0,910986	12,19	7,9048351	0,0127033	13,28
	2444	13,56	0,044	0,694824	12,188	7,9012401	0,0254067	13,56
	2495	13,84	-0,02	0,502662	12,184	7,89405	0,0249183	13,84
	2547	14,13	-0,076	0,334505	12,18	7,8868599	0,025407	14,13



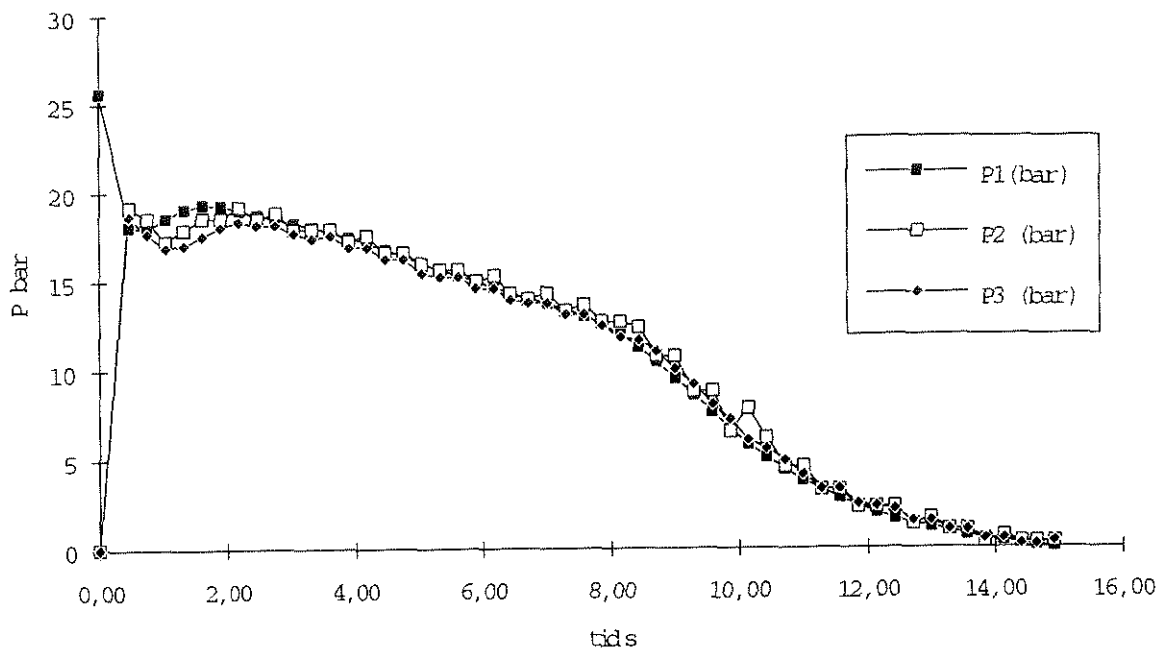


## Resultat av försöken med Halotron II då behållaren höll 20° C.

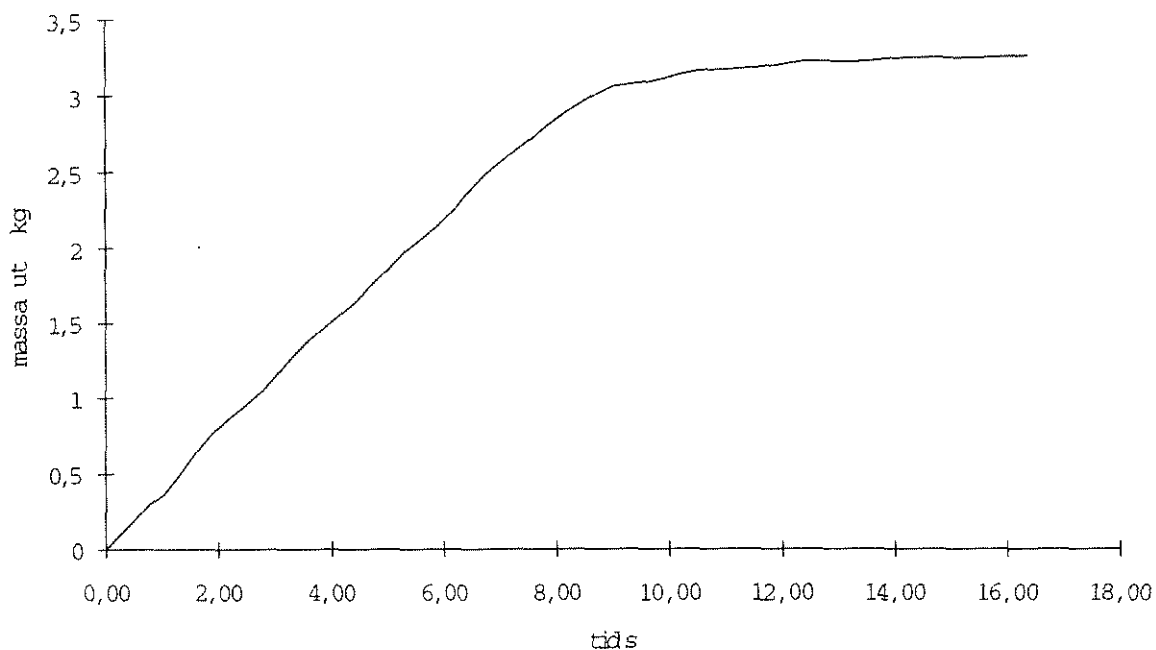
massa ut (kg)	mass% ut		P2 (bar)		P3 (bar)	Tid(s)
0	0	0	0	0	0	0,00
0,173672361	5,3437649	1,18	19,1986	9,12	18,696	0,47
0,29209601	8,9875695	1,14	18,5478	8,64	17,712	0,75
0,363872017	11,196062	1,06	17,2462	8,24	16,892	1,04
0,500254955	15,39246	1,1	17,897	8,32	17,056	1,33
0,640238529	19,699647	1,14	18,5478	8,56	17,548	1,61
0,76228509	23,454926	1,14	18,5478	8,8	18,04	1,90
0,855620846	26,326795	1,18	19,1986	8,96	18,368	2,18
0,938191449	28,867429	1,14	18,5478	8,88	18,204	2,47
1,035127378	31,850073	1,16	18,8732	8,88	18,204	2,76
1,157202865	35,606242	1,1	17,897	8,64	17,712	3,04
1,275696446	39,252198	1,1	17,897	8,48	17,384	3,32
1,379834122	42,456435	1,1	17,897	8,56	17,548	3,61
1,473204465	45,329368	1,06	17,2462	8,24	16,892	3,90
1,559397114	47,98145	1,08	17,5716	8,24	16,892	4,18
1,649185861	50,74418	1,02	16,5954	7,92	16,236	4,47
1,76412251	54,280693	1,02	16,5954	7,92	16,236	4,76
1,868290689	57,485867	0,98	15,9446	7,52	15,416	5,04
1,97605772	60,801776	0,96	15,6192	7,44	15,252	5,32
2,058683824	63,344118	0,96	15,6192	7,44	15,252	5,60
2,144906729	65,99713	0,92	14,9684	7,12	14,596	5,89
2,249098683	69,203036	0,94	15,2938	7,12	14,596	6,18
2,364076664	72,74082	0,88	14,3176	6,8	13,94	6,44
2,471875713	76,057714	0,86	13,9922	6,72	13,776	6,71
2,558119965	78,711384	0,88	14,3176	6,72	13,776	7,00
2,644368671	81,36519	0,82	13,3414	6,4	13,12	7,29
2,723433899	83,797966	0,84	13,6668	6,4	13,12	7,57
2,809691144	86,452035	0,78	12,6906	6,08	12,464	7,86
2,885169888	88,774458	0,78	12,6906	5,76	11,808	8,14
2,949868668	90,76519	0,76	12,3652	5,68	11,644	8,42
3,010975373	92,645396	0,66	10,7382	5,36	10,988	8,71
3,057705538	94,083247	0,66	10,7382	4,88	10,004	8,99
3,072084313	94,525671	0,54	8,7858	4,48	9,184	9,28
3,082868476	94,857492	0,54	8,7858	3,92	8,036	9,57
3,10443701	95,521139	0,4	6,508	3,52	7,216	9,86
3,133195488	96,406015	0,48	7,8096	2,96	6,068	10,14
3,154764672	97,069682	0,38	6,1826	2,72	5,576	10,42
3,165549368	97,401519	0,28	4,5556	2,4	4,92	10,71
3,169144283	97,512132	0,28	4,5556	2	4,1	10,99
3,176334134	97,733358	0,2	3,254	1,6	3,28	11,28
3,179929072	97,843971	0,2	3,254	1,6	3,28	11,56
3,194308899	98,286428	0,14	2,2778	1,2	2,46	11,85
3,20868885	98,728888	0,14	2,2778	1,12	2,296	12,14
3,223068924	99,171352	0,14	2,2778	1,04	2,132	12,42
3,219473894	99,060735	0,08	1,3016	0,72	1,476	12,71
3,219473894	99,060735	0,1	1,627	0,72	1,476	12,99
3,219473894	99,060735	0,06	0,9762	0,48	0,984	13,28
3,223068924	99,171352	0,06	0,9762	0,48	0,984	13,56
3,230259008	99,392585	0,02	0,3254	0,24	0,492	13,84
3,237449123	99,613819	0,04	0,6508	0,24	0,492	14,13



Resultat av försöken med Halotron II då behållaren höll 20° C.



Trycket i systemet varierade enligt ovan för Halotron II. Då P1,P2 och P3 är lika tyder det på att systemet hade lite förluster.

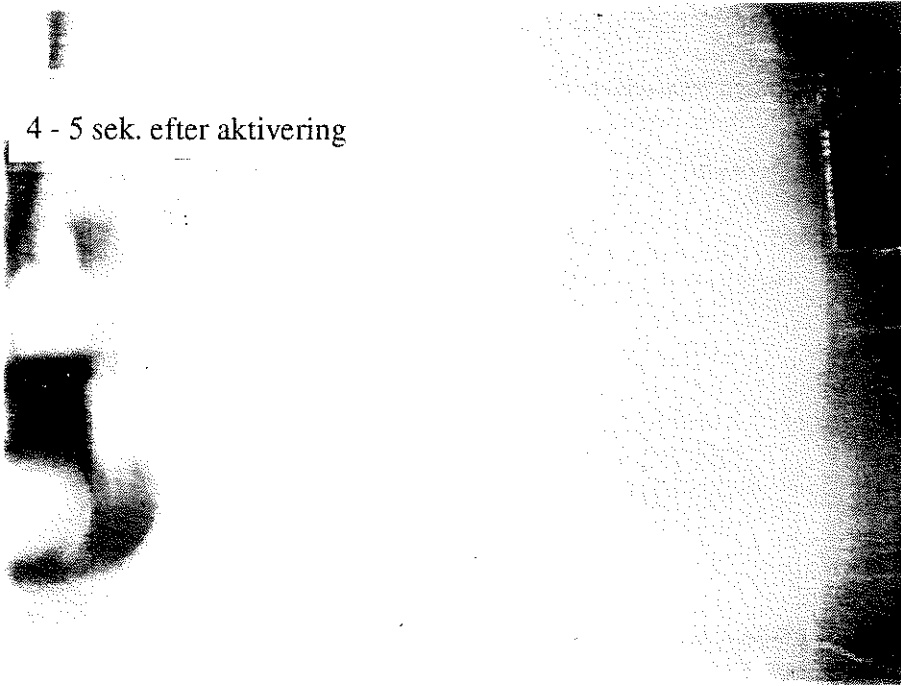


Tömningstiden för Halotron II var ca 8 sekunder och det överensstämde med Halon 1301 vid samma fyllnadsgrad (70 vol%).



Resultat av försöken med Halotron II då behållaren höll 20° C.

4 - 5 sek. efter aktivering



Förångningen av Halotron II såg ut enligt ovan. Släckmedlet övergick snabbt i gasfas när det lämnade munstycket.



## Resultat av försöken med FM 200 då behållaren höll -25° C.

	Tidssteg	Tid(s)		P1 (bar)		Vikt (kg)	Flöde (kg/s)	Tid(s)
	0	0,00	6,046	18,63844	14,1554	11,433933	0	0,00
	85	0,47	3,652	11,49974	13,96	11,083405	0,7227549	0,47
	136	0,75	3,468	10,95006	13,846	10,878866	0,380433	0,75
	187	1,04	3,296	10,43609	13,786	10,771204	0,4602108	1,04
	239	1,33	3,144	9,981786	13,712	10,638411	0,5200063	1,33
	290	1,61	3,008	9,575217	13,63	10,491249	0,4851697	1,61
	342	1,90	2,884	9,204454	13,552	10,351255	0,4059246	1,90
	393	2,18	2,768	8,857551	13,488	10,236378	0,3234914	2,18
	445	2,47	2,668	8,558451	13,436	10,143036	0,3359525	2,47
	497	2,76	2,576	8,283241	13,382	10,046097	0,3806232	2,76
	548	3,04	2,488	8,019963	13,322	9,9383812	0,4060252	3,04
	599	3,32	2,408	7,780591	13,258	9,8234765	0,4060532	3,32
	650	3,61	2,336	7,565133	13,194	9,7085638	0,3484864	3,61
	702	3,90	2,268	7,361624	13,138	9,6080088	0,3045766	3,90
	753	4,18	2,204	7,170068	13,09	9,5218139	0,2987348	4,18
	805	4,47	2,14	6,978495	13,042	9,4356146	0,3111985	4,47
	857	4,76	2,088	6,822829	12,992	9,3458189	0,3553968	4,76
	908	5,04	2,036	6,667152	12,936	9,2452419	0,3427243	5,04
	959	5,32	1,984	6,511463	12,882	9,1482513	0,3173551	5,32
	1010	5,60	1,936	6,367739	12,832	9,0584401	0,3112689	5,60
	1062	5,89	1,892	6,235984	12,782	8,9686241	0,2793016	5,89
	1113	6,18	1,848	6,104221	12,738	8,889582	0,3444174	6,18
	1160	6,44	1,808	5,984429	12,688	8,7997569	0,2849165	6,44
	1210	6,71	1,772	5,876611	12,644	8,7207068	0,3486928	6,71
	1262	7,00	1,732	5,756806	12,588	8,6200922	0,3174555	7,00
	1313	7,29	1,696	5,648976	12,538	8,5302526	0,2989124	7,29
	1365	7,57	1,652	5,517176	12,49	8,4440021	0,2793894	7,57
	1416	7,86	1,6	5,361402	12,446	8,3649351	0,2286012	7,86
	1467	8,14	1,524	5,133711	12,41	8,3002412	0,2159093	8,14
	1518	8,42	1,44	4,882024	12,376	8,2391391	0,2366789	8,42
	1570	8,71	1,332	4,558383	12,338	8,1708459	0,1397159	8,71
	1621	8,99	1,232	4,25867	12,316	8,1313064	0,1651231	8,99
	1672	9,28	1,108	3,886968	12,29	8,0845768	0,0611135	9,28
	1725	9,57	0,988	3,527193	12,28	8,0666035	0,0508086	9,57
	1776	9,86	0,872	3,179353	12,272	8,0522247	0,0762137	9,86
	1827	10,14	0,764	2,85545	12,26	8,0306563	0,1016198	10,14
	1878	10,42	0,656	2,531497	12,244	8,001898	0,0498334	10,42
	1930	10,71	0,556	2,231496	12,236	7,9875187	0,0127027	10,71
	1981	10,99	0,464	1,955458	12,234	7,9839238	0,0124584	10,99
	2033	11,28	0,38	1,703391	12,232	7,980329	0,0127028	11,28
	2084	11,56	0,3	1,4633	12,23	7,9767341	0	11,56
	2135	11,85	0,228	1,247194	12,23	7,9767341	0,0124585	11,85
	2187	12,14	0,164	1,055082	12,228	7,9731392	0,0127028	12,14
	2238	12,42	0,108	0,886969	12,226	7,9695443	0,0124586	12,42
	2290	12,71	0,056	0,730853	12,224	7,9659494	0,0127029	12,71
	2341	12,99	0	0,562715	12,222	7,9623545	0	12,99
	2393	13,28	-0,056	0,394563	12,222	7,9623545	0	13,28
	2444	13,56	-0,104	0,250422	12,222	7,9623545	-0,0127029	13,56
	2495	13,84	-0,144	0,130297	12,224	7,9659494	0,0249172	13,84
	2547	14,13	-0,172	0,046206	12,22	7,9587596	0	14,13



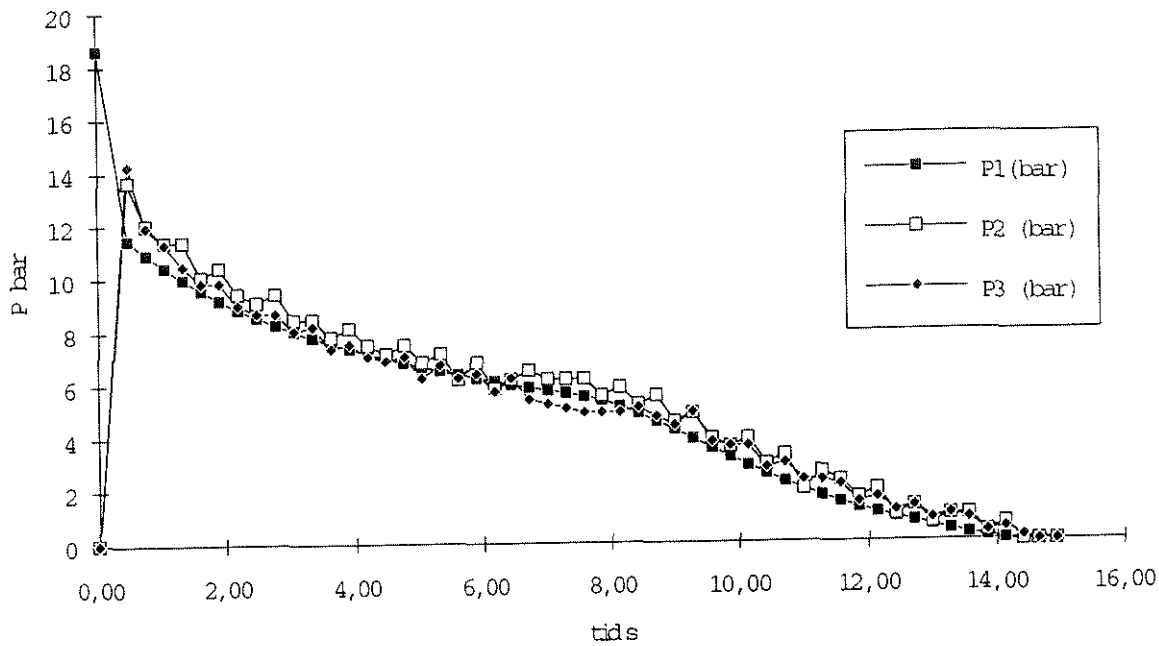


## Resultat av försöken med FM 200 då behållaren höll -25° C.

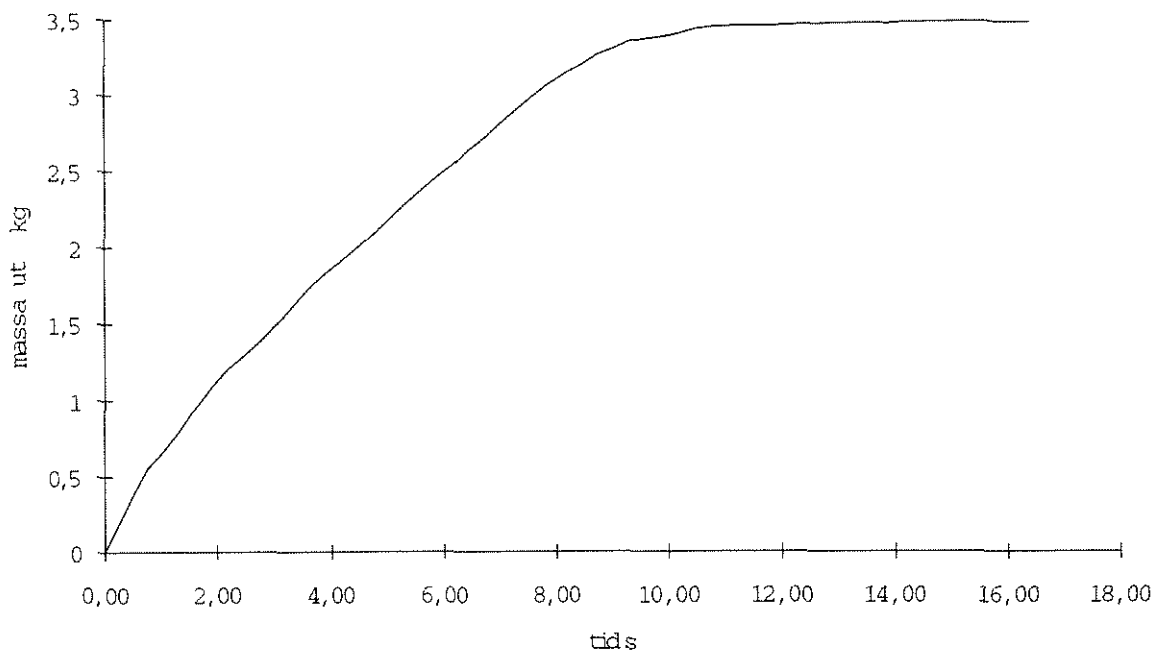
massa ut (kg)	mass% ut		P2 (bar)		P3 (bar)	Tid(s)
0	0	0	0	0	0	0,00
0,350525346	10,077201	0,84	13,6668	6,96	14,268	0,47
0,555064264	15,957459	0,74	12,0398	5,84	11,972	0,75
0,662726419	19,052622	0,7	11,389	5,52	11,316	1,04
0,79551933	22,870266	0,7	11,389	5,12	10,496	1,33
0,942680598	27,100983	0,62	10,0874	4,8	9,84	1,61
1,082675334	31,125671	0,64	10,4128	4,8	9,84	1,90
1,197551595	34,428231	0,58	9,4366	4,4	9,02	2,18
1,290894388	37,111729	0,56	9,1112	4,24	8,692	2,47
1,387832823	39,898598	0,58	9,4366	4,24	8,692	2,76
1,495548808	42,995308	0,52	8,4604	3,92	8,036	3,04
1,610453531	46,298687	0,52	8,4604	4	8,2	3,32
1,725366173	49,602293	0,48	7,8096	3,6	7,38	3,61
1,825921232	52,493136	0,5	8,135	3,68	7,544	3,90
1,912116109	54,971139	0,46	7,4842	3,44	7,052	4,18
1,998315441	57,449271	0,44	7,1588	3,36	6,888	4,47
2,088111148	60,030794	0,46	7,4842	3,44	7,052	4,76
2,188688079	62,922265	0,42	6,8334	3,04	6,232	5,04
2,28567872	65,710635	0,44	7,1588	3,28	6,724	5,32
2,375489895	68,292603	0,38	6,1826	3,04	6,232	5,60
2,465305905	70,87471	0,42	6,8334	3,12	6,396	5,89
2,544347992	73,147079	0,36	5,8572	2,8	5,74	6,18
2,634173089	75,729447	0,38	6,1826	3,04	6,232	6,44
2,713223174	78,002046	0,4	6,508	2,64	5,412	6,71
2,813837786	80,894601	0,38	6,1826	2,56	5,248	7,00
2,903677384	83,477386	0,38	6,1826	2,48	5,084	7,29
2,989927947	85,95699	0,38	6,1826	2,4	4,92	7,57
3,068994876	88,230073	0,34	5,5318	2,4	4,92	7,86
3,133688784	90,089949	0,36	5,8572	2,4	4,92	8,14
3,194790888	91,846564	0,32	5,2064	2,48	5,084	8,42
3,263084118	93,809916	0,34	5,5318	2,32	4,756	8,71
3,302623581	94,94663	0,28	4,5556	2,16	4,428	8,99
3,349353243	96,290054	0,3	4,881	2,4	4,92	9,28
3,367326538	96,806766	0,24	3,9048	1,84	3,772	9,57
3,381705313	97,220139	0,22	3,5794	1,76	3,608	9,86
3,403273708	97,840205	0,24	3,9048	1,76	3,608	10,14
3,432032001	98,666973	0,18	2,9286	1,36	2,788	10,42
3,446411333	99,080363	0,2	3,254	1,44	2,952	10,71
3,450006185	99,18371	0,12	1,9524	1,12	2,296	10,99
3,453601046	99,287059	0,16	2,6032	1,12	2,296	11,28
3,457195913	99,390407	0,14	2,2778	1,04	2,132	11,56
3,457195913	99,390407	0,1	1,627	0,72	1,476	11,85
3,460790789	99,493755	0,12	1,9524	0,8	1,64	12,14
3,464385672	99,597104	0,06	0,9762	0,56	1,148	12,42
3,467980563	99,700453	0,08	1,3016	0,64	1,312	12,71
3,471575462	99,803802	0,04	0,6508	0,4	0,82	12,99
3,471575462	99,803802	0,06	0,9762	0,48	0,984	13,28
3,471575462	99,803802	0,06	0,9762	0,4	0,82	13,56
3,467980563	99,700453	0,02	0,3254	0,16	0,328	13,84
3,475170368	99,907152	0,04	0,6508	0,24	0,492	14,13



Resultat av försöken med FM 200 då behållaren höll  $-25^{\circ}\text{C}$ .



Trycket i systemet varierade enligt ovan för FM 200. Pga att behållaren var kyld till  $-25^{\circ}\text{C}$  hölls ett genomgående lägre tryck under tömningstiden.



Pga ett lägre tryck i behållaren blev tömningstiden för FM 200 något längre då behållaren var kyld.



Resultat av försöken med FM 200 då behållaren höll -25° C.



Förångningen av FM 200 såg ut enligt ovan. En större andel vätska kunde iaktagas då släckmedlet lämnade munstycket. Det beror förmodligen på en relativt hög kokpunkt.



## Resultat av försöken med Halotron II då behållaren höll -25° C.

	Tidssteg	Tid(s)		P1 (bar)		Vikt (kg)	Flöde (kg/s)	Tid(s)
	0	0,00	4,2	13,13599	13,8198	10,831854	0	0,00
	85	0,47	3,12	9,910044	13,746	10,699425	0,2663292	0,47
	136	0,75	3,02	9,611094	13,704	10,624054	0,2663413	0,75
	187	1,04	2,924	9,324062	13,662	10,54868	0,1119548	1,04
	239	1,33	2,828	9,03699	13,644	10,516375	0,2663585	1,33
	290	1,61	2,744	8,785771	13,602	10,440996	0,2736887	1,61
	342	1,90	2,668	8,558451	13,558	10,362024	0,253698	1,90
	393	2,18	2,604	8,367004	13,518	10,290228	0,199063	2,18
	445	2,47	2,54	8,17554	13,486	10,232788	0,1493018	2,47
	497	2,76	2,468	7,960123	13,462	10,189708	0,2790972	2,76
	548	3,04	2,408	7,780591	13,418	10,110723	0,2664233	3,04
	599	3,32	2,364	7,648924	13,376	10,035326	0,2156849	3,32
	650	3,61	2,316	7,505279	13,342	9,9742873	0,1119933	3,61
	702	3,90	2,268	7,361624	13,324	9,9419718	0,2030087	3,90
	753	4,18	2,22	7,217959	13,292	9,8845206	0,2986698	4,18
	805	4,47	2,184	7,110203	13,244	9,79834	0,2737942	4,47
	857	4,76	2,156	7,02639	13,2	9,7193372	0,1395863	4,76
	908	5,04	2,12	6,918625	13,178	9,6798344	0,1142095	5,04
	959	5,32	2,084	6,810854	13,16	9,6475133	0,2664974	5,32
	1010	5,60	2,06	6,739004	13,118	9,5720948	0,2862786	5,60
	1062	5,89	2,04	6,679127	13,072	9,4894897	0,1903721	5,89
	1113	6,18	2,02	6,619249	13,042	9,4356146	0,0964035	6,18
	1160	6,44	1,992	6,535415	13,028	9,4104722	0,1812426	6,44
	1210	6,71	1,968	6,463556	13	9,3601865	0,2614174	6,71
	1262	7,00	1,952	6,415648	12,958	9,284755	0,2665553	7,00
	1313	7,29	1,94	6,379717	12,916	9,2093201	0,1742927	7,29
	1365	7,57	1,928	6,343785	12,888	9,1590283	0,1269392	7,57
	1416	7,86	1,908	6,283896	12,868	9,1231046	0,1523306	7,86
	1467	8,14	1,888	6,224006	12,844	9,0799952	0,2538931	8,14
	1518	8,42	1,872	6,176093	12,804	9,0081437	0,273924	8,42
	1570	8,71	1,86	6,140158	12,76	8,9291035	0,1650442	8,71
	1621	8,99	1,848	6,104221	12,734	8,8823962	0,1396564	8,99
	1672	9,28	1,824	6,032347	12,712	8,8428736	0,1710418	9,28
	1725	9,57	1,804	5,97245	12,684	8,7925707	0,2031486	9,57
	1776	9,86	1,788	5,924531	12,652	8,7350798	0,3174337	9,86
	1827	10,14	1,776	5,888591	12,602	8,6452464	0,1650723	10,14
	1878	10,42	1,76	5,84067	12,576	8,5985312	0,1120857	10,42
	1930	10,71	1,74	5,780768	12,558	8,566189	0,1777787	10,71
	1981	10,99	1,716	5,708882	12,53	8,5158778	0,2241847	10,99
	2033	11,28	1,696	5,648976	12,494	8,4511898	0,3174876	11,28
	2084	11,56	1,68	5,60105	12,444	8,3613411	0,0888996	11,56
	2135	11,85	1,66	5,54114	12,43	8,3361826	0,1121034	11,85
	2187	12,14	1,628	5,445282	12,412	8,3038354	0,1905073	12,14
	2238	12,42	1,604	5,373385	12,382	8,249922	0,2740484	12,42
	2290	12,71	1,584	5,313469	12,338	8,1708459	0,1778208	12,71
	2341	12,99	1,552	5,2176	12,31	8,1205228	0,1370332	12,99
	2393	13,28	1,504	5,073789	12,288	8,0809821	0,1524257	13,28
	2444	13,56	1,456	4,929967	12,264	8,0373458	0,2159432	13,56
	2495	13,84	1,408	4,786136	12,23	7,9767341	0,1495038	13,84
	2547	14,13	1,34	4,582358	12,205	7,9335951	0,114329	14,13



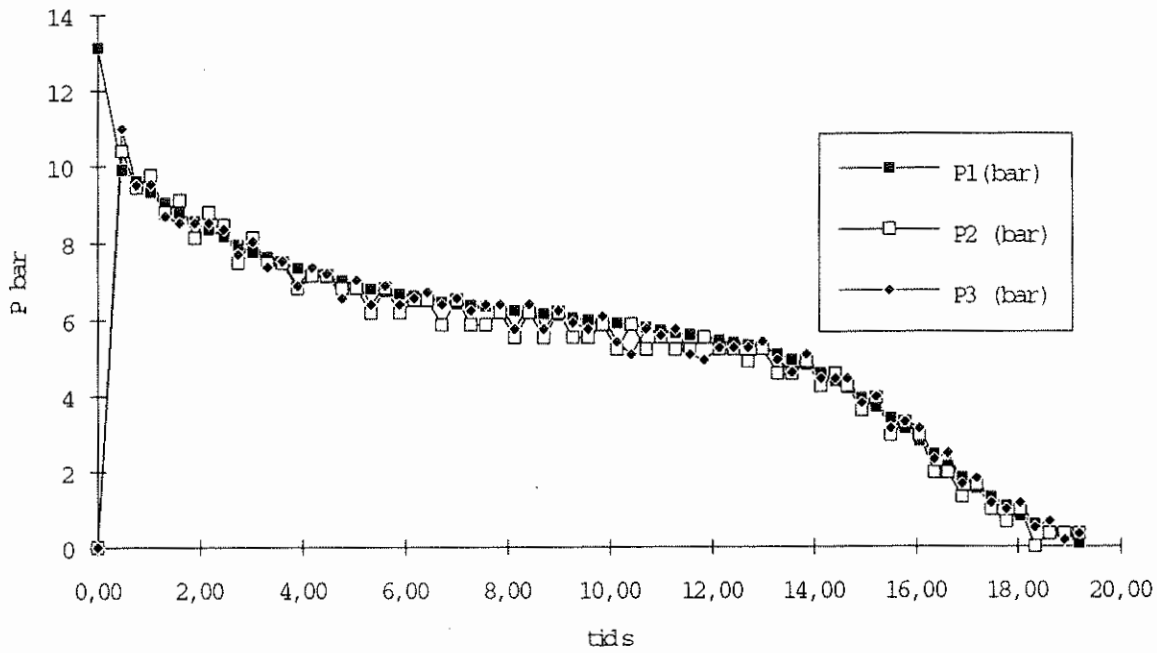


## Resultat av försöken med Halotron II då behållaren höll -25° C.

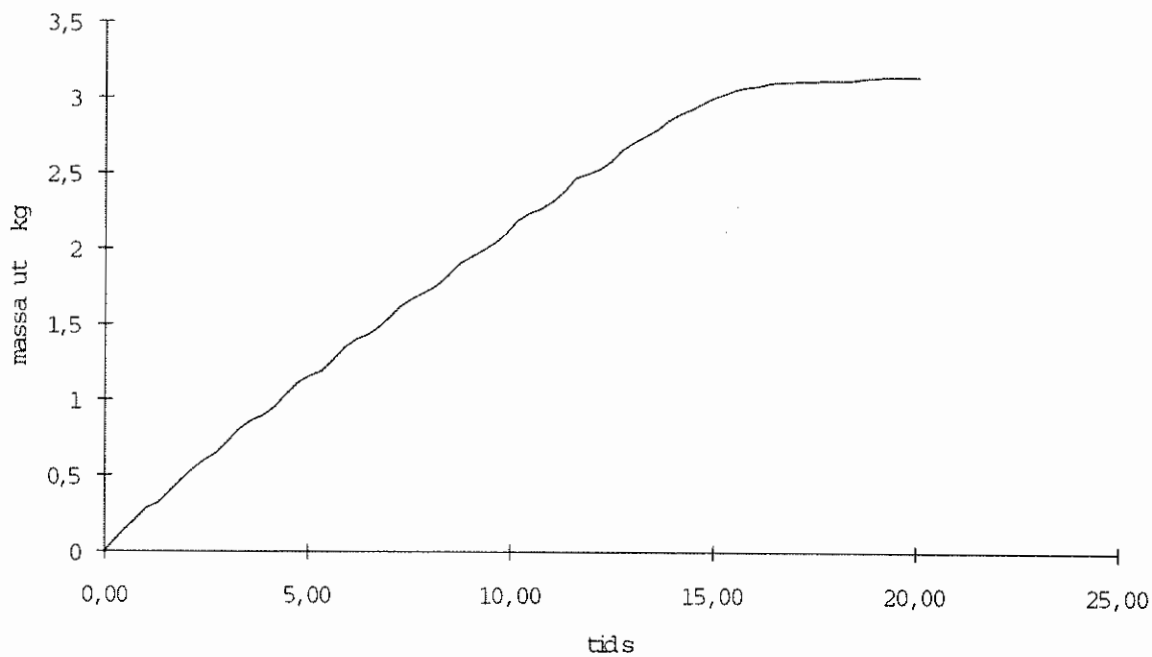
massa ut (kg)	mass% ut		P2 (bar)		P3 (bar)	Tid(s)
0	0	0	0	0	0	0,00
0,132425056	4,213333	0,64	10,4128	5,36	10,988	0,47
0,207795955	6,6113889	0,58	9,4366	4,64	9,512	0,75
0,283170264	9,0095534	0,6	9,762	4,646	9,5243	1,04
0,315474583	10,037371	0,54	8,7858	4,24	8,692	1,33
0,390853765	12,435691	0,56	9,1112	4,16	8,528	1,61
0,46982609	14,948332	0,5	8,135	4,16	8,528	1,90
0,541622361	17,232655	0,54	8,7858	4,16	8,528	2,18
0,599061605	19,060185	0,52	8,4604	4,08	8,364	2,47
0,642142338	20,430873	0,46	7,4842	3,76	7,708	2,76
0,721126574	22,943894	0,5	8,135	3,92	8,036	3,04
0,796524109	25,342797	0,46	7,4842	3,6	7,38	3,32
0,857562706	27,284846	0,46	7,4842	3,68	7,544	3,61
0,889878163	28,313018	0,42	6,8334	3,36	6,888	3,90
0,947329411	30,140929	0,44	7,1588	3,6	7,38	4,18
1,033509995	32,882914	0,44	7,1588	3,52	7,216	4,47
1,112512777	35,396525	0,42	6,8334	3,2	6,56	4,76
1,152015572	36,653375	0,42	6,8334	3,44	7,052	5,04
1,184336736	37,681729	0,38	6,1826	3,12	6,396	5,32
1,259755223	40,081299	0,42	6,8334	3,36	6,888	5,60
1,342360336	42,709524	0,38	6,1826	3,12	6,396	5,89
1,396235441	44,423654	0,4	6,508	3,2	6,56	6,18
1,421377751	45,2236	0,4	6,508	3,28	6,724	6,44
1,47166351	46,823529	0,36	5,8572	3,12	6,396	6,71
1,54709499	49,223512	0,4	6,508	3,2	6,56	7,00
1,622529881	51,623604	0,36	5,8572	3,04	6,232	7,29
1,672821703	53,223726	0,36	5,8572	3,12	6,396	7,57
1,708745362	54,366699	0,38	6,1826	3,12	6,396	7,86
1,751854772	55,7383	0,34	5,5318	2,8	5,74	8,14
1,823706265	58,02438	0,38	6,1826	3,12	6,396	8,42
1,902746481	60,539182	0,34	5,5318	2,8	5,74	8,71
1,949453822	62,025257	0,38	6,1826	3,04	6,232	8,99
1,98897644	63,282737	0,34	5,5318	2,88	5,904	9,28
2,039279306	64,883211	0,34	5,5318	2,8	5,74	9,57
2,096770153	66,712382	0,36	5,8572	2,96	6,068	9,86
2,186603564	69,570587	0,32	5,2064	2,64	5,412	10,14
2,233318849	71,056915	0,36	5,8572	2,48	5,084	10,42
2,265660965	72,085936	0,32	5,2064	2,8	5,74	10,71
2,315972169	73,686674	0,34	5,5318	2,72	5,576	10,99
2,38066023	75,744837	0,32	5,2064	2,8	5,74	11,28
2,470508917	78,603529	0,32	5,2064	2,48	5,084	11,56
2,495667415	79,40399	0,34	5,5318	2,4	4,92	11,85
2,528014613	80,433173	0,32	5,2064	2,56	5,248	12,14
2,581928001	82,148521	0,32	5,2064	2,56	5,248	12,42
2,661004118	84,664464	0,3	4,881	2,56	5,248	12,71
2,711327233	86,265582	0,32	5,2064	2,64	5,412	12,99
2,750867886	87,523636	0,28	4,5556	2,4	4,92	13,28
2,794004212	88,896093	0,28	4,5556	2,24	4,592	13,56
2,855115913	90,840468	0,3	4,881	2,48	5,084	13,84
2,89825493	92,213011	0,26	4,2302	2,16	4,428	14,13



Resultat av försöken med Halotron II då behållaren höll  $-25^{\circ}\text{C}$ .



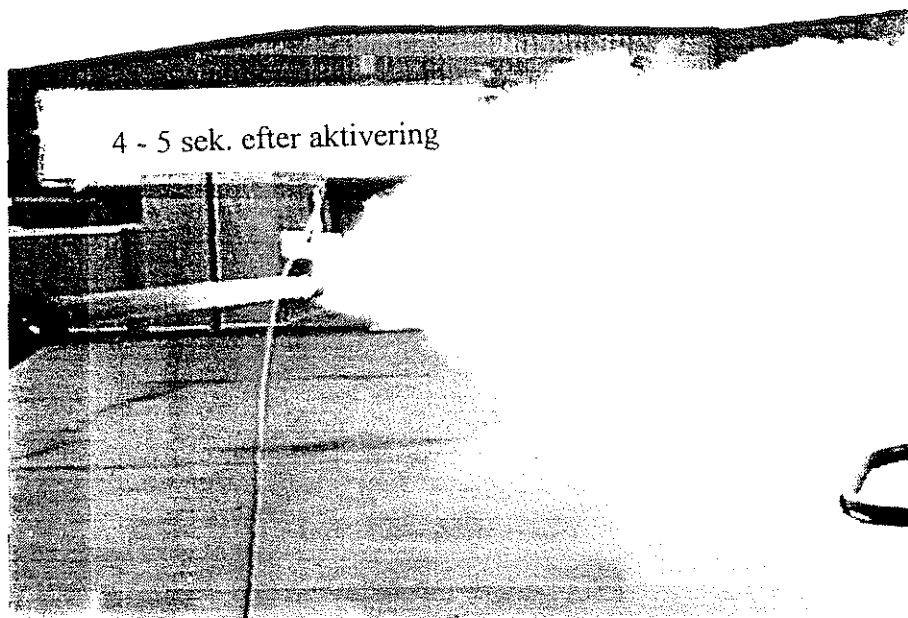
Trycket i systemet varierade enligt ovan för Halotron II. Pga att behållaren var kyld till  $-25^{\circ}\text{C}$  hölls ett genomgående lägre tryck under tömningstiden.



Pga ett lägre tryck i behållaren blev tömningstiden för Halotron II något längre då behållaren var kyld.



Resultat av försöken med Halotron II då behållaren hålls på -25° C.



Förångningen av Halotron II såg ut enligt ovan. Släckmedlet övergår i gasfas direkt efter det lämnat munstycket. Det beror på att Halotron II innehåller gaser med mycket låg kokpunkt.



Maximal ekvivalent rörlängd vid varierande tömningstid och ventilförlust, fyllnadsgrad = 77% vätska, massa = 25 kg.

Bilaga 11 1(2)

## A1.

Behållare: 25 l

Mängd: 25 kg

Tryck: 25 bar, 360 psi

Tömningstid: 10 s

Ventilförlust 0,2 bar (32 mm utlopp)

Fyllnadsgrad: 77 % vätska

Maximal ekvivalent längd enligt beräkningsmodell.

Rördim (inch)	Innerdiam. (mm)	Max ekv. längd (m)	Sluttryck (psi)	Sluttryck (bar)	Munstycke (mm)
3/8	12,5	0,2	243	16,8	11,5
1/2	15,8	2,7	194	13,5	14,5
3/4	20,9	12,0	161	11,1	17
1	26,6	23,5	149	10,4	18,5
1 1/4	35,1	28,0	140	9,7	20
1 1/2	40,9	27,0	137	9,5	20,5
2	52,5	21,0	131	9,1	21
2 1/2	62,7	15,5	131	9,1	21,5
3	77,9	10,5	130	9,0	21,5
3 1/2	90,1	7,5	130	9,0	21,5
4	102,3	6,0	129	9,0	21,5

## A2.

Tömningstid: 5 s

Ventilförlust: 0,9 bar

I övrigt samma förutsättningar som i A1.

Rördim (inch)	Innerdiam. (mm)	Max ekv. längd (m)	Sluttryck (psi)	Sluttryck (bar)	Munstycke (mm)
3/8	12,5	0	-	-	-
1/2	15,8	0	-	-	-
3/4	20,9	1,5	217	15,1	18,5
1	26,6	8,5	161	11,2	23,5
1 1/4	35,1	15	153	10,6	25,5
1 1/2	40,9	16,5	146	10,1	27
2	52,5	15,5	138	9,6	28,5
2 1/2	62,7	12,5	136	9,4	29
3	77,9	9,0	133	9,2	29,5
3 1/2	90,1	7,0	130	9,0	30
4	102,3	5,5	129	9,0	30,5





## A3.

För att se hur ventilmörlusten påverkar beräkningsmodellen beräknades maximala tillåtna ventilmörlusten med samma förutsättningar som i A1 men med halva maximala ekvivalenta rörlängden för respektive rördimension.

Rördim (inch)	Inner- diam. (mm)	Ekv. längd (m)	Sluttryck (psi)	Sluttryck (bar)	Max ventförl. (psi)	Max ventförl. (bar)	Munstycke (mm)
3/8	12,5	0,1	208	14,4	33	2,3	12
1/2	15,8	1,4	194	13,4	32	2,2	14
3/4	20,9	6,0	171	11,9	40	2,8	16,5
1	26,6	11,8	149	10,4	58	4,1	18,5
1 1/4	35,1	14,0	144	10,6	61	4,1	19,5
1 1/2	40,9	13,5	140	9,7	61	4,2	20
2	52,5	10,5	136	9,4	57	4,0	20,5
2 1/2	62,7	7,8	136	9,4	57	3,9	20,5
3	77,9	5,3	135	9,4	54	3,8	20,5
3 1/2	90,1	3,8	136	9,4	57	4,0	20,5
4	102,3	3,0	136	9,4	54	3,8	20,5



Maximal ekvivalent rörlängd vid varierande tömningstid och ventilförlust, fyllnadsgrad = 62% vätska, massa = 25 kg.

Bilaga 12 1(2)

### B1.

Behållare: 25 l

Mängd: 20 kg

Tryck: 25 bar, 360 psi

Tömningstid: 10 s

Ventilförlust 0,1 bar (32 mm utlopp)

Fyllnadsgrad: 62 % vätska

Maximal ekvivalent längd enligt beräkningsmodell.

Rördim (inch)	Innerdiam. (mm)	Max ekv. längd (m)	Sluttryck (psi)	Sluttryck (bar)	Munstycke (mm)
3/8	12,5	1,3	219	15,2	11,5
1/2	15,8	5,0	198	13,8	13,5
3/4	20,9	22,0	162	11,3	16
1	26,6	41,0	141	9,8	18
1 1/4	35,1	54,0	128	8,9	20
1 1/2	40,9	47,0	131	9,1	19,5
2	52,5	30,0	137	9,5	19
2 1/2	62,7	21,0	136	9,4	19
3	77,9	13,0	140	9,7	18,5
3 1/2	90,1	11,0	135	9,4	19
4	102,3	9,0	133	9,2	19,5

### B2.

Tömningstid: 5 s

Ventilförlust: 0,4 bar

I övrigt samma förutsättningar som i B1.

Rördim (inch)	Innerdiam. (mm)	Max ekv. längd (m)	Sluttryck (psi)	Sluttryck (bar)	Munstycke (mm)
3/8	12,5	0	-	-	-
1/2	15,8	0,5	234	16,3	15
3/4	20,9	6,0	190	13,2	19
1	26,6	17,0	153	10,6	22,5
1 1/4	35,1	29,0	143	9,9	25
1 1/2	40,9	34,0	131	9,1	27
2	52,5	29,0	132	9,2	27,5
2 1/2	62,7	23,0	130	9,0	28
3	77,9	15,0	131	9,1	27,5
3 1/2	90,1	11,0	134	9,3	27
4	102,3	9,0	132	9,2	27,5



## B3.

För att se hur ventilförlusten påverkar beräkningsmodellen beräknades maximala tillåtna ventilförlusten med samma förutsättningar som i B1 men med halva maximala ekvivalenta rörlängden för respektive rördimension.

Rördim (inch)	Inner- diam. (mm)	Ekv. längd (m)	Sluttryck (psi)	Sluttryck (bar)	Max ventförl. (psi)	Max ventförl. (bar)	Munstycke (mm)
3/8	12,5	0,7	221	15,4	31	2,2	11,5
1/2	15,8	3,0	187	13,0	51	3,6	14
3/4	20,9	11,0	171	11,9	54	3,8	15,5
1	26,6	20,5	153	10,6	66	4,6	17
1 1/4	35,1	27,0	144	10,0	62	4,3	18
1 1/2	40,9	23,5	140	9,7	69	4,8	18,5
2	52,5	15,0	136	9,5	81	5,6	19
2 1/2	62,7	10,5	135	9,4	83	5,8	19
3	77,9	6,5	136	9,4	86	6,0	19
3 1/2	90,1	5,5	135	9,4	78	5,4	19
4	102,3	4,5	133	9,2	79	5,5	19,5



Maximal ekvivalent rörlängd vid varierande tömningstid och ventilförlust, fyllnadsgrad = 77% vätska, massa = 75 kg.

Bilaga 13 1(2)

## C1.

Behållare: 75 l

Mängd: 75 kg

Tryck: 25 bar, 360 psi

Tömningstid: 10 s

Ventilförlust 0,6 bar (38 mm utlopp)

Fyllnadsgrad: 77 % vätska

Maximal ekvivalent längd enligt beräkningsmodell.

Rördim (inch)	Innerdiam. (mm)	Max ekv. längd (m)	Sluttryck (psi)	Sluttryck (bar)	Munstycke (mm)
3/8	12,5	0	-	-	-
1/2	15,8	0	-	-	-
3/4	20,9	0,6	206	14,3	20
1	26,6	4,5	177	12,3	24,5
1 1/4	35,1	16,5	161	11,2	29,5
1 1/2	40,9	24,5	150	10,4	31,5
2	52,5	31,0	146	10,1	33
2 1/2	62,7	30	139	9,7	34,5
3	77,9	25,5	134	9,3	36
3 1/2	90,1	21,0	130	9,0	37
4	102,3	16	133	9,2	36

## C2.

Tömningstid: 5 s

Ventilförlust: 2,9 bar

I övrigt samma förutsättningar som i C1.

Rördim (inch)	Innerdiam. (mm)	Max ekv. längd (m)	Sluttryck (psi)	Sluttryck (bar)	Munstycke (mm)
3/8	12,5	0	-	-	-
1/2	15,8	0	-	-	-
3/4	20,9	0	-	-	-
1	26,6	0	-	-	-
1 1/4	35,1	1,5	189	13,1	32,5
1 1/2	40,9	5,0	167	11,6	37
2	52,5	11,5	155	10,7	42,5
2 1/2	62,7	13,5	150	10,4	45
3	77,9	13,0	143	9,9	47,5
3 1/2	90,1	11,5	140	9,7	48,5
4	102,3	10,0	137	9,5	49,5





## C3.

För att se hur ventillförlusten påverkar beräkningsmodellen beräknades maximala tillåtna ventillförlusten med samma förutsättningar som i C1 men med halva maximala ekvivalenta rörlängden för respektive rördimension.

Rördim (inch)	Inner- diam. (mm)	Ekv. längd (m)	Sluttryck (psi)	Sluttryck (bar)	Max ventförl. (psi)	Max ventförl. (bar)	Munstycke (mm)
3/8	12,5	-	-	-	-	-	-
1/2	15,8	-	-	-	-	-	-
3/4	20,9	0,3	205	14,2	29	2,0	20
1	26,6	2,2	179	12,4	37	2,6	24,5
1 1/4	35,1	8,2	162	11,2	50	3,5	29
1 1/2	40,9	12,3	149	10,3	62	4,3	31,5
2	52,5	15,5	144	10,8	67	4,7	33,5
2 1/2	62,7	15,0	142	9,9	65	4,5	34
3	77,9	12,8	138	9,6	62	4,3	35
3 1/2	90,1	10,5	135	9,4	60	4,2	35,5
4	102,3	8,0	135	9,4	63	4,4	35,5



Maximal ekvivalent rörlängd vid varierande tömningstid  
och ventillförlust, fyllnadsgrad = 62% vätska, massa = 60 kg.

Bilaga 14 1(2)

## D1.

Behållare: 75 l

Mängd: 60 kg

Tryck: 25 bar, 360 psi

Tömningstid: 10 s

Ventillförlust 0,4 bar (38 mm utlopp)

Fyllnadsgrad: 62 % vätska

Maximal ekvivalent längd enligt beräkningsmodell.

Rördim (inch)	Innerdiam. (mm)	Max ekv. längd (m)	Sluttryck (psi)	Sluttryck (bar)	Munstycke (mm)
3/8	12,5	0	-	-	-
1/2	15,8	0	-	-	-
3/4	20,9	2	214	14,9	19,5
1	26,6	7,5	217	15,1	22
1 1/4	35,1	30,5	160	11,1	27,5
1 1/2	40,9	44,0	149	10,4	29,5
2	52,5	60,0	132	9,2	33
2 1/2	62,7	57,5	132	9,2	33,5
3	77,9	42,0	134	9,3	33
3 1/2	90,1	27,0	140	9,7	32
4	102,3	24,0	137	9,5	32,5

## D2.

Tömningstid: 5 s

Ventillförlust: 2,0 bar

I övrigt samma förutsättningar som i D1.

Rördim (inch)	Innerdiam. (mm)	Max ekv. längd (m)	Sluttryck (psi)	Sluttryck (bar)	Munstycke (mm)
3/8	12,5	0	-	-	-
1/2	15,8	0	-	-	-
3/4	20,9	0	-	-	-
1	26,6	0,5	223	15,5	25,5
1 1/4	35,1	6,0	192	13,3	31,5
1 1/2	40,9	11,0	189	13,3	34
2	52,5	25,0	156	10,8	40
2 1/2	62,7	30,0	143	9,9	43,5
3	77,9	31,0	135	9,4	46
3 1/2	90,1	28,0	130	9,0	48
4	102,3	25,0	126	8,8	49,5

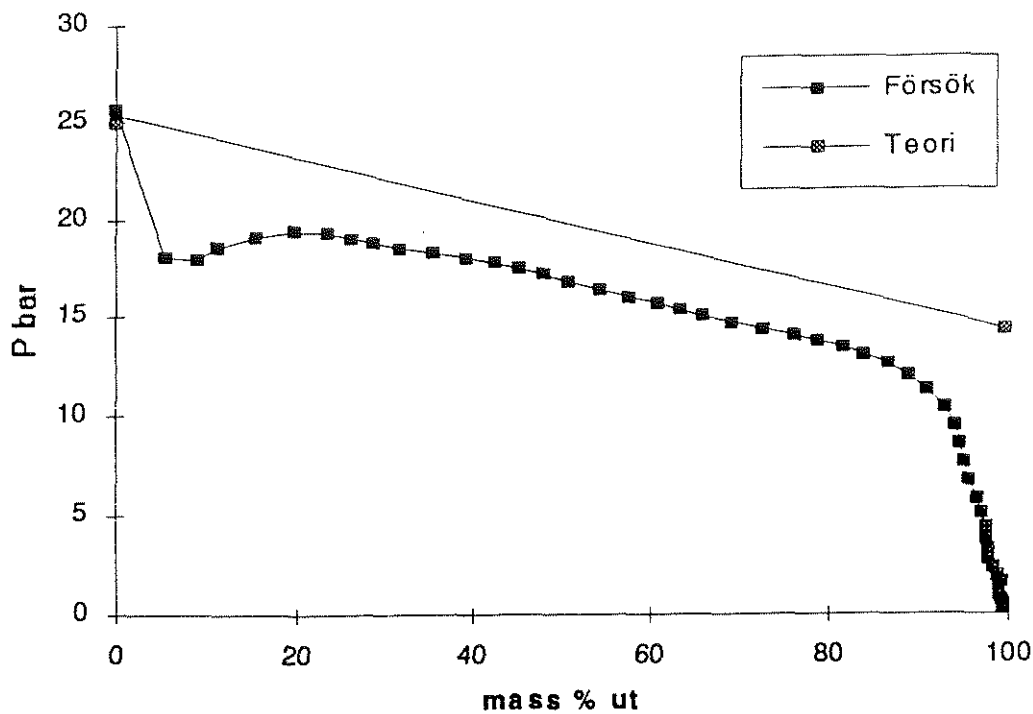


## D3.

För att se hur ventilförlusten påverkar beräkningsmodellen beräknades maximala tillåtna ventilförlusten med samma förutsättningar som i D1 men med halva maximala ekvivalenta rörlängden för respektive rördimension.

Rördim (inch)	Inner- diam. (mm)	Ekv. längd (m)	Sluttryck (psi)	Sluttryck (bar)	Max ventförl. (psi)	Max ventförl. (bar)	Munstycke (mm)
3/8	12,5	0	-	-	-	-	-
1/2	15,8	0	-	-	-	-	-
3/4	20,9	1,0	215	14,9	36	2,5	19,5
1	26,6	3,8	194	13,5	55	3,8	23
1 1/4	35,1	15,3	171	11,9	58	4,0	26,5
1 1/2	40,9	22,0	161	11,2	62	4,3	28
2	52,5	30,0	150	10,4	61	4,2	30
2 1/2	62,7	28,8	142	9,9	65	4,5	31,5
3	77,9	21,0	142	9,9	64	4,5	31,5
3 1/2	90,1	13,5	142	9,9	78	5,4	31,5
4	102,3	12,0	137	9,5	81	5,6	32,5





Den teoretiska beräkningen visar här ett genomgående högre tryck än det uppmätta i försöket. I försöket är det dock påmonterat ett mindre rörsystem vilket gör att trycket i behållaren var något högre än det redovisade i figuren ovan.

Förutsättningar försök:

Tryck (start): 25 bar  
Vikt: 3,2 kg  
Ventilförlust: 0,1 bar  
Behållarvolym: 3,5 l  
Fyllnadsgrad: 70 % vätska  
 $P_0 = 14,9$  bar  
Tömningstid: ca 8s



