

Rune Berglind

Toxikologisk utvärdering av Halotron IIB – ett brandsläckningsmedel för användning i slutna utrymmen

TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

NBC-skydd
901 82 Umeå

FOI-R--1247--SE

November 2004

ISSN 1650-1942

Teknisk rapport

Rune Berglind

Toxikologisk utvärdering av Halotron IIB – ett brandsläckningsmedel för användning i slutna utrymmen

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI NBC-skydd 901 82 Umeå	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1247--SE	Klassificering Teknisk rapport
	Forskningsområde 3. Skydd mot NBC och andra farliga ämnen	
	Månad, år November 2004	Projektnummer E46104
	Delområde 35 Miljöfrågor	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Rune Berglind	Projektledare Jan Sjöström	
	Godkänd av	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig	
Rapportens titel Toxikologisk utvärdering av Halotron IIB – ett brandsläckningsmedel för användning i slutna utrymmen		
Sammanfattning (högst 200 ord) Brandsläckmedel ombord på marinens U-båtar och ytfartyg måste dels ha mycket god släckande förmåga, dels ha låg toxisk inverkan på människor. Forsvarets Materielverk, FMV, har uppdragit åt FOI NBC-skydd att genomföra en litteraturstudie och toxikologisk bedömning av släckmedlet Halotron IIB som är avsett att användas i bl.a. marinens fartyg. Släckmedlet Halotron IIB är en trycksatt blandning av tre olika gaser, HFC-134a (tetrafluoretan), HFC-125 (pentafluoretan) och CO ₂ (koldioxid). Idag marknadsförs en analog produkt under namnet Halotron II av American Pacific Corporation – Halotron Division (AMPAC), USA. Halotron IIB uppnår släckeffekt vid halten $\geq 12,4$ volymprocent i luften. Beräknad HFC-halt i luften vid släckning är ca 11 volymprocent. Absorptionen liksom eliminationen via lungorna av HFC-134a och HFC-125 till respektive från blodet är snabb. På grund av substansernas höga fettlöslighet förväntas akuta toxiska effekter uppkomma i nervsystemet och yttra sig som bl.a. narkotisk effekt. Både HFC-134a och HFC-125 har låg akut giftighet men HFC-134a har i försök på råttan visat sig påverka inlärnt beteende vid en koncentration i luften som överstiger 10 volymprocent. Kontrollerade försök på människa har visat att inga effekter kunnat iakttas efter 45 minuters exponering för HFC-134a vid en halt på 0,8 volymprocent. AMPAC anger LOAEL och NOAEL värden på 7,5 respektive 5 volymprocent för HFC-134a. DuPont anger 8 volymprocent som den högsta acceptabla koncentrationen för exponering för HFC-125 i 5 minuter. Mot bakgrund av betydelsen av utrymningstid, sannolik exponeringstid samt inhalerad och upptagen mängd HFC under den tid utrymning av en eldhärjad lokal beräknas ta, har nivåerna för NOAEL resp. LOAEL underordnad betydelse, med tanke på att brandgasers giftighet och den hetta som eventuell brand utvecklar torde utgöra en betydligt större fara än släckmedlets gaser under den tid evakueringen tar.		
Nyckelord Brandsläckningsmedel, HFC-134a, HFC-125, koldioxid, narkotisk effekt, riskbedömning		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 16 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency NBC Defence SE-901 82 Umeå	Report number, ISRN FOI-R--1247--SE	Report type Technical report
	Programme Areas 3. NBC Defence and other hazardous substances	
	Month year November 2004	Project No. E46104
	Subcategories 35 Environmental studies	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Rune Berglind	Project manager Jan Sjöström	
	Approved by	
	Sponsoring agency	
	Scientifically and technically responsible	
Report title (In translation) Toxicological Investigation of Halotron IIB - A Fire Extinguishing Tool to be Used in Sealed Rooms		
Abstract (not more than 200 words) <p>The fire extinguishing tool on sub-marines and ships must have good fire extinguishing properties and low human toxicity. On behalf of The Swedish Defence Material Administration, FOI NBC Defence has performed a literature study and toxicological assessment of Halotron IIB, which is aimed to be used as a fire extinguishing tool aboard Swedish naval ships. Halotron IIB, which is analogous to Bejaros' Halotron IIB, is a pressurized mixture of three gases, HFC-134a (tetrafluoroethane), HFC-125 (pentafluoroethane) and carbon dioxide. It is today a registered trademark of the American Pacific Corporation (AMPAC), USA. The total concentration of Halotron IIB needed to extinguish the fire must exceed 12.4 percentage by volume resulting in about 11 percentage by volume of hydrofluorocarbons (HFC:s) in the air. The absorption of HFC:s via the lungs to the blood is rapid and the steady state with inhaled air is reached within 15 minutes. The high solubility of the HFC compounds in fat will induce initial toxic effects associated to the nervous system and expressed as sedation. Both HFC-compounds have a low acute toxicity, but HFC-134a was sedative to rats exposed to a concentration just above 10 percentage by volume. A whole-body exposure of volunteers to 0.8 percentage by volume of HFC-134a for 45 minutes induced no effects. The LOAEL and NOAEL values for HCF-134a are estimated to 7.5 and 5 percentage by volume respectively. The highest acceptable concentration during a 5-minute exposure period to HFC-125 is set to 8 percentage by volume. When using Halotron IIB on fire in an engine room, the body burden of HFC:s may not reach levels high enough to become sedative during a rapid evacuation. It is known that the development of heat and toxic smoke from the fire in a room become highly dangerous within a couple of minutes. Therefore, exposure to the HFC:s at concentrations twice that of NOAEL for less than 2 minutes is preferable since the extinguishing tool can fight the fire successfully and save lives.</p>		
Keywords fire extinguishing tool,HFC-134a, HFC-125, carbon dioxide, narcotic effect, risk assessment		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 16 p.	
	Price acc. to pricelist	

Innehåll

Inledning.....	5
Halotron IIB	6
Kemisk – Fysikaliska egenskaper hos komponenterna i Halotron IIB	6
Toxiska egenskaper hos komponenterna i Halotron IIB.....	8
Koldioxid	9
HFC-134a.....	9
HFC-125.....	11
Diskussion	12
Referenser	14
Bilaga: Beräkning av gasers koncentration i luft	16

Inledning

Brandsläckningsutrustning ombord på U-båtar eller i maskinrum på marinens ytfartyg måste dels ha mycket god släckande förmåga dels ha låg toxisk inverkan på människor. Föreningar som har dessa egenskaper och därför använts som brandsläckmedel ombord på båtar och flygplan är s.k. haloner (bromerade klorfluorkarboner). Emellertid har de flesta haloner ozonnedbrytande egenskaper och av den anledningen är tillvekning och användning av dessa inte tillåten. Alternativa brandsläckningsgaser med mindre negativa miljöegenskaper har kommit i bruk de senaste tio åren.

FOAtox genomförde 1995 (FOAtox 5002, 1995) på uppdrag av FMV en riskbedömning av Halotron IIB, som är en blandning av tre komponenter med släckande/kvävande egenskaper på band. Utredningens slutsats var att den totala koncentrationen (15 %) av gasblandningen som krävs för att släcka en brand inte utgjorde någon akut förgiftningsrisk för människor vid vådautlösning av släckmedlet, dvs. för den personal som arbetar i marinens fartyg. Föregående leverantör (Bejaro) av Halotron IIB angav i sitt produktblad luftkoncentrationen för LOAEL¹ resp. NOAEL² till 15 resp 13 %. Den nuvarande leverantören American Pacific Corporation – Halotron Division, AMPAC, USA av Halotron II (motsvarar HalotronB) anger en lägre koncentration 7,5 % (LOAEL) av gasen (uttryckt som koncentration av en av komponenterna, HFC-134a) som gräns för uppkomst av toxiska effekter på människor. Dessa uppgifter medför att riskbedömningen av Halotron IIB måste ses över.

Försvarets Materielverk, FMV, har uppdragit åt FOI NBC-skydd att genomföra en litteraturstudie och toxikologisk bedömning av Halotron IIB mot bakgrund av föregående och nuvarande leverantörers riskbedömningar av släckmedlet. Utredningen ska bl.a. arbeta med följande punkter:

- Förändrar nya toxikologiska data om släckmedlets ingredienser tidigare gjorda riskbedömningar
- Granskning av relevansen av den nivå för LOAEL/NOAEL för Halotron IIB som den tidigare leverantören, Bejaro, angivit för släckmedlet
- Granskning av relevansen av den nivå för LOAEL/NOAEL för Halotron IIB som den nuvarande leverantören, AMPAC, angivit för släckmedlet

¹ LOAEL: Lowest Observed Adverse Effect Level

² NOAEL: No Observed Adverse Effect Level

Halotron IIB

Släckmedlet Halotron II, som är en analog produkt till Bejaros' Halotron IIB/Clean agent FS49C2, marknadsförs av American Pacific Corporation – Halotron Division (AMPAC), USA, är en trycksatt blandning av tre olika gaser, HFC-134a (tetrafluoretan), HFC-125 (pentafluoretan) och CO₂ (koldioxid). Var för sig har alla tre gaserna egenskaper som släcker en öppen låga. Ingen av komponenterna i släckmedlet har någon känd inverkan på ozonet i atmosfären, vilket gör att detta släckmedel uppfyller gällande miljökrav. För att uppnå avsedd släckeffekt måste halten i luften uppgå till minst 12,4 volymprocent, framtagen enligt JMO testmetod. Emellertid, enligt AMPAC måste halten av gasblandningen (Halotron II) vara minst 11,3 volymprocent för att uppnå släckeffekt. Beräknade LOAEL och NOAEL värden för gasblandningen är 7,5 respektive 5 volymprocent med avseende på HFC-134a (AMPAC). Koncentrationen för att uppnå släckeffekt är således högre än den angivna nivån för beräknade nivå för uppkomst av toxiska effekter under en längre tids exponering.

Kemisk – Fysikaliska egenskaper hos komponenterna i Halotron IIB

Samtliga ämnen är i gasfas vid rumstemperatur. Lösligheten (uttryckt som jämviktskonstanten) för HFC-134a och HFC-125 är låg i vatten men god i organiska ämnen som olivolja och oktanol. Koldioxid har högre löslighet i vatten än i organiska ämnen. Upptaget i lungorna till blodet av HFC-134a ur inandningsluften är snabb och når en jämvikt efter ca 15 minuter exponering. Eliminationen sker via lungorna och det tar ungefär dubbelt så lång tid för att koncentrationen HFC-134a i blodet ska halveras (Emmen et al, 2000). Mot bakgrund av att de kemisk/fysikaliska egenskaperna hos HFC-125 liknar dem hos HFC-134a är det rimligt att anta att HFC-125 tas upp och lämnar kroppen på samma sätt som HFC-134a. Ämnen som HFC³ med hög löslighet i organiska ämnen ansamlas snabbt i vävnader med hög andel fett som hjärnan och fettväv (Rozman and Klaassen, 1996). Akuta toxiska effekter förväntas därför att uppkomma i nervsystemet och yttra sig som bl.a. narkotisk effekt.

³ HFC: Vätefluorkarboner t.ex. HFC 134a

Tabell 1. Koldioxid - Fysikaliska egenskaper

Kemiskt namn	Koldioxid
Synonymer	Kolsyra
CAS nr	124-38-9
Molekylformel	CO ₂
Molekylvikt	44,01
Smältpunkt	Sublimerar vid -78 °C
Kokpunkt	Sublimerar vid -78 °C
Flampunkt	Ej brännbar
Ångtryck	> 1,013 bar
Densitet	1,56 g/l vid 20 °C 88 ml gas /100 ml vatten (20 °C)
Löslighet i vatten	1,45 g/l
Löslighet i annat lösningsmedel	- *
Jämviktskonstanter	-
Övrigt	Luktlös, färglös

Ref: American Conference..., 1990; Nationalencyklopedin, Band 11

* Inga uppgifter hittade i litteraturen

Tabell 2. HFC134a - Fysikaliska egenskaper

Kemiskt namn	1,1,1,2 Tetrafluoraetan
Synonymer	FC-134a; HFA-134a; F-134a; Norflurane; 1,2,2,2-Tetrafluoroetan
CAS nr	811-97-2
Summaformel	C ₂ H ₂ F ₄
Molekylvikt	102,03
Smältpunkt	-101°C
Kokpunkt	-26,3 °C vid 736 mmHg (0,981 bar)
Flampunkt	Kan i blandning med syre användas
Ångtryck	96 psi (66,05 x 10 ⁻³ bar) vid 25 °C
Densitet	1,21 g/ml (vätska under tryck vid 25 °C)
Löslighet I vatten	1,5 g/l
Löslighet I annat lösningsmedel	Löslig i eter
Jämviktskonstanter	P _{ow} = 1,06
Övrigt	Färglös gas

Ref: Subcommittee ..., 1996

Tabell 3. HFC-125 - Fysikaliska egenskaper

Kemiskt namn	1,1,2,2,2-Pentafluoroetan
Synonymer	Pentafluoroetan, FE-25
CAS nr	354-33-6
Molekylformel	CHF ₂ -CF ₃
Molekylvikt	120,02
Smältpunkt	-103 °C
Kokpunkt	-48,5 °C
Flampunkt	
Ångtryck (25 °C)	0,138 bar
Densitet (20 °C)	1,248 g/cm ³
Löslighet i vatten	0,9 g/l
Löslighet i annat lösningsmedel	-
Jämviktskonstanter	0,055: 0,9 volymprocent NaCl /gas 1,52 : olivolja / gas
Övrigt	

Ref: Integrated Risk Information System (IRIS)

Koldioxid bildas vid kroppens energiomsättning genom förbränning av främst glukos (blodsocker). Koldioxiden föreligger huvudsakligen löst i kroppens vatten som bikarbonatjon och utsöndras som koldioxid främst via utandningsluften (koncentration ca 3 volymprocent, Withers, 1992). Vid stegrad andel koldioxid i inandningsluften kommer allt mindre andel av den koldioxid som bildas i kroppen att kunna lämna blodet med utandningsluften. Halten koldioxid i blodet och kroppens vävnader kommer därför att öka med stigande koldioxidhalt i inandningsluften.

Toxiska egenskaper hos komponenterna i Halotron IIB

Släckkoncentrationen för Halotron IIB i luft är angiven till 11,3 volymprocent (AMPAC). Halotron IIB består av en blandning av HFC-134a, HFC-125 och koldioxid (CO₂), 82,15; 10 respektive 7,85 volymprocent (CD-FREJ Förnödenhetsregistret, 2004). För att kunna genomföra en bedömning av gasblandningens toxicitet antas att gasens procentuella sammansättning är 82/10/8 med avseende på HFC-134a/ HFC-125/ CO₂. Vidare antas att koncentrationen gas vid släckning blir 12,4 volymprocent. Den sammanlagda koncentration luftens övriga gaser sjunker med motsvarande grad. I normal luft finns 20,9 volymprocent syre, 78,1 volymprocent kväve och 1 volymprocent övriga gaser. Koncentrationen av syre och släckgaserna i luften kommer vid en släckningsinsats då att bli:

Syre (O ₂)	18,3 volymprocent
Koldioxid (CO ₂)	0,98 volymprocent (9800 ppm)
HFC-134a	10,2 volymprocent (102 000 ppm)
HFC-125	1,24 volymprocent (12400 ppm)

Koldioxid

Koldioxid påverkar andningscentrat vid en luftkoncentration på 5 volymprocent (jfr. 0,03 volymprocent i normal luft, Hägg, 1969). Koncentrationer över denna nivå är narkotisk (sövande). Inom koncentrationsintervallet 3 till 6 volymprocent påverkas andningen i stegrande grad och situationen upplevs som alltmer ansträngande vid stigande halt. Medvetlöshet inträffar inom 2 minuter vid 10 volymprocent koldioxid i luften (Speitel, 1995).

Koncentrationen koldioxid i luften vid släckkoncentrationen 12,4 volymprocent ligger under den nivå som ger toxiska symtom. Arbetarskyddsstyrelsen har angett 1 volymprocent för koldioxid som hygieniskt gränsvärde för korttidsexponering, maximalt 15 minuter (AFS 2000:3) Möjligen kan den ökade halten koldioxid i luften stimulera andningen (Withers, 1992).

HFC-134a

HFC-134a har låg akut toxicitet. Letal koncentration av HFC-134a i luft för råttor ligger mellan 56,7 till 75 volymprocent efter 4 och 0,5 timmars exponering (Subcommittee ..., 1996). De akuta symtom som HFC-134a ger indikerar att substansen verkar på centrala nervsystemet med en anestetisk symtombild (Millischer, 1989). Vid en luftkoncentration på 50 till 60 volymprocent (500 000–600 000 ppm) är HFC-134a lätt anestetisk för hund och vid 70 – 80 volymprocent ger gasen djup anestesi. Nedsatt andningsförmåga (*respiratory depression*) noterades hos katt och rhesus apa vid en luftkoncentration på 60 volymprocent (Shulman and Sadove, 1967). Adrenalin och liknande droger kan i kombination med HFC-134a (lägst 75000 ppm) ge hjärtsvikt (*ventricular fibrillation*) (Airgas Inc, 1998).

Effekter på förmågan att följa ett inlärt beteende hos råttor studerades vid akut exponering för HFC-134a. Vid koncentrationer under 10 volymprocent (100 000 ppm) påverkades inte råttornas beteende. Vid 14 volymprocent HFC-134a i luften försämrades djurens förmåga att utföra inlärd övning och antalet felbeteenden ökade (Ritchie et al, 2001).

Effekter av fluorkarboner på människa finns redovisade i två rapporter. Vinegar et al (1997) exponerade sju volontärer upp till 10 minuter i omgångar för tre olika släckmedel, Halon 1301, HFC-134a respektive HFC-227ea, i nämnd ordning. Upptag och exkretion av respektive gas samt enkla fysiologiska effekter skulle registreras under exponeringen och en tid efter avslutad exponering. Under exponeringen för 0,4 volymprocent HFC-134a uppvisade en av de första försökspersonerna efter 4,5 minuters exponering allvarliga förändringar i blodtryck, hjärtfrekvens och medvetandegrad. Experimentserien avbröts efter denna händelse. En av följderna av att undersökningen avbröts blev att författarna inte kunde dra några slutsatser om de effekterrelaterade egenskaperna hos HFC-

134a eller de andra två testade gaserna. Resultaten är således inte användbara vid en riskbedömning av HFC-134a. I ett motsvarande försök där både män och kvinnor exponerades för HFC-134a i koncentrationer upp till 0,8 volymprocent i maximalt 45 minuter noterades inga förändringar i hjärtfrekvens, EKG, blodtryck eller andningsfunktionen hos vare sig män eller kvinnor. Exponeringen för HFC-134a gav ej heller upphov till effekter hos försökspersonerna efter det att exponeringen upphört (Emmen et al, 2000).

Försöken på djur visar att HFC-134a har mycket låg akut giftighet. Beteendestudierna på råtta visade att den högsta testade koncentration som inte påverkade djuren var vid 10 volymprocent. Resultaten från studierna på människa är inte entydiga. Uppgifterna från referensen *Fluoride action network pesticide project* är ett referat och inte originalarbete. Volontärerna reagerar mycket olika i samband med exponering. Bakgrunden till variationen analyseras inte i referatet varför referensen inte bedöms vara av god kvalitet. I originalarbetet av Emmen et al (2000) uppvisade ingen av de 8 volontärer, 4 män och 4 kvinnor, som exponerades för HFC-134a i 45 minuter några beteendeförändringar eller fysiologiska svar på exponeringen. I en riskbedömning gjord av EPA föreslås 1,1 volymprocent (11 030 ppm) som en Benchmark-koncentration som gräns för uppkomst av toxiska effekter vid daglig exponering i 6 timmar för HFC-134a (EPA IRIS Substance file – 1,1,1,2-tetrafluoroethane). *Subcommittee to review..* ger ett rekommenderat EEGL-värde⁴ (1 timme) på 0,4 volymprocent (4000 ppm) utifrån NOAEL (4 volymprocent) för överkänslighetsreaktion på HFC-134a i samband med adrenalinexponering. I beteendeundersökningen på råtta (Ritchie et al 2001) hittades en tydlig övre gräns (10 volymprocent; 100 000 ppm) där inlärda rörelser hos djuren inte påverkades av gasen (NOAEL). Vid användning av dessa data i en hälsoriskbedömning används en s.k. osäkerhetsfaktor på 100 (Hammar, 1987). Den luftkoncentration som skulle kunna vara acceptabel för exponering för en längre tid (8 timmars arbetsdag) beräknas då till 0,1 volymprocent (1000 ppm).

Den uppskattade koncentrationen av HFC-134a vid en släckningsinsats beräknas till ca 10,2 volymprocent. Denna koncentration överstiger med en tio-potens den högsta testade koncentration som inte gav upphov till toxisk reaktion på människor i kontrollerade försök och den av EPA föreslagna Benchmark koncentration. Emellertid, vid dessa undersökningar har exponering pågått till dess att halten HFC-134a i vävnaderna nått jämvikt (inom ca 15 minuter, Emmen et al, 2000) med luftkoncentrationen och därmed maximal exponering av bl.a. CNS. Detta innebär att vid en släckningsinsats krävs att personal uppehåller sig i brandcell fylld med släckgas i minst 15 minuter för att vävnadskoncentrationen av HFC-134a ska uppnå en nivå som närmar sig NOAEL för beteendeförändringar hos råtta. Vid brand bör lokalen (mindre rum, maskinrum etc) utrymmas snarast⁵, och i en sådan situation kommer inte personalen att andas in så

⁴ Emergency Exposure Guidance Levels (EEGL)

⁵ Att jämföra med uppskattad tid innan temperaturen i ett flygplans passagerarutrymme blir livshotande är 110 sekunder i samband med brand vid totalhaveri (Referens: Muntlig uppgift av Lars Erlandsson, Brand och Räddningsskolan, Luftfartsverket (2004))

mycket gas (kort exponeringstid) att vävnadskoncentrationen kommer att nå upp till en nivå som skulle kunna sätta ner personernas prestationsförmåga till en riskabel nivå.

HFC-125

HFC-125 har låg akut toxicitet. Vid normal syrehalt i luften var gasen inte akut giftig för råttor vid en koncentration på 80 volymprocent (800 000 ppm) efter 4 timmars exponering. HFC-125 vid 10 volymprocent i kombination med kan förorsaka störningar i hjärtrytmen (ventricular fibrillation) hos hundar. Vid 7,5 volymprocent inblandning av gasen i luften uppkom inte detta symtom (Kawano et al, 1995). I det produktdatablad som Airgas givit ut anges att HFC-125 har narkotisk verkan. Emellertid anges inte någon lägsta koncentration för sådan effekt. Den utvärdering av vetenskapliga undersökningar som EPA genomfört (Integrated Risk Information System {IRIS}) poängteras utan att precisera att råttor som under exponeringen inhalerat luft med 5 till 10 volymprocent HFC-125 var inaktiva, men återgick till normal aktivitet utan men så snart exponeringen avslutats. I det varuinformationsblad (Du PontTM FE-25TM) som Du Pont® givit ut anges 8 volymprocent som ett högsta acceptabelt värde för HFC-125 vid maximalt 5 minuters exponering.

Vid användning av HFC-125 i brandbekämpning kan giftiga gaser bildas som HF och karbonylfluorid. HFC-125 kan även reagera med metallpulver såsom av aluminium, zink och alkalimetaller (Du Pont, Material Safety Data Sheet).

Vid användning av Halotron IIB vid brandbekämpning kommer luftkoncentrationen HFC-125 i att bli ca 1,24 volymprocent. Denna koncentration ligger under den koncentration (8 volymprocent) som DuPontTM FE-25TM angivit som högsta acceptabla halt vid en exponering som inte överstiger 5 minuter. Vid användning av Halotron IIB vid en släckningsinsats kommer HFC-125 inte ge upphov till toxiska effekter hos exponerad personal, då exponeringstiden i samband med omedelbar utrymning kommer att vara kortare än 5 minuter.

Diskussion

Frisättning av Halotron IIB från ett sprinklersystem vid släckning av brand undantränger syret i luften och reducerar dess halt till ca 18,3 volymprocent. Denna syrenivå påverkar sannolikt känsligheten för komponenterna i Halotron IIB endast marginellt. Försök har visat att en syrehalt på 17 volymprocent inte påverkade volontärers mentala förmåga sett över en kort tidsperiod (Speitel, 1995).

Den stimulering av andningen (ökad andningsfrekvens) höjningen av luftens koldioxidhalt som Halotron IIB kan ge upphov till, kan innebära att upptaget av de andra släckgaserna påskyndas. Vistelsetiden fram till dess att nivån av vätefluorkarbonerna (HFC-134a och HFC-125) i kroppens nått en jämvikt med inandningsluften kan därmed bli något kortare än 15 minuter. I vilken grad detta inverkar på sänkning av förmågan hos personal att utrymma en lokal med totalhalt på ca 11,3 volymprocent (AMPAC) släckmedel är osäkert.

Den sammanlagda koncentrationen av HFC-134a och HFC-125 vid en släckningsinsats beräknas till ca 11,4 volymprocent. Mot bakgrund av att båda substanserna har likartade egenskaper kan de antas verka additivt beträffande narkotisk effekt vid denna koncentration men inte vara akut giftiga. I försök på djur har båda dessa substanser varför sig visat sig reducera finmotoriken vid koncentrationer på 10 volymprocent och däröver. Ritchie et al (2001) drar, utifrån resultaten från sin undersökning på råttor, slutsatsen att akut exponering av människa för HFC-134a vid en koncentration på 10 till 14 volymprocent bör undvikas i situationer där kvalificerade bedömningar skall göras och hög skicklighet i motoriken behövs för att lösa uppgifter.

I en tidigare rapport (FOAtox 5002) saknades litteraturuppgifter om lågdoseffekter av vätefluorkarboner på råttor. Nyttillkomna undersökningar av bl.a. Ritchie et al 2001 och EPA (2004) aktualiserar dessa substansers lätt sövande egenskaper vid luftkoncentrationer som överstiger 10 volymprocent. Vidare har humanförsök (Emmen et al, 2000) visat att HFC-134a koncentrationen i blod stiger snabbt de första 2 minuterna och når sitt maximum efter ca 15 minuter. Samma undersökning kunde även visa att inga kvarstående effekter kunde noteras hos de exponerade försökspersonerna efter exponeringens avslutning. Läggs dessa uppgifter samman, ges en indikation om att kort tids vistelse (< 2 min) i en atmosfär innehållande ca 10 % av dessa HFC-gaser inte bör medföra någon risk för allvarliga felaktigt genomförda inlärda beteendemönster under exponeringen eller kvarstående men hos exponerade personer.

I samband med automatisk bekämpning av brand med Halotron IIB med hjälp av sprinklersystem i ett slutet utrymme, torde personal som vistas i sådan lokal ha som instruktion att snarast genomföra en utrymning vid larm. Vistelsetiden i en atmosfär innehållande ca 11,4 volymprocent vätefluorkarboner (HFC-134a och HFC-125) torde bli kort i en sådan situation. Upptaget av vätefluorkarboner under den tid en snabb utrymning tar, torde inte leda till en vävnadsnivå som blir kritisk för att personen ska förhindras nå säkrat utrymme. Således, även om totalkoncentrationen av HFC vid en släckningsinsats kommer att ligga på en nivå som under en kortare tids exponering (>15

minuter) skulle kunna ge svag sedativ effekt, torde inte exponeringen för gasen under den tid som en evakuering tar i anspråk (<2 minuter) medföra några toxiska effekter och förhindra effektiv utrymning av lokalen.

De koncentrationer för LOAEL respektive NOAEL som Bejaro angivit i sitt produktdatablad är beräknade och avser effekter av summakoncentrationen av samtliga komponenter Halotron IIB i luften vid en släckningsinsats. Nivåerna för LOAEL/NOAEL som angetts av Bejaro ligger strax över den nivå som enligt nya uppgifter (efter 1995) anses utgöra LOAEL/NOAEL.

I det produktdatablad som AMPAC publicerat tas enbart hänsyn till effekter (uppkomst av hjärtsvikt hos hund, interaktion med adrenalinexponering) av en av komponenterna, HFC-134a, vid riskbedömningen. Här har leverantören satt LOAEL resp. NOAEL vid de konstaterade (ej beräknade) nivåerna för LOAEL/NOAEL för uppkomst av hjärtsvikt när de ställs mot de uppgifter som ges i litteraturen efter 1995.

Riskbedömningarna gjorda av Bejaro och AMPAC baseras på effekter som uppkommer efter exponering i mer än 10 minuter för gaserna, dvs. mycket längre exponeringstid än vad som kan komma ifråga vid utrymning av brandhärjad lokal. Emellertid, utvecklingen av giftig rök och stark hetta vid brand i stängda lokaler når livsfarliga nivåer inom mycket kort tid. Tiden måste således vara kort från det att larm om brand gått till dess att lokalen måste vara utrymd om liv ska kunna räddas. Mot bakgrund av detta har observerade nivåer för NOAEL resp. LOAEL för komponenterna HFC-134a och HFC-125 i brandsläckmedlet underordnad betydelse, om användandet av detta på ett effektivt sätt kan rädda liv.

Tack

Ett stort tack för kritisk granskning av rapporten riktas till Dr Per Leffler och Dr Bo Lilliehöök.

Referenser

AFS 2000:3 Arbetarskyddstyrelsens Författningssamling, Hygieniska gränsvärden. 2000

Airgas inc, 259 N Randor-Chester Road, PA 19087-5283, USA, Material Safety Data Sheet: Tetrafluoroethane – C₂H₂F₄, Halocarbon 134a, Prepared to U.S. OSHA, CMA, ANSI and Canadian WHMIS Standards, Document Number 001055, 1998

American Conference of Governmental Industrial Hygienists Inc. 1990. Carbondioxide In: Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 5th Edition

AMPAC, American Pacific Corporation – Halotron Division, USA. HII Product Sheet, Rev. 3, 2004

Emmen, H.H., Hoogendijk, E.M.G., Klöpping-Ketelaars, W.A.A., Muijser, H., Duistermaat, E., Ravensberg, D.J., Borkhataria, D., Rusch, G.M., Schmit, B. 2000. Human safety and pharmacokinetics of the CFC alternative propellants HFC-134a (1,1,1,2-tetrafluoroethane) and HFC 227 (1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropane) following whole-body exposure, Reg. Toxicol. Pharmacol., 32, 22-35

EPA IRIS, 2004, Substance file – 1,1,1,2-tetrafluoroethane, <http://www.chem.uic.edu/web1/OCOL3/IRIS/SUBST/0656.HTM>

FOAtox 1995. Projektrapport FOAtox 5002. Tokikologisk bedömning av fyra olika brandsläckmedel

CD-FREJ Förodenhetsregistret, 2004 05 11, Förrådsbeteckning M0772-131001-0

Hammar, J.1987. Tillämpad toxikologi- några principiella synpunkter. Kemikalieinspektionen, 6/87

Hägg, G. 1969. Allmän och oorganisk kemi. Almqvist och Wiksell

Integrated Risk Information System (IRIS), 2004, <http://www.epa.gov/iris/subst/0683.htm>

Kawano, T., Trochimowicz, H.J., Malinervo, G., Rusch, G.M. 1995. Toxicological evaluation of 1,1,1,2,2-pentafluoroethane (HFC-125). Fundam. .App. Toxicol., 28, 223-231

Millischer, R.J. 1989. The toxicology of HFC-134a (1,1,1,2-tetrafluoroethane). J. Am. Coll. Toxicol. 8(6), 1220

Nationalencyklopedin, 1993. Koldioxid, Band 11, sid 168, BraBöcker

Ritchie, G.D., Kimmel, E.C., Bowen, L.E., Reboulet, J.E., Rossi III, J. 2001. Acute neurobehavioral effects in rats from exposure to HFC-134a or CFC 12. *Neurotoxicology*, 22, 233-248

Rozman, K.K. and Klaassen, C.D. 1996, Absorption, distribution and excretion of toxicants, In: Casarett & Doull's *Toxicology – The basic science of poisons*. Editor, Klaassen, C.D., Fifth edition, pp 91 – 112

Shulman, M., Sadove, M.S., 1967. 1,1,1,2-Tetrafluoroethane: an inhalation anesthetic agent of intermediate potency. *Anesth. Analg.* 46, 629-635

Speitel, L.C., 1995, Toxicity assessment of combustion gases and development of survival model. DOT/FAA/AR-95/5)

Subcommittee to review toxicity of alternatives to chlorofluorocarbons, Committee on Toxicology, Board on Environmental Studies and Toxicology, National Research Council, 1996. *Toxicity of Alternatives to Chlorofluorocarbons: HFC-134a and HCFC-123*, The National Academies Press, pp 23 – 40

Vinegar, A., Cook, R., McCafferty, J., Caracci, M., Jepson, G. 1997. Human inhalation of Halon 1301, HFC-134a and HFC-227ea for collection of pharmacokinetic data. Armstrong Laboratory Publication Library

Withers, P.C. 1992, Aerial respiration, Chapter 13, In: *Comparative animal -histology*. ISBN 0-03-012847-1, Saunders College Publishing

Beräkning av gasers koncentration i luft

Koncentrationer av gaser i luft anges som volymprocent, mg/m^3 eller ppm^a . Vid all beräkning av gasers koncentration i luft görs approximationen att alla ämnen i gasblandningen antas vara s.k. ideala och uppför sig lika. Utgångspunkten för beräkningarna är den allmänna gaslagen, $PV=nRT^b$ (Hägg, 1969). Vid 20°C och 1,013 bars lufttryck (1 atm) antas en mol ($6,022 \times 10^{23}$) molekyler alt. formelenheter uppfylla 24,46 liter eller i en gasblandning på 1 m^3 finns 40,38 mol molekyler/formelenheter.

- mg/m^3 : uttrycker koncentrationen som en relation mellan vikten av ämnet i mg per kubikmeter luft
- ppm: uttrycker hur stor andel molekyler/formelenheter i miljondelar av volymen (mol/m^3) som ämnet finns i gasblandningen
- volymprocent: uttrycker molandelen av ett ämne per kubikmeter gasblandning.

Vid bedömningar av ämnens hälsoskadlighet måste ett enhetligt sortsystem användas. I litteraturen förekommer dock alla tre sätten att ange ett ämnes koncentration. För att kunna jämföra resultat från olika undersökningar bör man därför ensa resultaten till en och samma sortenhet och då lämpligen till volymprocent. Följande relationer kan då sättas upp.

1. Relationen mellan mg/m^3 och ppm

- $\text{ppm} \cdot \text{ämnets molvikt (gram)}/\text{molvolymen vid aktuell temperatur (vanligen 24,46 l)} = \text{mg}/\text{m}^3$

2. Relationen mellan mg/m^3 och volymprocent

- Från antalet g (1 mg = 0,001 g) av ämnet som finns per m^3 beräknas antalet mol av ämnet som finns per m^3 .
- Antalet gram av ämnet/ämnets molekyylvikt = antalet mol av ämnet
- Tidigare i texten har angetts att antalet mol molekyler som finns i en m^3 luft vid 20°C är ca 40,39.
- Procentandelen beräknas: mol av ämnet per $\text{m}^3/40,39$ mol molekyler per m^3

3. Relationen mellan volymprocent och ppm

- 1 volymprocent är lika med 10 000 ppm

^a ppm: parts per million, $1/10^6$

^b P= tryck; V= volym; n= antal formelenheter; R= gaskonstanten; T= Temperaturen i grader Kelvin