

Ersättning av halonhandbrandsläckare i stridsfordon

Kjell Lydänge
Lars Nilsson

Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Report 5154, Lund 2004

Ersättning av halonhandbrandsläckare i stridsfordon

**Kjell Lydänge
Lars Nilsson**

Lund 2004

Ersättning av halonhandbrandsläckare i stridsfordon

Kjell Lydänge
Lars Nilsson

Report 5154
ISSN: 1402-3504
ISRN: LUTVDG/TVBB--5154--SE

Number of pages: 64
Illustrations and photos: Kjell Lydänge, Lars Nilsson

Keywords
Halon replacements, handheld extinguisher, combat vehicles, crewbays, low temperature

Sökord
Halonersättningsmedel, handbrandsläckare, stridsfordon, besättningsutrymmen, lågtemperatur

Abstract
This report investigates the replacement of halon 1211 in handheld extinguishers used in combat vehicles. Four different tests have been carried out with five available agents: HFC 236fa, HFC 227ea, CO₂, water mist and a extinguishing fluid. The results from the tests indicates CO₂ to be the best alternative, although it is not as versatile as halon 1211.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2004.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>

Telefon: 046 - 222 73 60

Department of Fire Safety Engineering
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se/english>

Telephone: +46 46 222 73 60

Förord

Detta projekt hade inte kunnat genomföras utan stöd och hjälp från en mängd personer runt om i landet, vi riktar ett stort tack till dess för att de har ställt upp för oss så att vi har kunnat genomföra denna rapport. Vi kan omöjligt tacka alla som har varit inblandade men vi vill ändå särskilt nämna följande som har haft direkt anslutning till projektet.

Först och främst vill vi tacka våra kunnige handledare **Göran Holmstedt** på Institutionen för Brandteknik för hans stöd och hjälp i brandens förunderliga värld.

Därefter tackar vi vår handledare **Pontus Nordberg** på FMV, som tålmodigt väntat på att detta arbete ska bli klart, för hans svar på alla frågor och funderingar som vi haft under arbetets gång.

Sven-Ingvar Granemark för tid och teknisk support av all apparatur som har används i Brandtekniks laborationslokaler

Stefan Svensson på Räddningsverkets skola i Revinge för tid och stöd vid de praktiska försöken

Berit Andersson på Institutionen för Brandteknik, för stöd och hjälp vid praktiska studieproblem

Åke Davidsson och Dennis Göransson på Räddningsverkets skola i Revinge för deras hjälp med den tekniska apparaturen som användes under försöken.

Benny Lyvén på SP i Borås för sin hjälp med fluoridmätningarna

Anders Sparring på Dafo Brand AB

Jan och Leif på Bejaro i Löddeköpinge för sitt stöd och teknisk support på handbrandsläckare

Kjell Lydänge

Lars Nilsson

Sammanfattning

Finns det något lämpligt alternativ till halon 1211 i handbrandsläckarna i stridsfordon? Den frågan ställde Försvarets materielverk (FMV) till Avdelningen för Brandteknik vid Lunds Tekniska Högskola och denna rapport är ett försök att besvara frågan. Rapporten är framtagen som en projektuppgift i kursen "Problembaserad Brandteknisk Riskhantering" vid Brandingenjörslinjen och är utförd i samarbetet mellan Brandteknik och Försvarets materielverk, FMV.

I rapporten studeras hur olika alternativa släckmedel till halon 1211 fungerar i handbrandsläckare som används i stridsfordon. De undersökta släckmedlen är:

- HFC 236fa - $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CF}_3$
- HFC 227ea - $\text{CF}_3\text{CHF}_2\text{CF}_3$
- Koldioxid - CO_2
- Vattendimma - vatten med kaliumacetat och kaliumformiat
- Släckvätska - vatten, etylenglykol, kalciumklorid, sulfater, fluortillsatser samt korrosionsskydd

I försöken ingår dels en test av släckmedelsutströmningen med en provrigg benämnd "effunk", dels släckförsök mot tre olika brandscenarier. Testet av släckmedelsutströmning genomfördes vid rumstemperatur och vid minus 30°C. Vid ett brandscenario, en halv liter utspild T-sprit som hållts ut på benen av en provdocka och antänts, studeras hur olika släckmedel påverkar uppkomsten av andra gradens brännskada. Vid ett brandförsök testas de olika släckmedlens släckförmåga mot pölbränder av olika storlek. Ett brandförsök genomförs i en container som byggts om så att dess volym överensstämmer med ett stridsfordon, där mäts släckförmåga och produktion av CO och HF vid släckning av pölbränder med olika bränslen.

- Resultaten från släckmedelsutströmningen visar att vattendimma bäst bibehåller sin utströmningsförmåga vid låga temperaturer.
- Brännskadeförsöken visar att valet av släckmedel ej i nämnvärd grad påverkar uppkomsten av brännskador, istället är det hur soldaten är klädd samt hur snabbt släckning påbörjas som är de viktigaste kriterierna.
- Vid testen av släckförmågan mot pölbränder konstateras att en relativt liten brand får väljas till containerförsöket då detta skall utföras operatörsberoende.
- Containerförsöken visar att HFC 236fa och HFC 227ea har den högsta produktionen av CO. De visar också att HFC 227ea och CO_2 har den högsta produktionen av HF, ett resultat som avseende CO_2 dels inte överensstämmer med författarnas egna upplevelser av försöken, dels är orimligt då CO_2 inte producerar HF.

Innehållsförteckning

1. INLEDNING	11
1.1 BAKGRUND	11
1.2 SYFTE	11
1.3 METOD	11
1.4 AVGRÄNSNINGAR	12
2. FÖRUTSÄTTNINGAR OCH FÖRSTUDIE	13
2.1 SKYDDSMÅL.....	13
2.1.1 KONSEKVENSER FÖR MÄNNISKAN.....	13
2.1.2 KONSEKVENSER FÖR STRIDSFORDONEN	14
2.1.3 KONSEKVENSER FÖR MILJÖN	14
2.2 STRIDSFORDONEN.....	15
2.3 INTERNATIONELLA JÄMFÖRELSE.....	16
2.4 PERSONLIG SKYDDSUSTRUSTNING	17
2.4.1 UNIFORM.....	17
2.4.2 SKYDDSMASK.....	17
2.5 HANDBRANDSLÄCKARE	19
2.6 VÄTEFLUORID (HF)	20
2.7 KOLOXID (CO).....	21
2.8 DIMENSIONERANDE BRAND.....	22
2.9 BRÄNNSKADOR	23
3. FÖRSÖK.....	25
3.1 BESKRIVNING AV FÖRSÖKEN	25
3.1.1 HANDBRANDSLÄCKARNA	26
3.1.2 BRÄNNSKADEFÖRSÖK.....	27
3.1.2.1 Försöksuppställning	27
3.1.2.2 Genomförande.....	28
3.1.2.3 Resultat.....	29
3.1.2.4 Kommentarer och diskussion	29
3.1.3 POOLBRANDFÖRSÖK	30
3.1.3.1 Försöksuppställning	30
3.1.3.2 Genomförande.....	30
3.1.3.3 Resultat.....	31
3.1.3.4 Kommentarer och diskussion	31
3.1.4 CONTAINERFÖRSÖK.....	32
3.1.4.1 Försöksuppställning	32
3.1.4.2 Genomförande.....	33
3.1.4.3 Resultat.....	34
3.1.4.4 Kommentarer och diskussion	35
3.1.5 EFFUNKFÖRSÖK.....	37
3.1.5.1 Försöksuppställning	37
3.1.5.2 Genomförande.....	37
3.1.5.3 Resultat.....	37
3.1.5.4 Kommentarer och diskussion	37
4. SLUTSATS OCH DISKUSSION.....	39
5. REFERENSER	40

6. BILAGOR 43

6.1	BILAGA 1 BESKRIVNING AV SLÄCKMEDLEN	43
6.1.1	HFC 236FA	43
6.1.2	HFC 227EA	44
6.1.3	KOLDIOXID (CO ₂)	45
6.1.4	VATTENDIMMA MED KALIUMACETAT OCH KALIUMFORMIAT	46
6.1.5	SLÄCKVÄTSKA – VATTEN, ETYLENGLYKOL, KALIUMKLORID, SULFATER OCH FLOURTILLSATS	47
6.2	BILAGA 2 OZON NEDBRYTNINGS POTENTIALEN OCH VÄXTHUSGAS POTENTIALEN	48
6.2.1	OZONPROBLEMATIKEN	48
6.2.2	VÄXTHUSGASPROBLEMATIKEN	49
6.3	BILAGA 3 BRÄNNSKADEFÖRSÖK	50
6.4	BILAGA 4 EFFUNK TEST	54
6.5	BILAGA 5 RESULTAT HF MÄTNINGAR	57
6.6	BILAGA 6 BERÄKNANDE AV HF-HALTER I BRANDGASER	59
6.7	BILAGA 7 TEMPERATURMÄTNINGAR CONTAINERFÖRSÖK.....	61
6.8	BILAGA 8 NÅGOT OM GRÄNSVÄRDEN	62
6.9	BILAGA 9 NÅGOT OM EGENTOXICITET	64

Ersättning av halonhandbrandsläckare i stridsfordon

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Försvarmakten är undantagen lagen att inte använda haloner som brandsläckningsmedel, detta på grund av att det inte har funnits något lämpligt alternativ som har kunnat ersätta dem utan omfattande ombyggnader av släcksystemen i stridsfordon, flygplan, stridsledningscentraler med mera. Halonerna har varit de snabbaste, effektivaste och renaste släckmedlen vilket har gjort att de varit mycket populära. Tekniken har gått framåt och nu vill man undersöka om det har kommit något lämpligt släckmedel på marknaden som kan användas

Försvarets materielverk (FMV) har givit Avdelningen för Brandteknik vid Lunds Tekniska Högskola i uppdrag i att undersöka om det finns något lämpligt alternativ till halonbrandsläckare i stridsfordon. Undersökningen ska innefatta en undersökning om hur fort brännskador uppkommer, en undersökning om vilka lämpliga alternativ det finns på marknaden, hur effektiva dom är samt en undersökning av valda släckmedel avseende hur de påverkar människa, material och miljö.

1.2 Syfte

Projektets syfte var att undersöka om det finns något lämpligt släckmedel som kan ersätta det halon 1211 som används i handbrandsläckare i Försvarmaktens stridsfordon.

1.3 Metod

Såväl praktiska försök som teoretiska studier används för att undersöka lämpliga alternativ till halon i handbrandsläckare i stridsfordon. De praktiska försöken undersöker fyra faktorer: hur snabbt en soldat ådrar sig andra gradens brännskador givet en viss brand, hur stor poolbrand med heptan släckmedlen klarar av att släcka, hur mycket HF och CO som produceras vid släckning av två olika bränder samt hur kyla påverkar släckmedlen. De praktiska försöken har genomförts dels på Räddningsverkats skola i Revinge och dels i Brandtekniks laboratorium på LTH.

1.4 Avgränsningar

- Endast stridsfordonens handbrandsläckare studeras, inte de fasta släcksystemen.
- Någon analys på vad det skulle kosta att ersätta alla handbrandsläckare i stridsfordonen görs inte.
- Någon kostnadsanalys avseende om en brand bryter ut och sedan släcks eller inte släcks görs inte.
- Vid analys av gaser i containerförsöken mäts endast halten av CO och HF.

2. Förutsättningar och förstudie

2.1 Skyddsmål

En brand, eller en eventuell felutlösning av släcksystemet, i ett stridsfordon kan förorsaka skador på människor, material och miljön. Frågan om vilket släckmedel som är lämpligast som ersättare är svår att besvara då många parametrar skall beaktas. Ett släckmedel som skyddar mot alla typer av bränder, är billigt, enkelt att hantera och inte ger några som helst skadliga effekter på varken människa, material eller miljö existerar knappast.

När man ska välja ett släckmedel bör man ställa sig följande frågor:

- Vad ska skyddas
- Hur ska det skyddas
- Hur mycket får det kosta
- Vilka blir konsekvenserna för människan, materiel och miljö

FMV har indelat sina fordon i olika skyddsnivåer i en skala mellan 0 och 4 där stridsvagn 122 ligger i skyddsnivå 4 (stridsrummet) och skyddsnivå 2 (motorrummet) /28/. De olika skyddsnivåerna och deras dimensionerande krav är följande:

0 = Lågt brandskydd

1 = Förhindra materielförlust.

2 = Förhindra utslagning, bibehållen stridseffekt på fordon

3 = Förhindra utslagning, bibehållen stridseffekt på fordon, förhindra skador på personal.

4 = Förhindra utslagning, bibehållen stridseffekt på personal och fordon.

Nivå 4 innebär ett ultrasnabbt system som skall klara av två oberoende släckningar. Det kan noteras att FMV:s egna skyddsnivåer endast avser fasta system och att avsikten med de handbrandsläckare som fordonen utrustas med inte framgår av skyddsnivåerna eller de dimensionerande kraven.

2.1.1 Konsekvenser för människan

Vid en brand kan värmestrålningen ge en människa skador och slutligen leda till döden. Redan innan värmestrålningen ger brännskador så påverkas arbetsförmågan negativt. Fenomenet kallas värmechock och innebär att medvetandegraden minskar för den person som påverkas /1/. Även varma brandgaser kan ge skador på svalg,

luftstrupe och bronker, ca 20 % av de som behandlas för brännskador har även komplikationer i andningsvägarna /1/.

I fråga om toxicitet så har man att ta hänsyn till flera parametrar. Att en brand producerar giftiga förbränningsprodukter är allmänt känt, men när en brand släcks bildas nedbrytningsprodukter av branden och släckmedlet och även dessa är giftiga. Själva släckmedlet i sig kan vara giftigt, detta benämns ämnets egentoxicitet, vilket har betydelse vid en vådautlösning. Slutligen kan släckmedlet, oavsett egentoxicitet, vid utlösning tränga undan luften så att syrehalten sjunker, vilket kan leda till nersatt arbetsförmåga eller till och med död /2/.

2.1.2 Konsekvenser för stridsfordonen

Förbränningsprodukterna innehåller en mängd ämnen som kan påverka stridsdugligheten på ett stridsfordon. Vissa släckmedel producerar mera skadliga restprodukter, såsom vätefluorid, än andra. Skadorna kan visa sig som till exempel korrosion på metaller, kortslutning i elsystem och frätskador på glas, plast och gummimaterial. Oavsett dessa skador sker alltid en generell nedsmutsning på grund av det sot som bildas vid förbränningen.

Värmeöverföringen kan medföra att bränder startar på andra ställen i stridsfordonet. Dessutom kan värmen påverka material så att de smälter eller börjar brinna. Vidare kan värmepåverkan sänka hållfastheten för olika material.

Utsläppet av släckmedel medför en tryckökning i stridsfordonet vilket kan skada utrustning om den inte är dimensionerad för detta.

2.1.3 Konsekvenser för miljön

Vid såväl en brand som vid släckning av en brand kommer påverkan på miljön att ske. Vid förbränningen bildas restprodukter vilka har en negativ miljöpåverkan. Restprodukter bildas även vid släckning då släckmedlet reagerar med omgivningen. Spridning sker till luft, mark och vatten med rök och vätska. Påverkan sker dels på närmiljön i inledningsskedet och dels i ett långtidsperspektiv, då ämnena är utspädda och långsamt sprids vidare. Förutom detta har haloner i sig negativa miljöpåverkande egenskaper vilket är ett starkt bidragande skäl till att Försvarsmakten vill ersätta halon som släckmedel. Haloner verkar dels nedbrytande på ozonlagret, de har "Ozone Depletion Potential" eller ODP, och dels bidrar de till den globala uppvärmningen då de har "Global Warming Potential" eller GWP. Ett mer utförligt avsnitt om ozonnedbrytning och växthusgaser återfinns i bilaga 2.

2.2 Stridsfordonen

Stridsfordon kan delas in i två huvudsakliga undergrupper: stridsvagnar och pansarskyttefordon. Utöver dessa finns en stor variation av pansrade fordon för artilleri-, luftvärns-, lednings- och sjuktransportuppgifter m.m. men dessa är oftast färre till antalet.

En stridsvagn är bandgående och tungt bepansrad, besättningen består som regel av fyra man: skytt, förare, laddare och vagnschef. Stridsvagnens huvudsakliga uppgift på stridsfältet är att bekämpa andra stridsvagnar och återta förlorad terräng, för detta ändamål är den beväpnad med en kanon vars eldrör har en diameter på 105 till 125 millimeter. Kanonen är gyrostabiliserad vilket medger skjutning under framryckning. Sekundärbeväpning utgörs av kulsprutor varav en är parallellkopplad med kanonen. Vagnen väger normalt 45-65 ton.

Ett pansarskyttefordon är band- eller hjulgående och inte lika tungt bepansrat som stridsvagnen. Ordinarie besättning utgörs normalt av tre man: skytt, förare och vagnschef. Pansarskyttefordonets uppgifter är dels att transportera och ge skydd åt soldater, 6-8 man, dels att bekämpa andra pansarskyttefordon. Beväpningen utgörs vanligen av kulsprutor och/eller automatkanoner, vilka kan vara gyrostabiliserade, med en eldrörsdiameter upp till 40 millimeter. Vikten varierar mellan 15 och 35 ton.

Stridsfordon är normalt utrustade med olika system för brandsläckning. Systemen har tre huvudkomponenter: fast släcksystem i motorutrymmet, fast släcksystem i besättningsutrymmet samt handbrandsläckare. Beroende på fordonstyp och -fabrikat består stridsfordonens brandsläckningssystem av olika kombinationer av dessa komponenter.

Det fasta systemet som skyddar motorutrymmet kan utlösas både automatiskt och manuellt och släckmedlet har ofta utgjorts av haloner. Till sin utformning påminner de fasta släcksystemen i motorutrymmena mycket om de som civilt återfinns i till exempel skogsmaskiner. Då brandförlopp i motorutrymmen är tämligen långsamma är släcksystemets snabbhet inte av avgörande betydelse. Motorutrymmet är separerat från besättningsutrymmet, dock så är flaskorna med släckmedlet i stridsvagn 122 placerade i manskapsutrymmet och kan påverka manskapet vid ett eventuellt fel.

Det fasta släcksystemet i besättningsutrymmet skall skydda mot brand till följd av fientlig vapenverkan. Särskild uppmärksamhet har ägnats åt s.k. EFFM-bränder (explosively-formed fuel-mist) där en stridsdel först penetrerar bränsletanken och sedan fortsätter genom väggen som separerar bränsletanken från besättningsutrymmet. Bränsleånga sprutar in i besättningsutrymmet och antänds, en process som till följd av stridsdelens höga hastighet är mycket snabb. Som jämförelse kan nämnas att US Army har som krav att släcksystemen i deras stridsfordon skall detektera och släcka en sådan brand inom 250 millisekunder /9/. Halon 1301, 1211, eller halon 2402 i länder tidigare tillhörande Warszawa-pakten, har använts som släckmedel i dessa system /1/ och har visat sig svårt att ersätta utan relativt omfattande ombyggnader av släcksystemet. I Sverige är dessa typer av släcksystem avstängda och plomberade i fredstid.

Handbrandsläckare är ofta fler till antalet i de stridsfordon som saknar fasta släcksystem i besättningsutrymmet. Ofta finns två typer: en större pulversläckare avsedd för släckning på fordonets utsida och mindre halonsläckare för invändig användning.

2.3 Internationella jämförelser

Vid en jämförelse med andra länder visar det sig att ersättningen av haloner främst har skett i de fasta släcksystemen.

Vad avser skyddet av motorutrymmet planerar Storbritannien att alla Challenger II-stridsvagnar och Warrior pansarskyttefordon skall vara konverterade till antingen HFC 227ea eller ett pulver, med obekant sammansättning, till år 2006. US Army har redan konverterat motorskyddet i pansarskyttefordonet Bradley och raketartillerifordonet MLRS till HFC 227ea och i stridsvagnen Abrams har man valt ett pulverssystem för samma uppgift. I Tyskland skyddas motorutrymmet i Leopardserien av kvävgas och Danmark och Holland överväger samma lösning. Canada utvärderar FE 25 för motorutrymmena i sina stridsfordon./5/

Vad avser det fasta skyddet i besättningsutrymmet kommer ett system som kombinerar HFC 227ea och ett pulver att användas i amerikanska Stryker- och AAV-fordonen. De ersättningar som har gjorts av handbrandsläckare har skett till CO₂, så är fallet i Holland och Australien /1/. US Army har också ersatt halonsläckare med CO₂ med undantag för Abrams-stridsvagnen där två alternativ studeras, en HFC 227ea/pulverblandning och en vatten/pulverblandning /3/.

2.4 Personlig skyddsutrustning

Personal i stridsfordon är utrustade så att de har ett visst skydd mot brand, giftiga gaser med mera. Förutom det skydd som finns inbyggt i fordonet skyddas de av sin uniform samt är utrustade med en skyddsmask.

2.4.1 Uniform

Besättningen på stridsfordon har en uniform som ger ett bättre skydd mot brand än den som bärs av soldaterna som transporteras i pansarskyttefordon. Bägge typerna av uniformer är tillverkad av ett bomull/polyestertyg men besättningens uniform har dessutom ytterligare ett foderlager vilket ger ett utökat skydd. Under uniformen så bär man en tunnare polotröja, skjorta modell 90, och beroende på årstid också långkalsonger och en värmetröja. Man har numera också kroppsskydd 90 som består av skyddsväst och hjälm.

Skyddsväst 90 väger 3,5 kg och täcker större delen av bålen inklusive bäckenet och halsen, det skyddande lagret består av aramid och det har en skyddsnivå (V_{50}) motsvarande en 1,1 grams splitter som rör sig med 450 m/sek som träffar soldaten. Skyddshjälm 90 väger 1,3 kg och har också aramid som skyddande kärna och har en skyddsnivå (V_{50}) motsvarande en 1,1 grams splitter som rör sig med 450 m/sek som träffa soldaten. Som komplement har man provat olika ögonskydd som ska ge skydd mot splitter och kan kompletteras med filter för att skydda mot laser, dessa är inte standardutrustning utan har endast testats vid enstaka utlandsmissioner.

Soldaterna har också möjlighet att använda hörselskydd i form av öronproppar och/eller öronskydd som varje soldat har tillgång till. Vid insatser internationellt så använder man ofta overaller av NOMEX för att minska risken för brännskador /6/. I denna undersökning undersöker vi den typ av uniform som bärs av soldaterna som transporteras i pansarskyttefordon, det vill säga den utan foder.

2.4.2 Skyddsmask

Efter att ha släckt en brand kan personalen påverkas av den vätefluorid (HF) som bildas (se kapitel 2.6). HF verkar starkt irriterande på ögon och luftvägar så någon form av skydd måste användas om inte vagnen kan utrymmas. Personalen är utrustad med skyddsmask 90 vilket är försvarets skyddsmask av standardmodell. Skyddsmasken är i första hand avsedd att ge skydd mot kemiska och biologiska stridsmedel såsom sarin, senapsgas, mjältbrandssporer etcetera och inte mot industrigas typ HF. Filtret till skyddsmask 90 är tillverkad i Canada av Racal Filter

Technologies (vilka senare köpts av 3M) men specifikationer på vad filtret egentligen klarar av redovisas inte öppet.

Det svenska företaget Sundström Safety tillverkar ett filter, NBC Filter 381, som de levererar till det norska försvaret. Både Sundströms och Racals filter är testade och godkända enligt NATO-standarden Triptych varför de rimligen kan antas ha likvärdiga prestanda. Sundströms filter anges skydda mot "hydrogen fluoride" /30/ vilket är vätefluorid, men hur länge och vid vilken koncentration det skyddar anges inte. I Sundströms katalog över deras civila utbud av masker /31/ anges att ett partikelfilter typ P3 ger skydd mot HF. Vid ett test med paraffinolja skall ett filter i klass P3 ha en avskiljningsgrad på 99,99% och motsvarande test på NBC Filter 381 ger en avskiljningsgrad på 99,997% vilket styrker uppgiften om att det skyddar mot HF. Slutsatsen avseende filtret till skyddsmak 90 blir att det med största sannolikhet skyddar mot HF under den tid personalen behöver för att köra till en plats där de kan ytrymma och vädra ur fordonet.

Ingen av filtren i den civila katalogen skyddar mot koloxid (CO). Av detta så kan man dra slutsatsen att inte heller Racals skyddsmaskfilter skyddar mot koloxid (CO).

2.5 Handbrandsläckare

En handbrandsläckare är en mobil släckutrustning som kan flyttas till den plats där den behövs. På marknaden i dag finns en rad olika aktörer som säljer handbrandsläckare av alla de slag med alla möjliga medel inuti, dock så är de uppbyggda på principiellt samma sätt. En tryckbehållare fylls med släckmedlet varefter den trycksätts med kvävgas (N_2) till mellan 10 – 35 bar. Ovanpå tryckbehållaren finns ett manöverhandtag med en avtryckare med vilken handbrandsläckaren utlöses. På manöverhandtaget finns även ett bärhandtag och en manometer som visar hur stort övertryck det är i behållaren, se schematisk bild nedan.

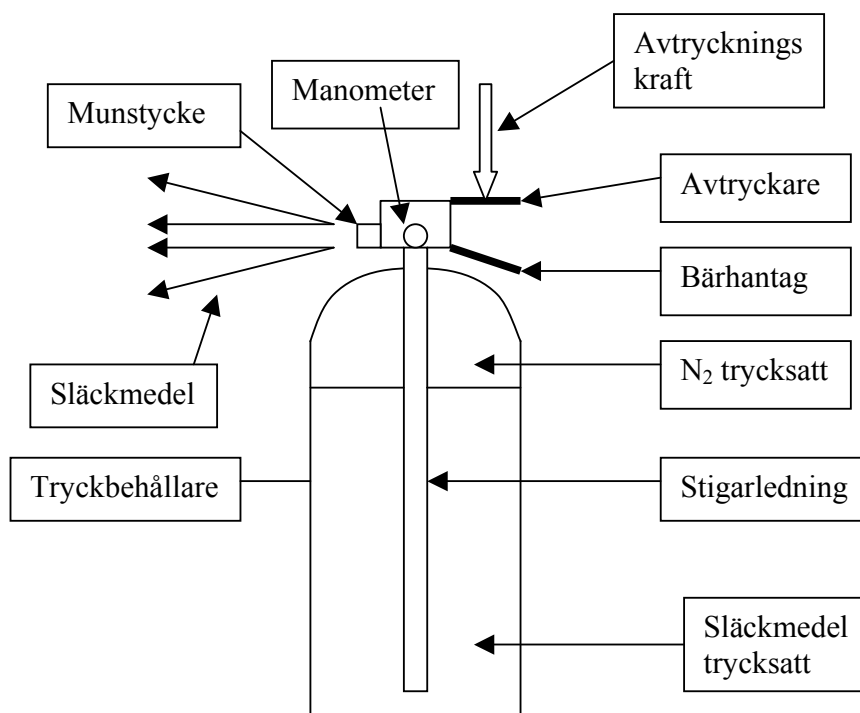


Bild 1: handbrandsläckarens uppbyggnad

2.6 Vätefluorid (HF)

När ett släckmedel kommer i kontakt med lågorna värms det upp. När släckmedlet hettas upp tillräckligt dissocierar och reagerar det och om släckmedlet innehåller fluor kommer härvid fria fluoratomer att bildas. Dessa fria atomer reagerar sedan med vätemolekyler, vilka bildas vid bränslets nedbrytning, varvid vätefluorid bildas. Vätefluorid är en färglös, starkt luktande och korroderande gas, löslig i vatten och då känd som fluorvätesyra. Vätefluorid är starkt korrosiv och angriper metaller, plaster och till och med glas. Dess primära skademekanism på människor är vävnadsskador till följd av direktkontakt. Inandning, vilket är den primära exponeringsrisken för stridsfordonsbesättningar, kan resultera i sårbildning i luftrören, lungblödning och lungödem samt slutligen död. Kontakt med hud och ögon kan ge brännskador, sveda och ökad tårbildning/34/. En stridsfordonsbesättning som exponeras för vätefluorid måste antingen vädra ur fordonet eller bära skyddsutrustning då irritationen i ögon och svalg är påtaglig redan vid låga doser.

Från FMV:s sida har man satt 10 ppm till ett börvärde, ett värde som inte bör överstigas, och 30 ppm till ett skallvärde, ett värde som inte under några som helst omständigheter skall överstiga det/10/. Utöver FMV:s värden finns ett antal andra gränsvärden vilka presenteras nedan. En utförligare presentation av de olika gränsvärdena presenteras i bilaga 7.

Typ av värde /referens/	NGV /4/	TGV /4/	KTV /4/	NOAEL /33/	LOAEL /33/	IDLH /11/
Värde i ppm	Ej angivet	2	Ej angivet	1	2,98	30

Typ av värde /referens/	ERPG-1 /23/	ERPG-2 /23/	ERPG-3 /23/	LC ₅₀ (1 timmes exponering)		LC ₅₀ (30 min. exp.)
				Rått /11/	Rått /16/	Rått /16/
Värde i ppm	2	20	50	1276	1307	2042

Tabell 1. Olika gränsvärden för vätefluorid

Av värdena ovan kan slutsatsen dras att exponering för nivåer över 30 ppm inte kan rekommenderas för en stridsfordonsbesättning.

2.7 Koloxid (CO)

Koloxid är en färglös och luktfri gas som bildas vid ofullständig förbränning. Koloxid binder sig ca 200 gånger bättre till blodets hemoglobin än vad syre gör. I blodet förenar sig koloxid med hemoglobinet och bildar koloxidhemoglobin (COHb). Eftersom koloxidhemoglobin inte kan transportera syre uppstår syrebrist i vävnader och viktiga organ i kroppen. För att kompensera för syrebristen ökar hjärtat sin slagfrekvens, men då inte heller hjärtmuskulaturen får tillräckligt med syre blir konsekvensen att hjärtat skadas allvarligt. Hur mycket koloxid som tas upp i kroppen beror på koloxidhalten i inandningsluften, exponeringstiden samt hur snabb andhämtningen är. Symptomen på förgiftning är snabb andning, huvudvärk, yrsel, eventuell medvetlöshet och död. Behandling av akut koloxidförgiftning sker med syrgas /6/. En stridsfordonsbesättning som exponeras för koloxid måste antingen vädra ur fordonet eller bära skyddsutrustning.

Typ av värde /referens/	NGV /4/	TGV /4/	KTV /4/	NOAEL /2/	LOAEL /19/	IDLH /11/
Värde i ppm	35	Ej angivet	100	20	21	1200

Typ av värde /referens/	ERPG-1 /23/	ERPG-2 /23/	ERPG-3 /23/	LC ₅₀ (4 timmars exponering)		LC ₅₀ (30 min. exp.)
				Råtta /11/	Mus /11/	Råtta /11/
Värde i ppm	200	350	500	1784	2414	5207

Tabell 2. Olika gränsvärden för koloxid

Av värdena ovan kan slutsatsen dras att exponering för värden över 1200 ppm inte kan rekommenderas för en stridsfordonsbesättning.

2.8 Dimensionerande brand

De dimensionerande bränderna är valda i samråd med FMV och vår handledare på Brandteknik. Två stycken brandscenarier används. Det första simulerar att en soldat, som när han sitter ner inuti stridsfordonet, spiller ut 0,5 liter T-sprit som därefter antändas. Det andra scenariot simulerar att en molotovcocktail, en glaslaska fylld med bensin och med en brinnande trasa runt flaskhalsen som veke, slängs in i manskapsutrymmet genom den bakre luckan när denna öppnas.

T-sprit används till de spritkök soldaterna värmer sin mat med och varje soldat är utrustad med en halvliters bränslebehållare. Branden med T-sprit blir så stor att den blir svår att släcka med en vapenrock men ändå så hanterbar att det fasta släcksystemet inte behöver aktiveras. I scenariot släcks branden med en handbrandsläckare och hur bra de olika släckmedlen släcker och vad det bildas för restprodukter undersöks. Med denna brand som scenario har även en tid till när soldaten får andragradens brännskador tagits fram, detta i syfte att få fram en kravtid på längsta godtagbara släcktid.

Branden med molotovcocktailen är vald mot bakgrund av Försvarmaktens ökade internationella åtaganden där ett liknande scenario inte är osannolikt /10/. En brand av den här storleken kan bli så stor att man väljer att utlösa det fasta släcksystemet, men i scenariot används en handbrandsläckare. Heptan har använt istället för bensin, dels för att heptan har brandegenskaper likvärdiga med bensin och dels för att inte utsätta författarna och omgivningen för onödiga hälsorisker. En poolbrand har använt för att simulera branden och efter försök med de olika släckmedlen har storleken på denna fastställts till 40 cm.

Att inte en inslängd molotovcocktail användes berodde dels svårigheten att få molotovcocktailen att träffa och tända på avsedd plats kombineras med det faktum att handbrandsläckarna fästes vid en ställning för att få släckmomentet så operatörsoberoende som möjligt, dels på det uppenbart riskabla med att hantera molotovcocktails.

Om man hade använt en molotovcocktail så hade det i och för sig gått att släcka men det hade blivit operatörsoberoende, det vill säga hur effektiv släckningen är beror på hur släckaren hanteras. När de olika släckmedlen provades så släckte de en större poolbrand än 40 cm när de användes som avsett, det vill säga rörligt och inte statiskt i en ställning. I slutändan valdes en pooldiameter som samtliga släckmedel kunde släcka fast släckarna var fastmonterade.

2.9 Brännskador

En brännskada definieras som en vävnadsskada, orsakad av öppen eld eller varma vätskor, kontakt med heta föremål eller elektrisk ström eller exponering för retande kemikalier eller radioaktiv strålning /32/. En första gradens brännskada uppkommer när överhuden (epidermis) är bränd och irriterad vilket kan jämföras med en kraftig solbränna. Andra gradens brännskada omfattar överhuden (epidermis) och övre delen av läderhuden (dermis) /32/. En andrageradens brännskada kan vara livshotande beroende på var på kroppen den sitter och vilken omfattning den har, det vill säga hur stor yta den är utbredd på. En annan viktig parameter är vilken ålder personen i fråga har, en äldre person klarar en brännskada sämre än en yngre, dock så har inte spädbarn så hög tålighet mot brännskador /6/. Tredje gradens brännskada uppkommer när överhuden (epidermis) och hela läderhuden (dermis) är förstörd /32/ och underliggande vävnader är skadade, transplantation av hud är nödvändig och inflammationer i det skadade området är vanligt. Detta tillstånd är kritiskt /8/.

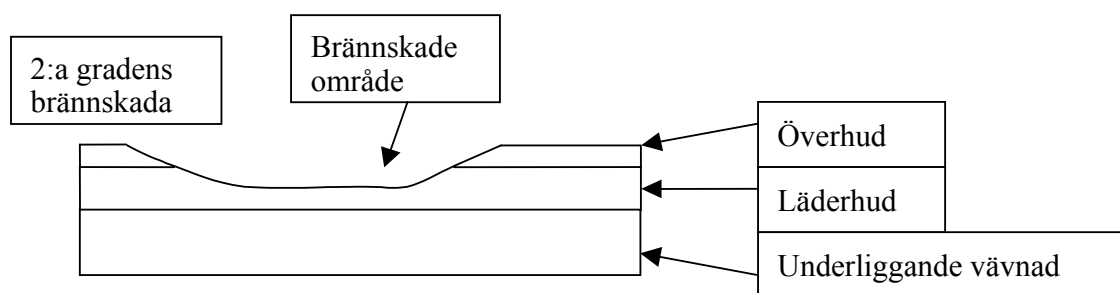


Bild 2: andra gradens brännskada

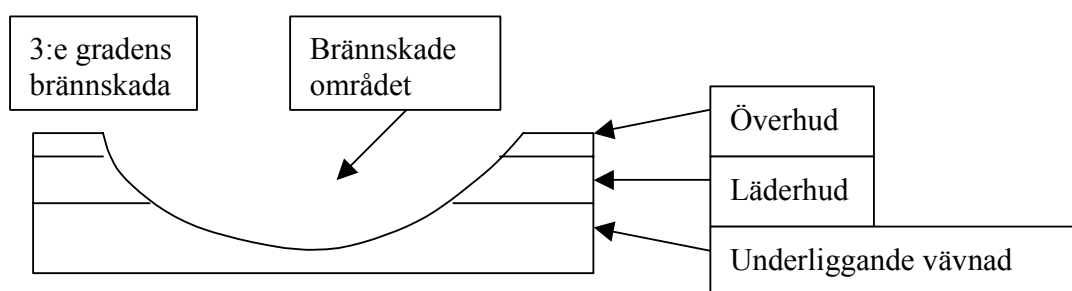


Bild 3: tredje gradens brännskada

För att bestämma när andra gradens brännskador uppkommer så behöver man veta hur huden reagerar för olika yttemperaturer. Kravet för att det ska uppkomma en andra gradens brännskada är att området mellan överhuden (epidermis) och läderhuden (dermis) överstiger 44°C. För att veta när temperaturen i detta område överstiger 44°C behöver man veta hur en temperaturökning fortplantar sig genom huden och hur kroppen klarar att reglera temperaturökningen d.v.s. hur kroppen klarar att kyla ner yttemperaturen på huden. Detta samband fås av ekvationen nedan /5/:

$$1 = \frac{1}{400000} \int_0^t (T - 44)^4 dt$$

T= yttemperaturen på huden

t= tiden för exponering

Ur detta samband kan man lösa ut att om yttemperaturen överstiger 69 °C så räcker det att exponeras i en sekund för att få andragradens brännskador men om temperaturen är lägre så krävs det en längre exponering för att värma upp området mellan överhuden (epidermis) och läderhuden (dermis) till 44 °C, detta samband illustreras av diagram 1 nedan:

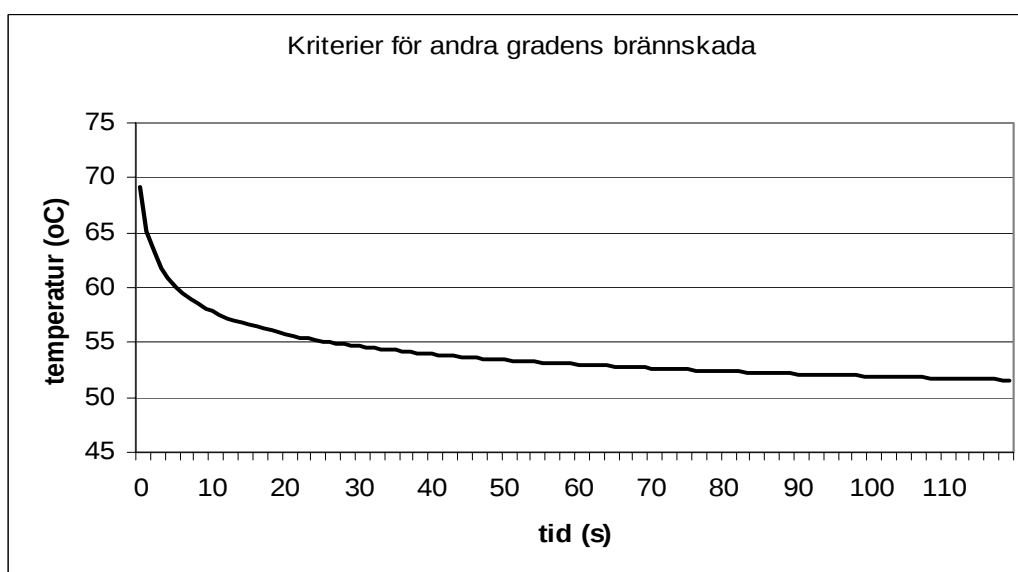


Diagram 1: sambandet mellan tid och exponeringstemperatur

Detta medför att en tid till andragradens brännskador kan bestämmas när temperaturen på huden och tiden för exponeringen av värmen är känd.

3. Försök

3.1 Beskrivning av försöken

Fyra olika typer av försök har genomförts: brännskadeförsök, poolbrandförsök, containerförsök och Effuncförsök.

Vid brännskadeförsöken har den tid det tar innan en soldat får andragradens brännskador på benen undersökts. Alla soldater är normalt utrustade med ett T-spritzkök för att kunna värma mat samt en plastflaska om 5 dl. där T-spriten förvaras. I försöken antas soldaten fumla med flaskan så att spriten spills ut i knät varefter den antänds. Försöken genomförs med olika kombinationer av plagg ur uniformssystem 90 i Brandtekniks laboratorium vid Lunds Tekniska Högskola. Tiden tills det att andragradens brännskada uppstår används sedan för att jämföra med de olika släckmedlens släcktider.

Vid poolbrandförsöken har de olika släckmedlen provats mot heptanbål av varierande storlek. Syftet har varit att jämföra de olika släckmedlens släckverkan samt att fastställa en bålstorlek som samtliga släckmedel kan släcka, detta för att senare använda denna bålstorlek i containerförsöken. Försöken har genomförts på Räddningsverkets skola i Revinge.

Vid containerförsöken har ett rum byggts i en container på sådant sätt att dess volym ungefärligt överensstämmer med ett stridsfordons volym $15\text{m}^3 / 24/$. Två stycken typer av bränder har använts vid dess försök. Det första har samma scenario som i brännskadeförsöket, det vill säga T-sprit som spills ut i knät på soldaten och sedan antänds. I det andra används en poolbrand för att försöka efterlikna en molotovcocktail som slängs in i stridsfordonet när bakluckorna har öppnats. Mätningar av hur mycket vätefluorid (HF) och koloxid (CO) som bildas efter det att branden släckts av de olika släckmedlen har genomförts. Försöken har genomförts på Räddningsverkets skola i Revinge.

I Effuncförsöken har kylans påverkan på de olika släckmedlen undersökts. Vid test i Effunc-apparaten avfyras en handbrandsläckare varvid en massflödeskurva erhålls för den testade släckaren. De olika släckmedlen testades vid rumstemperatur samt vid -30°C och deras prestanda vid försöken kan sedan jämföras. Försöket har utförts i Brandtekniks laboratorium i Lund

3.1.1 Handbrandsläckarna

Handbrandsläckarna har varit 2,1 liters behållare fyllda med 1,5 kg släckmedel. Ett undantag från detta förekommer i försöken och det är vattendimmesläckaren, en 10 liters behållare fylld med 7 kg vatten trycksatt till 100 bar. Ingen av de kontaktade leverantörerna har kunnat förse oss med en vattendimmesläckare baserad på en 2,1 liters behållare och den som användes är en ren prototyp byggd enbart för de aktuella försöken. Munstycket som har använts till släckaren med vattendimma är tillverkat av Danfoss. Munstycket gav dock för lite flöde vid 100 bar så det fick uppgraderas, en operation som innebar att hålet i munstycket ökades från 1,5 millimeter till 2,5 millimeter. Ingrepp påverkade endast utflödeshålet och inte själva virvelkammaren, placerad före utflödeshålet för att få rotation på vätskan. Enligt författarnas bedömning påverkas själva vattendroppsfördelningen och spridningen inte av ingreppet. Vätskan som kom ut var fortfarande väldigt fint fördelad.

Trots att vattendimmesläckaren inte överensstämmer i konstruktion med de övriga har den ändå använts i försöken, huvudsakligen på grund av uppdragsgivarens önskemål om att prova vattendimma. För att ändå kunna jämföra vattendimmans effektivitet med övriga släckmedlen har behållaren vägts före och efter varje släcktillfälle för att mäta hur mycket vatten som gått åt. Förbrukningen var vid poolbranden 345 gram och vid brand i kläderna 1224 gram.

Uppdragsgivaren framförde tidigt önskemål om att de släckare som användes i försöken skulle ha samma yttre dimensioner som de halonsläckare som idag används i Försvarmaktens stridsfordon. Även i detta fall visade det sig att leverantörerna inte kunde leverera enligt detta önskemål. Författarna konstaterar dock att jämförelsen mellan släckmedlen ändå blir rättvisande då alla släckare i försöken har samma dimension, om än denna dimension inte är exakt densamma som Försvarmaktens släckare. När Försvarets Materielverk sedermera bestämmer sig för hur halonsläckarna skall ersättas torde det vara lättare att få dessa levererade i önskat format, detta då kvantiteterna väsentligt överstiger de som använts i de genomförda försöken.

3.1.2 Brännskadeförsök

För att bestämma när andragradens brännskador uppkommer på en soldat konstruerades ett par ben av POM-plast (polyoxymethylene), ett ämne med termiska egenskaper likvärdiga med mänsklig hud. Som referens har Petra Anderssons doktorsavhandling /20/ använts under konstruktionen av testbenen.

3.1.2.1 Försökuppställning

Benen är uppbyggda av 1,5 mm POM-plast. Under plasten sitter 10 mm plastslang i vilken vatten med en temperatur av 37°C cirkulerar. Plastslangen med det cirkulerande vattnet simulerar blodet under huden. Blodet ser bland annat till att hålla temperaturen på huden mellan 28-34°C, om huden blir för kall så värmer blodet upp den och i försöksseriens fall så ser blodet till att kyla ner huden när den värms upp. Hållrummet inuti benen är fyllda med mineralullisolering för att förhindra värmeförluster, exempelvis genom luftcirkulation i benen. Utanpå POM-plasten och rakt ovanför vattenslangen sitter termoelement vilka mäter temperaturökningen på huden (plasten). Med temperaturmätningarna som grund kan tiden till dess att andra gradens brännskador uppstår bestämmas.

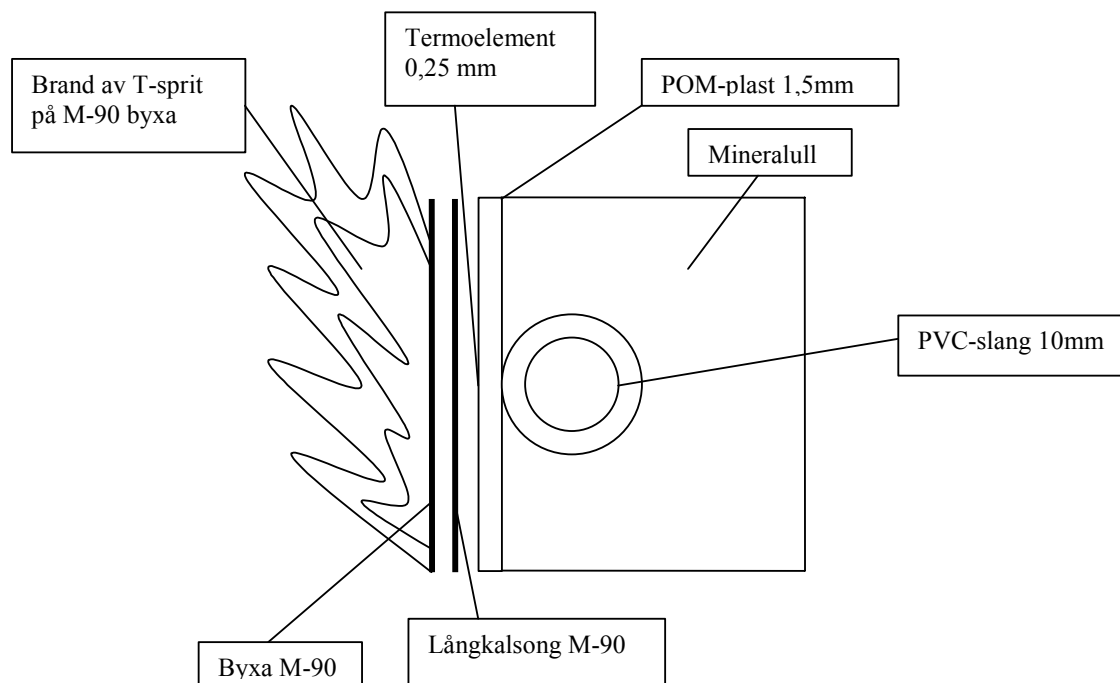


Bild 4: schematisk bild av testbenets uppbyggnad

3.1.2.2 Genomförande

Benen har klätts med kängor och uniformsbyxa M-90 av samma typ som soldaterna i manskapsutrymmet bär. I hälften av försöken kompletterades klädseln dessutom med Försvarmaktens långkalsonger i ribbstickad bomull. Benen placerades sittande på en stol för att efterlikna ett stridsfordonsutrymme vari soldaterna tillbringar en stor del av tiden sittande. 5 dl. T-sprit hälldes ut i knät varefter den antänds. Släckning har fått påbörjas kort efter det att tyget i uniformsbyxan brunnit igenom, detta då benen annars hade skadats varefter ytterligare försök hade krävt konstruktionen av ett nytt par ben.



Bild 5: försöksbenen redo för försök

3.1.2.3 Resultat

I medeltal tar det 34 sekunder innan andra gradens brännskador uppstår om långkalsong används. Om långkalsong däremot inte används tar det i medeltal 20 sekunder.

Klädsel	Med långkalsong			Utan långkalsong		
Försök nr.	1	2	3	1	2	3
Tid (s)	29	39	33	19	21	21
Medelvärde (s)	34			20		

Tabell 3: tid till andra gradens brännskador

3.1.2.4 Kommentarer och diskussion

Uniformsbyxa med långkalsong under klarar längre tid innan andra gradens brännskador uppstår, detta jämfört med uniformsbyxa utan långkalsong. Förmodligen beror detta på att inledningsvis brinner det på utsidan av uniformsbyxan och insidan av byxan värms upp och strålar ner på huden. Om man har långkalsong så hindras denna värmestrålning. När det väl har brunnit igenom uniformsbyxan så går det ganska snabbt tills det att andra graden brännskador uppstår, även med långkalsonger. Detaljerade resultat redovisas i bilaga 3, det eller de termoelement som är närmast placerade där det brinner igenom uniformstyget kan lätt urskiljas genom den snabba temperaturökningen.

En viktig parameter som påverkar hur snabbt soldaten får andragradens brännskador är hur bra impregnerad uniformsbyxan är. Om uniformsbyxan är bra impregnerad så rinner T-spriten av och det som stannar kvar ligger på ytan av uniformsbyxorna, härigenom tar längre tid för elden att få fäste i tyget. Om den är dåligt impregnerad så suges T-spriten upp i uniformstyget vilket gör att det snabbt brinner igenom, detta kan som tidigare nämnts tydligt studeras i bilaga 3. Detta faktum har kunnat konstateras då de uniformsbyxor som använts inte har varit fabriksnya, utan begagnade med varierande kvalitet på impregneringen.

Tiden det tar för släckmedlet att släcka T-spritsbranden på soldatens uniformsbyxa är betydligt kortare än tiden det tar för branden att ge soldaten brännskador. Detta beror på att så mycket släckmedel appliceras på en begränsad yta att alla släckmedel som undersökts klarar av att släcka branden mycket snabbt. Det som i slutändan betyder mest, förutom klädseln, för att förhindra att soldaten får andragradens brännskador är hur snabbt man får fram brandsläckaren och påbörjar släckning, inte vilket släckmedel som används.

3.1.3 Poolbrandförsök

För att bestämma storleken på den poolbrand som används i containerförsöken utfördes poolbrandsförsök. Syftet var att finna en storlek på poolbranden som samtliga släckmedel klarar av att släcka.

3.1.3.1 Försökuppställning

Handbrandsläckarna har vid släcktillfället varit fast monterade på en för ändamålet konstruerad ställning, detta för att göra försöken operatörsoberoende. Framför ställningen placerades på marken ett stålfat, fyllt till 1/3 med heptan.



Bild 6: försökuppställningen av handbrandsläckarna

3.1.3.2 Genomförande

Fatet med heptan antändes och fick brinna i 30 sekunder varefter släckaren utlöstes. Hela släckarens innehåll tömdes, vilket tog 8-10 sekunder, och huruvida elden slocknade eller inte observerades. De fatstorlekar som provades var 60, 50 och 40 cm i diameter. Försöken genomfördes vid rumstemperatur.

3.1.3.3 Resultat

Den storlek på fatet som samtliga släckmedel klarade av att släcka var 40 cm i diameter.

Diameter/cm	Släckmedel					
	HFC 236fa	HFC 227ea	CO ₂	Släckvätska	Referensgas	Vattendimma
60	Släcker ej	Släcker ej	Släcker ej	Släcker ej	Släcker	Släcker ej
50	Släcker	Släcker ej	Släcker	Släcker	Släcker	Släcker ej
40	Släcker	Släcker	Släcker	Släcker	Släcker	Släcker

Tabell 4: resultat av poolbrandförsök

3.1.3.4 Kommentarer och diskussion

Det är möjligt att släcka samtliga poolstorlekar med samtliga släckmedel. För att lyckas med detta krävs emellertid att operatören är aktiv vid påföringen av släckmedlet så att det inte hamnar i en punkt. Som tidigare nämnts gjordes försöken operatörsoberoende så att alla släckmedel hade samma förutsättningar, vilket utesluter en aktiv påföring. Noterbart är att inget av ersättningsalternativen klarar av att släcka den största branden, se tabell ovan. Sämst fungerade HFC 227ea och vattendimma, se tabell ovan. Oavsett resultaten ovan upplevs CO₂ fungera bäst, det producerar inte HF som de två HFC-gaserna och det släcker snabbare än släckvätskan. En slutsats av försöken är att det är viktigt att de värnpliktiga som utbildas för att bemanna stridsfordonen får en god utbildning i handhavande av handbrandsläckare. En tränad operatör klarar av att släcka en betydligt större brand än en otränad.

3.1.4 Containerförsök

För att studera miljön i stridsfordonet efter det att en släckinsats gjorts genomfördes försök i en container i vilken ett rum konstruerades. Två olika typer av bränder användes i försöken.

3.1.4.1 Försökuppställning

Ett rum konstruerades i en container på sådant sätt att dess volym var 15 m³, vilket överensstämmer med ett stridsfordons invändiga volym /10/. På golvet i rummets mitt placerades ett stålfat, 40 cm i diameter, som fylldes antingen till 1/3 med heptan eller med uniformstyg indränkt med 5 dl T-sprit. I ett hörn av rummet placerades en så kallad PPV-fläkt, en modell av fläkt som används inom räddningstjänsten för att evakuera brandgaser. I en vägg togs ett hål upp, 20 x 20 cm, så att en handbrandsläckare kunde avfyras in i rummet medan operatören befinner sig utanför detsamma.

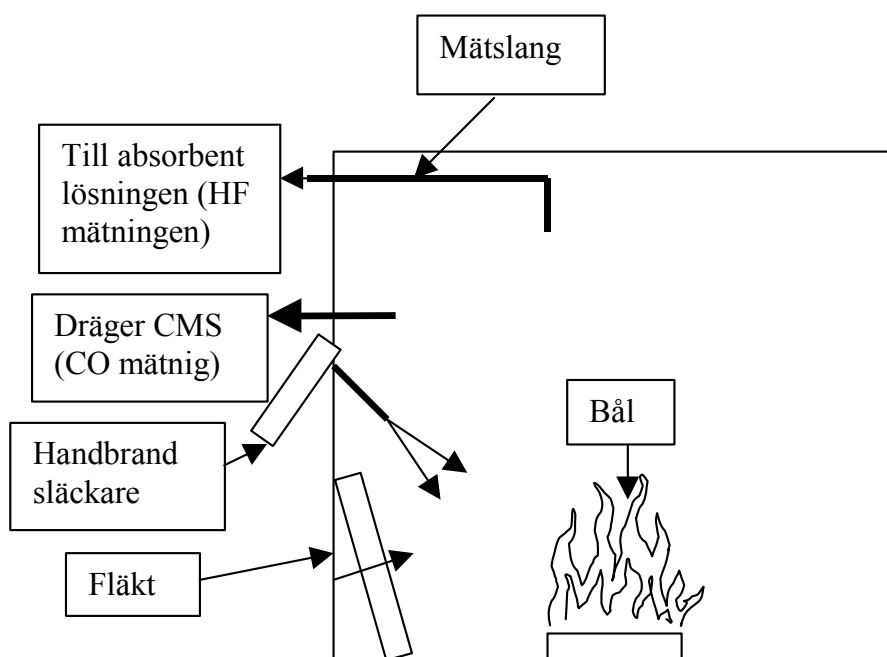


Bild 7: försökuppställningen för 15m³ rummet

Från rummets mitt dras en mätslang genom vilken luft kan pumpas genom en absorberande lösning i två steg. Genom att analysera absorberande lösningen med jonkromatografi kan sedan halten HF i luften fastställas. I rummets mitt fästs också ett termoelement så att lufttemperaturen vid provtagningen kan mätas. Ett instrument för analys av CO-halten, Drägers CMS-instrument, ansluts också till en mätslang så att prover kan tas från rummet.



Bild 8: uppställning av bubbelglasen vid HF-mätningen

3.1.4.2 Genomförande

Bränslet i stålfatet antänds och får brinna i 30 sekunder. Branden släcks därefter genom att en handbrandsläckare töms på hela sitt innehåll genom hålet i väggen. När släckaren tömts täcks hålet i väggen med en lucka och fläkten startas så att förbränningsprodukterna rörs runt och blir jämt fördelade i rummet. Efter det att fläkten varit igång i 30 sekunder stannas den och provtagningen påbörjas. När provtagningen är avslutad vädras rummet ut varefter provtagning av nästa släckmedel påbörjas. Släckmedlen provas fyra gånger, två gånger mot heptan och två gånger mot T-spritindränkt tyg. Ett försök genomförs också där branden släcks utan släckmedel genom att ett lock läggs över fatet, i resultatdiagrammet benämns detta försök "Ej släckmedel". Absorbentlösningen skickas till SP i Borås för analys av HF-halten medan CMS-instrumentet ger ett så gott som omedelbart provsvar.

3.1.4.3 Resultat

Vid mätningarna av CO ger HFC 236fa, HFC 227ea samt referensgasen högre värden än 150 ppm. Vattendimma har ett värde över och ett under 150 ppm. CO₂ och släckvätskan har värden under 150 ppm varav CO₂ har de lägsta, se diagram nedan.

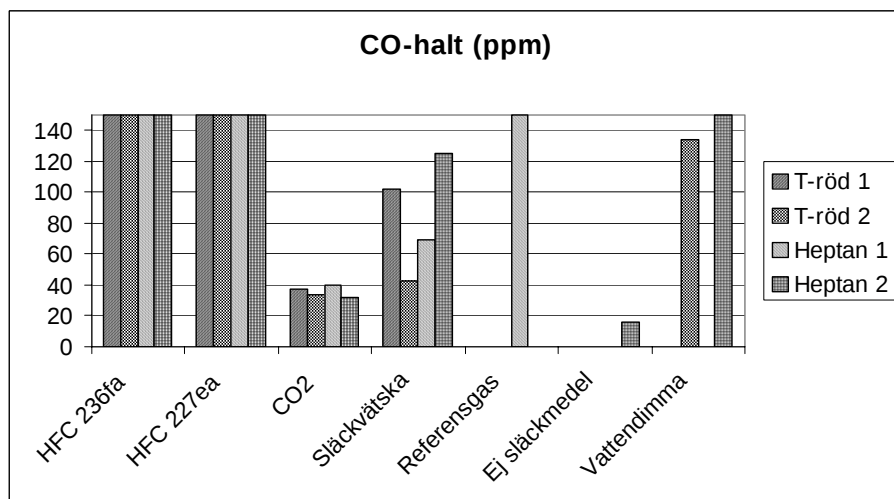


Diagram 2: produktion av CO för olika släckmedel

Vid mätningarna av HF visar HFC 236fa och HFC 227ea inledningsvis högst värden för att sedan sjunka när försöken fortskrider. Värdena för CO₂ och släckvätskan ökar efterhand förutom i sista försöket. De lägsta värdena har vattendimma, se diagram nedan.

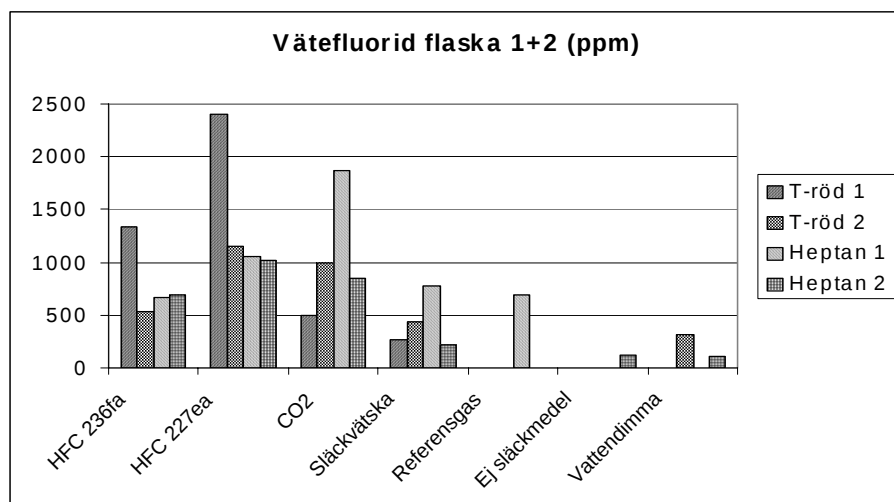


Diagram 3: produktion av HF för olika släckmedel

3.1.4.4 Kommentarer och diskussion

Mätningen av CO görs med Drägers CMS-instrument vars mätintervall är uppåt begränsat till 150 ppm /13/. Mätningarna av CO-halten visar att enbart CO₂ samt släckvätska konsekvent håller sig under 150 ppm och av dessa två har CO₂ de lägsta värdena. CO₂ är också det enda släckmedel som konsekvent håller sig under Arbetarskyddsstyrelsens KTV-gränsvärde på 100 ppm, även om ett medelvärde för släckvätska också håller sig under detta värde. Vattendimma har som enda släckmedel ett resultat under och ett över 150 ppm vilket talar för att dess andra försök inte överskrider 150 ppm med alltför stor marginal.

Resultaten från SP, som redovisas i bilaga 5, används för att beräkna medelkoncentrationen av HF i rummet. En detaljerad beskrivning av beräkningarna ges i bilaga 6. Mätningarna av HF ger inte samma entydiga resultat som CO-mätningarna och i fallet med CO₂ är de direkt felaktiga då CO₂ omöjligt kan producera HF. De observationer av de olika släckmedlens HF-produktion som gjordes baserat på kroppsliga reaktioner (svidande ögon, skarp lukt, retningar i halsen etc.) satte HFC 236fa och HFC 227ea som de största producenterna med besvärande höga halter HF, medan övriga släckmedel gav halter som var från icke märkbara till uthärdliga. En sannolik förklaring är att ventilationen mellan försöken inte varit tillräcklig varefter försöksutrustningen efterhand har förorenats av HF, och att detta visar sig i resultaten.

HF-mätningen som redovisats ovan avser totalmängden HF från de två mätstegen. En undersökning av de två stegen separat, se diagram 4 nedan, visar att det sista stegets värden efterhand ökar vilket kan stödja teorin om förorening. Om så är fallet är den första försöksserien den minst förorenade och dess resultat stämmer också bäst med de gjorda observationerna. I den första serien har HFC 236fa och HFC 227ea de högsta värdena och släckvätska det lägsta.

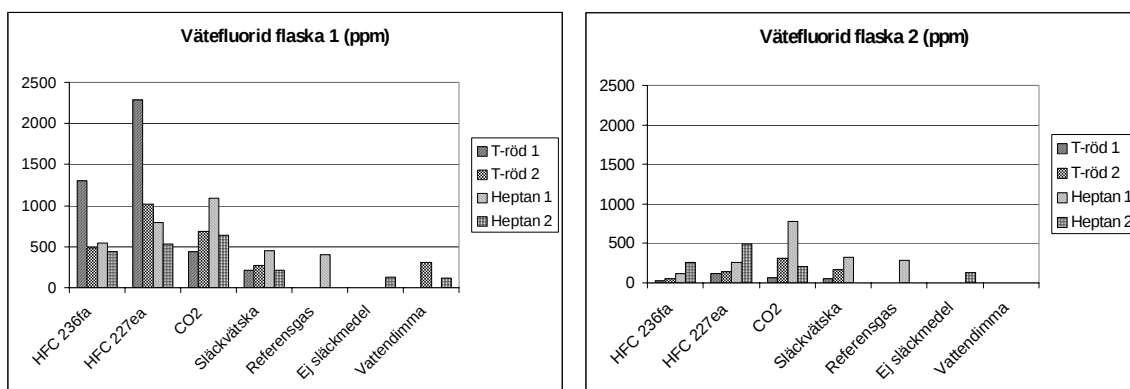


Diagram 4: de olika stegen i HF-mätningen redovisade separat.

Det har visat sig att vid släckning med halonersättningsmedel är mängden HF som produceras proportionell mot mängden bränsle som brunnit under den tid som släckmedlet funnits i rummet /5/. Av de ersättningsmedel som härvid undersöktes återfinns ett i denna rapport, HFC 227ea. Mängden HF producerad vid släckning med HFC 227ea var 1,6 gram per gram bränt bränsle, och detta med kolväten som bränsle. Försök med mätning av massförlusten från ett stålfat med brinnande heptan visar att massförlusten efter en halvminuts brinntid ligger runt 2 g/s.

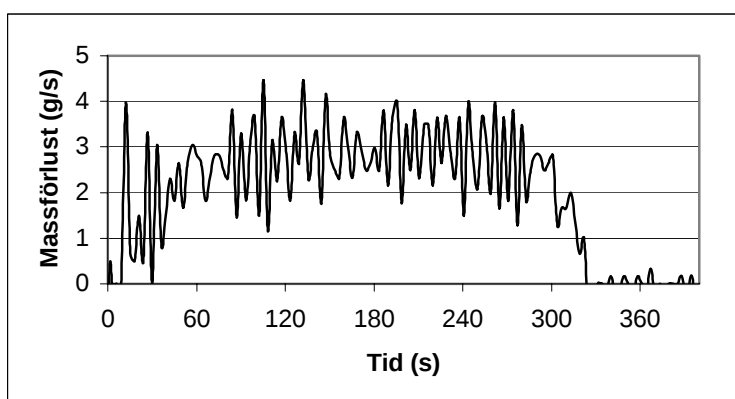


Diagram 5: massförlust heptan

Om 2 gram heptan förbränns per sekund bildas 3,2 gram HF per sekund under den tid som släckningen pågår. Om släckningen antas ske på tre sekunder bildas då 9,6 gram HF. 9,6 gram HF jämt fördelat i 15 m³ motsvarar en koncentration av 770 ppm. Detta värde blir något lägre än de som uppmäts vid försöken med HFC 227ea som släckmedel och heptan som bränsle, 1051 respektive 1015 ppm.

Avbrinningshastigheten för pölbränder kan även beräknas. För bränder med diameter större än 20 centimeter kan följande ekvation användas /12/:

$$\dot{m}'' = \dot{m}_{\infty}'' (1 - e^{-k\beta D})$$

$\dot{m}''$ är massavbrinning i kg/m²s

$\dot{m}_{\infty}''$ är massavbrinning för en pöl med oändlig diameter, för heptan 0,101 kg/m²s

$k\beta$ är två bränsleberoende tabellerade konstanter, för heptan 1,1 m⁻¹

D är pöldiametern i meter, i detta fall 0,4 meter

Vilket ger:

$$\dot{m}'' = 0,101(1 - e^{-1,1*0,4}) * 10^3 \text{ g/m}^2\text{s}$$

Om detta sedan divideras med fatets area $\pi 0,04 \text{ m}^2$ fås $\dot{m} = 4,51790196 \text{ g/s}$, ett värde något högre än de uppmätta.

3.1.5 Effunkförsök

För att se hur de olika släckmedlen uppför sig när det är kallare än rumstemperatur har släckarna kylts ner till – 30 grader Celsius, detta för att mäta och observera hur utströmningen påverkas och vid vilken fas släckmedlet är vid utströmningen.

3.1.5.1 Försöksuppställning

Effunk-apparaten består av en ställning för fasthållning av släckaren, en utlösningmekanism, en våg samt en dator som styr enheten. Apparaten mäter släckmedlets massutströmning under hela utströmningsperioden och resultatet sparas digitalt.

3.1.5.2 Genomförande

Släckmedelsbehållarna placerades i en frys med en temperatur av -30° C och förvarades där i 2 veckor. Omedelbart innan Effunk-testet genomfördes hämtades en släckare från frysen och placerades i hållaren varefter testet utfördes. Samma test genomförs med samtliga släckmedel med ett undantag. Släckaren som innehållit vattendimma har varit en 10 liters behållare fylld med 7 liter vätska och trycksatt till 100 bar, den har inte tömts helt utan testet har utförts i 5 sekunder för att observera hur mediet uppför sig.

3.1.5.3 Resultat

Diagrammen presenteras i bilaga 3. Vad man kan se av försöken så kommer de gasformiga släckmedlen ut mera i vätskefas under köldförsöken än under rumstemperaturförsöken. De släckmedlen som inte är i gasfas får en lite mera vätskefasutstötning dvs. de sprider sig inte lika bra och vätskan kommer ut lite mera ojämnt.

3.1.5.4 Kommentarer och diskussion

De observationer som iakttagits och de resultat som Effunken har gett har vägts samman till ett sammanställt resultat. Det släckmedel som har klarat sig bäst är vattendimma med en jämn och fin utströmning även i kylt utförande och utflödet sänktes endast markant. CO₂ fungerade också bra vid köldförsöket, vätskefasutströmningen ökade men flödet var jämnt under försöket. HFC 236fa fungerade också bra vid köldförsöken. Även här ökade vätskefasutströmningen jämfört med rumstemperaturförsöken, men flödet höll sig jämt och fint under försöket. Släckvätskan fungerade inte speciellt bra i köldförsöken, det bildades dåligt med skum och flödet ut var ojämnt. Det släckmedel som bedömdes fungera sämst var HFC

Ersättning av halonhandbrandsläckare i stridsfordon

227ea, detta pga. av att nästan allt från början kom ut som vätskefas och att flödet var mycket ojämnt.

4. Slutsats och diskussion

Utifrån brännskadeförsöken kan vi konstatera att valet av släckmedel inte är avgörande för när andragradens brännskador uppkommer, de faktorer som har störst betydelse är impregneringens status på uniformen, de antalet lager kläder som soldaten har samt hur snabbt släckning påbörjas. Effektförsöken visar att vissa släckmedel fungerar bättre i kyla än andra och där vattendimma respektive referensgasen ligger i topp och släckvätskan och HFC 227ea fungerar sämst.

Poolbrandförsöken visade att munstyckena till vissa släckare gav för koncentrerad stråle samt att en relativt liten poolbrand, som samtliga släckare klarade av att släcka, fick väljas till containerförsöken. Containerförsöken har utvärderat de olika släckmedlens produktion av restprodukter. Utifrån produktionen av CO är CO₂ det bästa alternativet följt av släckvätskan. Mätningarna av HF ger inte lika entydiga resultat men vi upplever tydligt att HFC 236fa och HFC 227ea ger HF-nivåer som är så höga att vistelse i utrymmet är omöjlig utan andningsskydd.

Vi upplever också att det faktum att HFC 236fa och HFC 227ea tillför energi märks tydligt i släckningens inledningsskede vilket yttrar sig som att elden tilltar i styrka innan den släcks. För en värnpliktig soldat med relativt liten vana att hantera dessa släckare kan detta vara en ytterst obehaglig överraskning, såvida han inte är informerad om detta samt minns den informationen i en sådan stressande situation. Vi kunde också konstatera att HF-halterna gav kraftig korrosion på metallytorna i försöksrummet.

Släckaren med vattendimma upplevs fungera bra men ett problem är när man ska släcka en brand i kläder. Släckmedlet hade svårt att sig runt och släcka i veck av kläderna så i detta försök fick vi använda mycket släckmedel, samtidigt rör det sig om en försöksutrustning hopsatt speciellt för dessa försök. En slutsats av detta är att vattendimma inte uppför sig som en gas, trots att vattendropparna är väldigt små. Innan en vattendimmsläckare kan finnas tillgänglig på marknaden, bland annat i de ytterdimensioner som specificeras av FMV, måste ytterligare utprovningar ske. Släckaren med släckvätska upplevs som ett alternativ utanför stridsfordonet och i motorutrymmet, dock så fungerade den relativt dåligt i köldförsöken och dessutom ger den en nedsmutsning av utrymmet då släckmedlet ligger kvar efter släckningen.

Avslutningsvis blir vår rekommendation att om halonet skall ersättas som släckmedel i handbrandsläckarna så är CO₂ det bästa alternativet.

5. Referenser

- [1] *2002 Assessment Report of the Halons Technical Options Committee*, ISBN 92-807-2286-7, The Technology and Economic Assessment Panel of the United Nations Environment Programme, Nairobi 2003
- [2] “Acute Toxicity Summary – Carbon Monoxide”, *Determination of Acute Reference Exposure Levels for Airborne Toxicants*, Office of Environmental Health Hazard Assessment, California Environmental Protection Agency, 1999
- [3] Adolfsson, M. Schelander, M. *Halonersättningsmedel*, ISRN LUTVDG/TVBB--5003--SE, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 1994
- [4] *AFS 2000:3 Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar*, ISBN 91-7930-357-9, Arbetskyddsstyrelsen, Solna 2000
- [5] Andersson, Petra. *Evaluation and Mitigation of Industrial Fire Hazards*, ISRN LUTVDG/TVBB--1015--SE, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 1997
- [6] *Arbete-Människa-Teknik*, ISBN 91-7522-414-3, Arbetskyddsnämnden, Stockholm 1997
- [7] Atkins, P. Jones, L. *Chemistry: molecules, matter and change – 3rd ed.*, ISBN 0-7167-2832-X, W.H. Freeman and Company, New York NY 1997
- [8] Bull, J. P. Lawrence, J. C. “Thermal Conditions to Produce Skin Burns”, *Fire and materials*, Vol. 3 No. 2 June 1979
- [9] *Crew Protection Performance Criteria*, dokument från US Army Tank-automotiv & Armaments Command (TACOM), opubl.
- [10] *Den framtida sjukvården i mekaniserade förband - policydokument*, Utkast, Försvarets sjukvårdscentrum, 2000
- [11] *Documentation for Immediately Dangerous to Life or Health Concentrations*, National Institute for Occupational Safety and Health, URL <http://www.cdc.gov/niosh/idlh/idlh-1.html>, 2003-11-20
- [12] Drysdale, Dougal. *An Introduction to Fire Dynamics – 2nd ed.*, ISBN 0-471-97290-8, John Wiley & Sons Ltd, Chichester 1998

- [13] *Dräger Gasmätare CMS*, Dräger Safety Sverige AB: URL
<http://www.draeger.se/Gasmaetare%20CMS.htm> 2003-12-10
- [14] *DuPont Fire Extinguishants*, DuPont: URL
<http://www.dupont.com/fire/properties/index.html>, 2003-05-06
- [15] *Halons Technical Options Committee – Technical Note #1-Revision 2*, The Technology and Economic Assessment Panel of the United Nations Environment Programme, Nairobi 1999
- [16] *Hydrogen fluoride (Poisons Information Monographs 268)*, International Programme on Chemical Safety: URL
<http://www.inchem.org/documents/pims/chemical/hydfluor.htm - SubSectionTitle:7.2.1%20Human%20data>, 2003-11-20
- [17] Isaksson, S. Simonson, M. Holmstedt, G. *Gasformiga alternativ till halon som släckmedel*, SP Rapport 1997:10, ISBN 91-7848-668-8, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås 1997
- [18] Lindau, L. Nyqvist, P. *Lågtemperaturprovning av halonersättningsmedel*, ISRN LUTVDG/TVBB--5075--SE, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2000
- [19] *National Ambient Air Quality Objectives for Carbon Monoxide - Desirable, Acceptable & Tolerable Levels*, ISBN 0-662-25642-5, CEPA/FPAC Working Group on Air Quality Objectives and Guidelines, Health Canada & Environment Canada, 1994
- [20] *Portable extinguishers*, dokument från US Army Tank-automotiv & Armaments Command (TACOM), opubl.
- [21] *Product leaflet, NBC Filter 381*, Sundström Safety AB, Lidingö
- [22] *Produktdatablad Temper-S*, Aspen Petroleum AB: URL
http://www.temper.se/Files/TemperS/Engelsk/TemperS_info_041125.pdf, 2004-12-05
- [23] RIB – Integrerat beslutsstöd för skydd mot olyckor, Version 4.2.02, Utgåva 1-2004, Räddningsverket, Karlstad
- [24] Samtal med Pontus Norberg, Försvarets Materielverk

- [25] Samtal med Göran Holmstedt, Institutionen för brandteknik, Lunds Tekniska Högskola
- [26] *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering - 2nd ed.*, ISBN 0-87765-354-2, National Fire Protection Association, Quincy MA 1995
- [27] SFS 2002:187, Förordning om ämnen som bryter ned ozonskiktet
- [28] *Skyddsnivåer*, dokument från FMV, opubl.
- [29] Stencilmaterial till föreläsningar om Kemiska hälsorisker, brand och skyddsutrustning i kursen Arbete-Människa-Teknik för Bi 1997
- [30] *Sundströms huvudbroschyr*, Sundström Safety AB, Lidingö
- [31] *Säkerhetsdatablad Släckvätska Forrex AB-30*, Dafo Brand AB, Tyresö 2000
- [32] Sjöberg, F. Östrup, L. *Brännskador*, ISBN 91-1-47-05107-8, Liber AB, Stockholm 2002
- [33] *TO Underhållsföreskrift Halonsläckare 1,5 kg, Halonsläckare 2,0 kg*. Försvarets Materielverk, 1998
- [34] *Toxicological Profile for Fluorine, Hydrogen Fluoride, and Fluorides*, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, US Department of Health and Human Services, 2001
- [35] *Material Safety Data Sheet "FE-36"*, DuPont Fluoroproducts, Wilmington, Delaware 2002

6. Bilagor

6.1 Bilaga 1 beskrivning av släckmedlen

6.1.1 HFC 236fa

HFC 236 fa är en tryckkondenserad gas och dess kemiska namn är hexafluoropropan ($\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CF}_3$). Användningsområdet för HFC 236fa är både i handbrandsläckare och i fasta släcksystem. Den har ingen ODP-faktor (ozon nedbrytning), är inte korrosiv och är ej elektriskt ledande, dock så har HFC 236fa en GWP-faktor (växthusgas effekt). HFC 236fa rekommenderas av tillverkaren att användas vid känslig utrustning t.ex. i datorhallar, telekommunikationscentraler och andra känsliga installationer.

Fysikalisk data för HFC 236fa [14]

Egenskap	Enhet	Värde
Molekylvikt	g/mol	152,04
Kokpunkt vid atmosfärstryck	°C	-1,4
Frys punkt	°C	-103
Kritisk temperatur	°C	124,9
Kritiskt tryck	kpa	3200
Kritisk densitet	kg/m ³	555,3
Densitet, vätska (25°C)	kg/m ³	1360
Densitet, ånga (25°C 1 atm)	kg/m ³	6,43
Specifik värmekapacitet (mättad vätska 25°C)	kJ/kg°C	1,1085
Specifik värmekapacitet (mättad ånga 25°C)	kJ/kg°C	0,8444
Ångtryck (mättad ånga 25°C)	kPa	272,4
Ångbildningsvärme vid kokpunkt	kJ/kg	160,4
Termisk konduktivitet (vätska 25°C)	W/m°C	0,0745
Termisk konduktivitet (ånga 25°C)	W/m°C	0,0042
ODP (CFC-11=1)		0
HGWP (CFC-11=1)		4,2
GWP (100 år för CO ₂ GWP=1)		6300
Atmosfärisk livstid	år	209
NOAEL (No Observed Adverse Effect Level)	%	10
LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level)	%	15
LC50 (råtta)	%	[35] 45,7

6.1.2 HFC 227ea

HFC 227ea är en tryckkondenserad gas och dess kemiska namn är 1,1,1,2,3,3,3-Heptafluoropropan($\text{CF}_3\text{CHF}_2\text{CF}_3$). Användningsområdet för HFC 227ea är både i handbrandsläckare och i fasta släcksystem. Den används även inom medicinska applikationer såsom drivgas i astmainhalatorer. Den har ingen ODP-faktor (ozon nedbrytning), är inte korrosiv och är ej elektriskt ledande, dock så har HFC 227ea en GWP-faktor (växthusgas effekt). HFC 227ea rekommenderas av tillverkaren att användas vid känslig utrustning t.ex. i datorhallar, telekommunikationscentraler och andra känsliga installationer.

Fysikalisk data för HFC 227ea [18]

Egenskap	Enhet		Värde
Molekylvikt	g/mol		170,03
Kokpunkt vid atmosfärstryck	°C		-16,4
Frys punkt	°C		-131
Kritisk temperatur	°C	[17]	101,6
Kritiskt tryck	kpa		2909,6
Kritisk densitet	kg/m ³		620,8
Densitet, vätska (25°C)	kg/m ³		1407
Densitet, ånga (25°C 1 atm)	kg/m ³		31,176
Specifik värmekapacitet (mättad vätska 25°C)	kJ/kg°C		1,1853
Specifik värmekapacitet (mättad ånga 25°C)	kJ/kg°C		0,860
Ångtryck (ånga 20°C)	kPa		303,9
Ångbildningsvärme vid kokpunkt	kJ/kg		132,5
Termisk konduktivitet (vätska 25°C)	W/m°C		0,0692
Termisk konduktivitet (ånga 25°C)	W/m°C		0,0126
ODP (CFC-11=1)		[17]	0
HGWP (CFC-11=1)		[17]	0,45-0,83
GWP (100 år för CO ₂ GWP=1)		[17]	2050-3300
Atmosfärisk livstid	år	[17]	31-42
NOAEL (No Observed Adverse Effect Level)	%	[26]	9
LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level)	%	[26]	10,5
LC50/ALC (Approximate Lethal Concentration)	%	[26]	> 80

6.1.3 Koldioxid (CO₂)

Koldioxid är en inert gas och förvaras i tryckkondenserad form, gasen är dödlig i vid släckande koncentration i ett slutet utrymme. Dess kemiska namn är koldioxid (CO₂) och man brukar använda smeknamnet kolsyresläckare på grund av att det bildas kolsyresnö när man aktiverar släckaren. CO₂ används där det är viktigt att det förblir rent efter en eventuell utlösning och finns både som handbrandsläckare och i fasta installationer. CO₂ har ingen ODP-faktor (ozon nedbrytning) är inte korrosiv och är ej elektriskt ledande, dock så har Koldioxid en GWP-faktor (växthusgas effekt). Man använder koldioxid till att släcka de flesta typer av bränder men CO₂ har inget återantändningsskydd och är därför inte lämplig att använda vid brand i fibrösa material.

Fysikalisk data för CO₂ [7]

Egenskap	Enhet		Värde
Molekylvikt	g/mol		44,01
Kokpunkt vid atmosfärstryck	°C		-78,4
Frystpunkt	°C		-56,6
Kritisk temperatur	°C		31,1
Kritiskt tryck	kpa		7395
Kritisk densitet	kg/m ³		468
Densitet, vätska (22°C)	kg/m ³	[17]	720
Densitet, gas (25°C 1 atm)	kg/m ³		1,79
Specifik värmekapacitet (mättad vätska 0°C)	kJ/kg°C		0,59
Specifik värmekapacitet (gas 26,5°C)	kJ/kg°C		0,846
Ångtryck (ånga 20°C)	kPa		5730
Ångbildningsvärme vid kokpunkt	kJ/kg		230,5
Termisk konduktivitet (mättad vätska 20°C)	W/m°C		0,0872
Termisk konduktivitet (gas 25°C)	W/m°C		0,0166
ODP (CFC-11=1)			0
HGWP (CFC-11=1)			0
GWP (100 år för CO ₂ GWP=1)			1
Atmosfärisk livstid	år		oändlig
NOAEL (No Observed Adverse Effect Level)	%	[17]	34
LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level)	%	[17]	1,0
ALC (Approximate Lethal Concentration)	%	[26]	65,8

6.1.4 Vattendimma med kaliumacetat och kaliumformiat

Vattnet är tryckkomprimerat till 100 bar i tuberna. Vattenbaserade system är ofarliga vid släckande koncentrationer och det har inga miljöeffekter det vill säga de har ingen ODP-faktor (ozon nedbrytning) eller GWP-faktor (växthusgas effekt). Släckvattnet kan emellertid föra med sig föroreningar typ diesel, glykol, hydraul- och motoroljor till marken. Vatten kan leda elektricitet men den mesta elektroniken är inkapslad för att klara fältmässigt bruk så vattendimma bör inte skada den mer än en brand. Frysskyddstillsatserna kommer från Aspen petroleum AB och är en saltlösning blandad i vattnet. Blandningen levereras färdigblandad från Aspen som anger att lösningen klarar en köldnersänkning till -40°C . Salterna som används är kaliumacetat och kaliumformiat, dessutom finns en korrosionsinhibitor i blandningen för att förhindra att det rostar i tuben.

Fysikalisk data för Vattendimma [22]

Egenskap	Enhet	Värde
Andel salter av karboxylsyror	%	15-80
Andel vatten	%	20-85
Andel korrosionsinhibitorer	%	<1,5
Kokpunkt vid atmosfärstryck	$^{\circ}\text{C}$	109
Fryspunkt	$^{\circ}\text{C}$	-55
Ph		8-9
Löslighet i vatten	%	obegränsad
Densitet, vätska (20°C)	kg/m^3	1240
Specifik värmekapacitet (vätska 20°C)	$\text{kJ}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$	2,88
Biologiskt nedbrytbarhet	97% efter 7 dagar, 99% efter 28 dagar	
ODP (CFC-11=1)		0
HGWP (CFC-11=1)		0
GWP (100 år för CO_2 GWP=1)		0
Atmosfärisk livstid	år	oändlig
NOAEL (No Observed Adverse Effect Level)	%	[13] 0,5
LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level)	%	[13] 1,0
LD50 (råtta)	mg/kg	>5000

6.1.5 Släckvätska – vatten, etylenglykol, kaliumklorid, sulfater och flourtillsats

Släckvätskan, som säljs under handelsnamnet Forrex AB-30, innehåller förutom vatten etylenglykol, kalciumklorid, sulfater, fluortillsatser samt korrosionsskydd. Forrexbaserade system är ofarliga vid släckande koncentrationer och de har inga miljöeffekter, det vill säga de har ingen ODP-faktor (ozonnedbrytning) eller GWP-faktor (växthusgaseffekt). Släckvätskan kan emellertid föra med sig föroreningar typ diesel, glykol, hydraul- och motoroljor till marken. Vattnet i vätskan är elektriskt ledande men elektroniken i stridsfordon är kapslad för att kunna användas i fältmässig miljö så detta torde inte utgöra ett problem.

Fysikalisk data för Forrex [31]

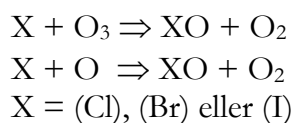
Egenskap	Enhet	Värde
Andel vatten	%	30-60
Andel 1,2-etendiol, etylenglykol	%	10-25
Andel kalciumklorid	%	10-25
Andel alkylsulfat	%	0,1-1
Andel natriumoktylsulfat	%	0,1-1
Andel flourtillsatser	%	0,1-1
Andel korrosionsskydd	%	1-5
Frys punkt	°C	-30
Högsta förvaringstemperatur	°C	60
Kokpunkt vid atmosfärstryck	°C	100
Flampunkt	°C	>100
Densitet	kg/m ³	Ej redovisad
ODP (CFC-11=1)		0
HGWP (CFC-11=1)		0
GWP (100 år för CO ₂ GWP=1)		0
NOAEL (No Observed Adverse Effect Level)	%	Ej redovisad
LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level)	%	Ej redovisad
LD50 (råtta)	mg/kg	2000

6.2 Bilaga 2 Ozon nedbrytnings potentialen och växthusgas potentialen

6.2.1 Ozonproblematiken

Problemet med halonsläckmedel är att de har en negativ inverkan på ozonlagren i atmosfären. Inom kommersiellt bruk kallas det att de har en hög ODP-faktor (Ozone Depletion Potential) d.v.s. att de reagerar med ozonet i stratosfären och bryter ner det. Faktorer som påverkar hur hög ODP-faktor som ett släckmedel har är hur lång atmosfärisk livstid det har, diffusionstiden från troposfären till stratosfären, hastigheten för ämnets nedbrytningsreaktioner och vid vilken höjd de inträffar.

När de halogenerande släckmedlen stiger uppåt i atmosfären träffas de av solstrålarna vars energinivå är högre än vid havsytan och till slut så sönderfaller släckmedlet varvid klor (Cl), brom (Br) eller jod (I) frigörs och reagerar med ozonet i stratosfären och bryta ner det enligt reaktionen nedan:



Då de flesta utsläpp sker i troposfären, den del som ligger närmast jorden och sträcker sig ca 11 km upp, så måste Cl, Br och I atomerna färdas genom denna innan de kommer fram till stratosfären. Fluoratomer anses att inte påverka ozonlaget nämnvärt eftersom att de har så kort atmosfärisk livstid.

Eftersom att ozonet skyddar oss alla från dom skadliga ultraviolettera strålarna över hela jorden men framförallt omkring polerna så är detta ett globalt problem vilket har resulterat i att FN anordnade en konferens i Montreal där man behandlade ozonnedbrytningsproblematiken, det resulterade i att man tog fram det så kallade Montrealprotokollet. Detta protokoll skrev Sverige under 1987 och det innebar att Sverige förband sig att minska och på sikt förbjuda tillverkningen och användningen av CFC-föreningar och haloner.

I Sverige är gaser som bryter ner ozonsiktet förbjudna att använda för brandsläckning och förbudet regleras av SFS 1995:636. Man tror att de s.k. ozonhål (saknad av ozon över dessa områden) som observerats över polerna på jorden kan ha tillkommit på detta sätt. Dock så är det inte bara brandsläckningsgaser som man tror har påverkat ozonhålens minskning utan det har även en mängd andra medel, till exempel köldmedel till kylskåp och drivgaser till hårsprayer med mera. I Sverige är vissa militära applikationer och i flygtrafiken undantagna från förbudet att använda halogenerande släckmedel.

6.2.2 Växthusgasproblematiken

Ett problem med de flesta ersättningsmedel för halon och för halon själv är att de har en så kallad växthuseffekt det vill säga de hjälper till att höja medeltemperaturen i atmosfären, detta kallas att de har en GWP-faktor (Global Warming Potential). Temperaturen i atmosfären hålls jämn med bland annat en process som kallas växthuseffekten. Växthuseffekten fungerar så att solstrålningen som kommer från solen är en kortvågig energirik strålning som träffar jordytan och värmer upp jorden som i sin tur blir varm och strålar ut mot rymden som en svartkropp, dvs. med en långvågig strålning den i sin tur absorberas i de sk. Växthusgaserna och hindrar den långvågiga strålningen att stråla ut till rymden.



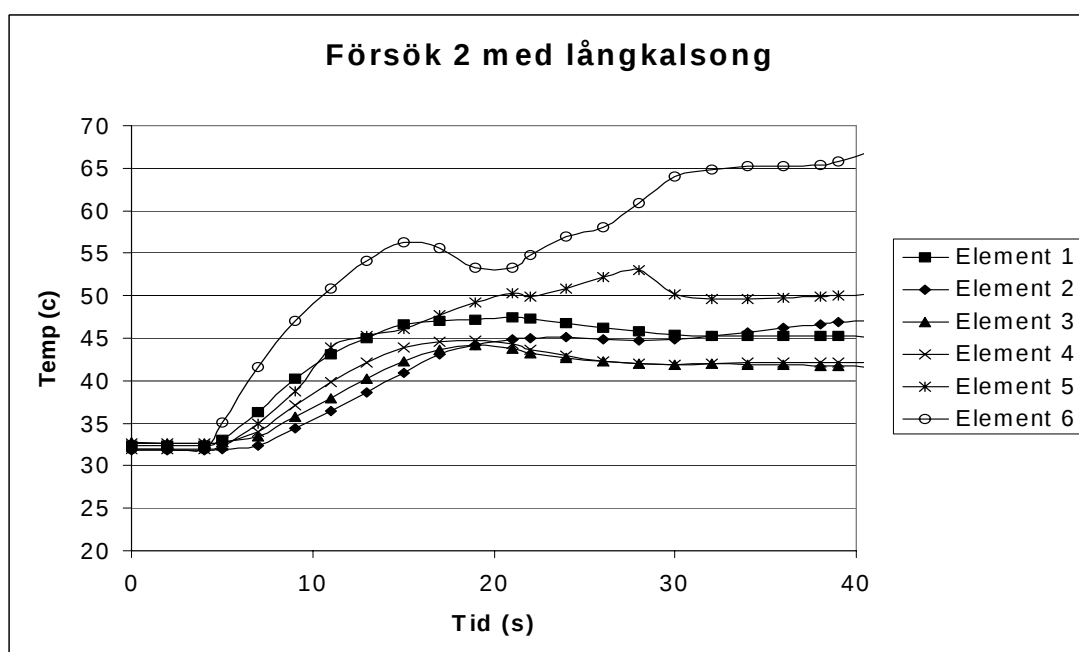
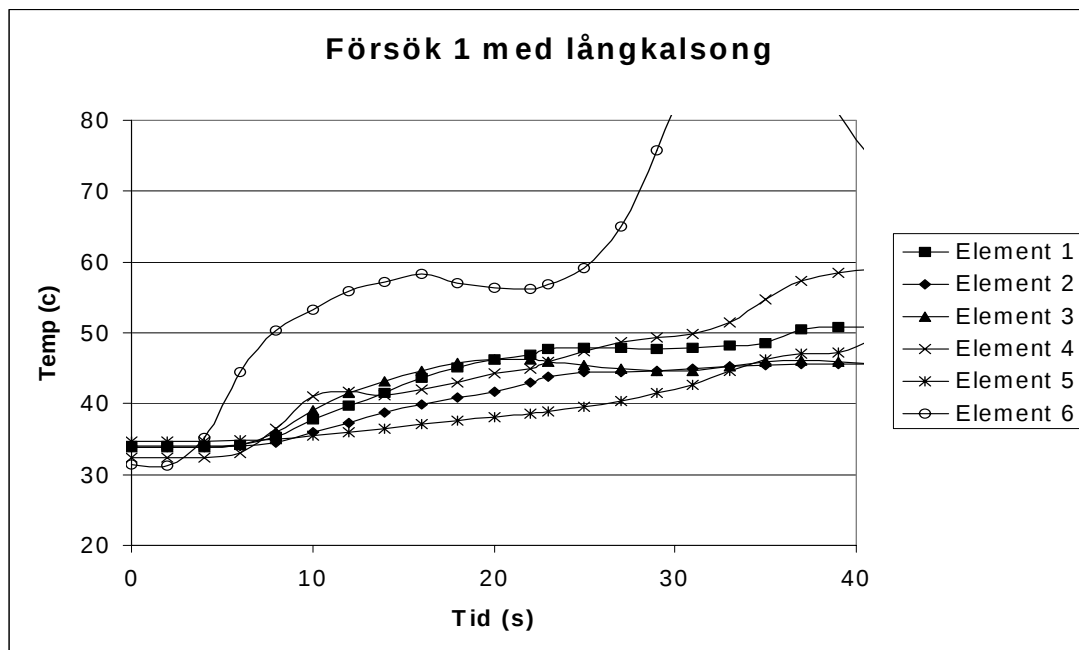
Bild 9: växthuseffekten

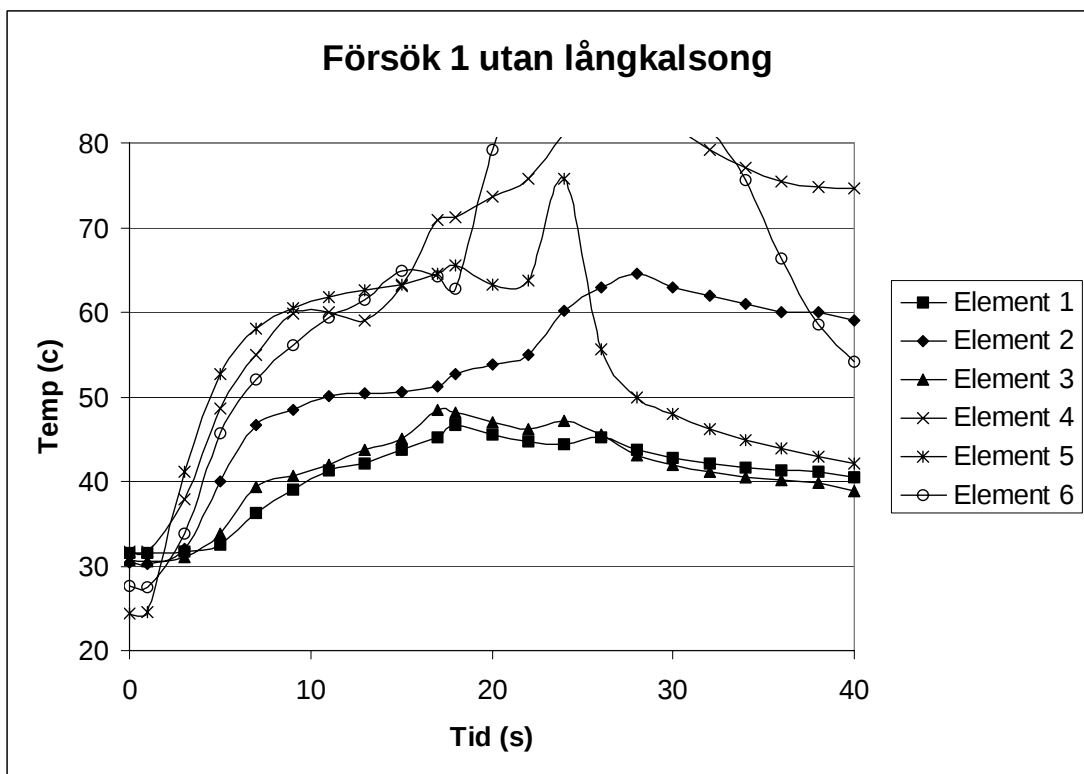
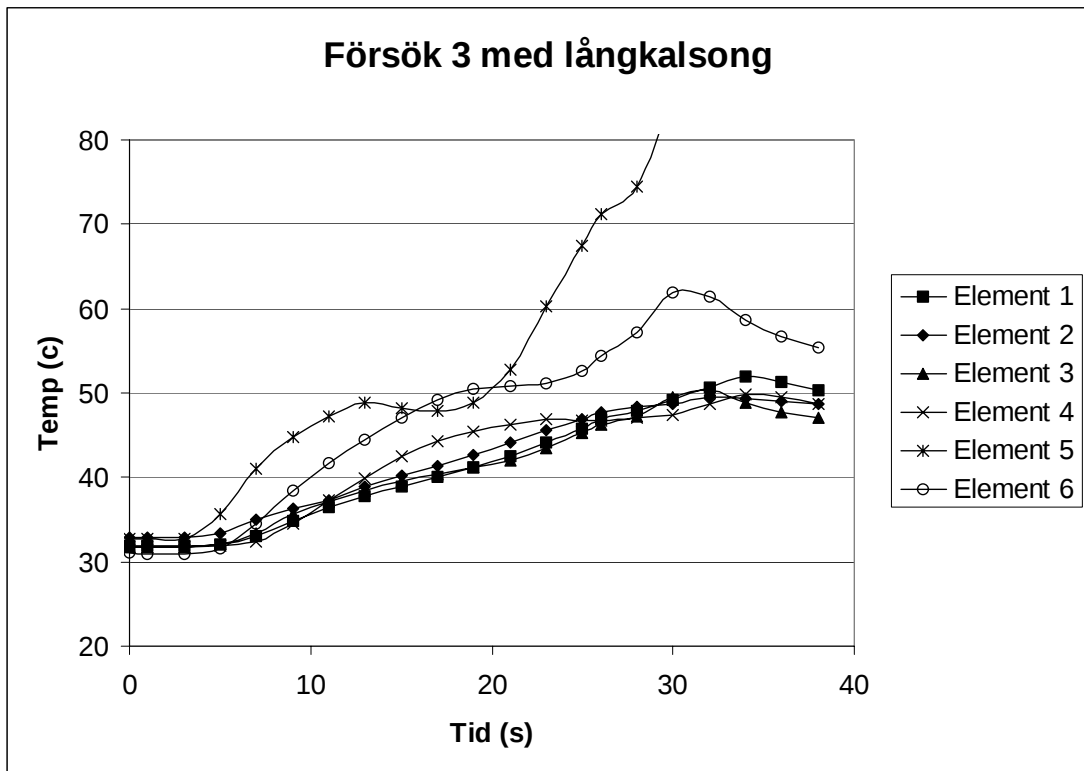
Om denna process inte skulle finnas till så skulle jordens medeltemperatur sjunka drastiskt. Växthusgaserna består främst av vattenånga, koldioxid, metan, ozon och kväveoxidföreningar. Dock så finns det en stor oro att en ökning av växthusgaserna skulle ge en kraftig höjning av medeltemperaturen på jorden och detta skulle kunna ge stora miljökonsekvenser.

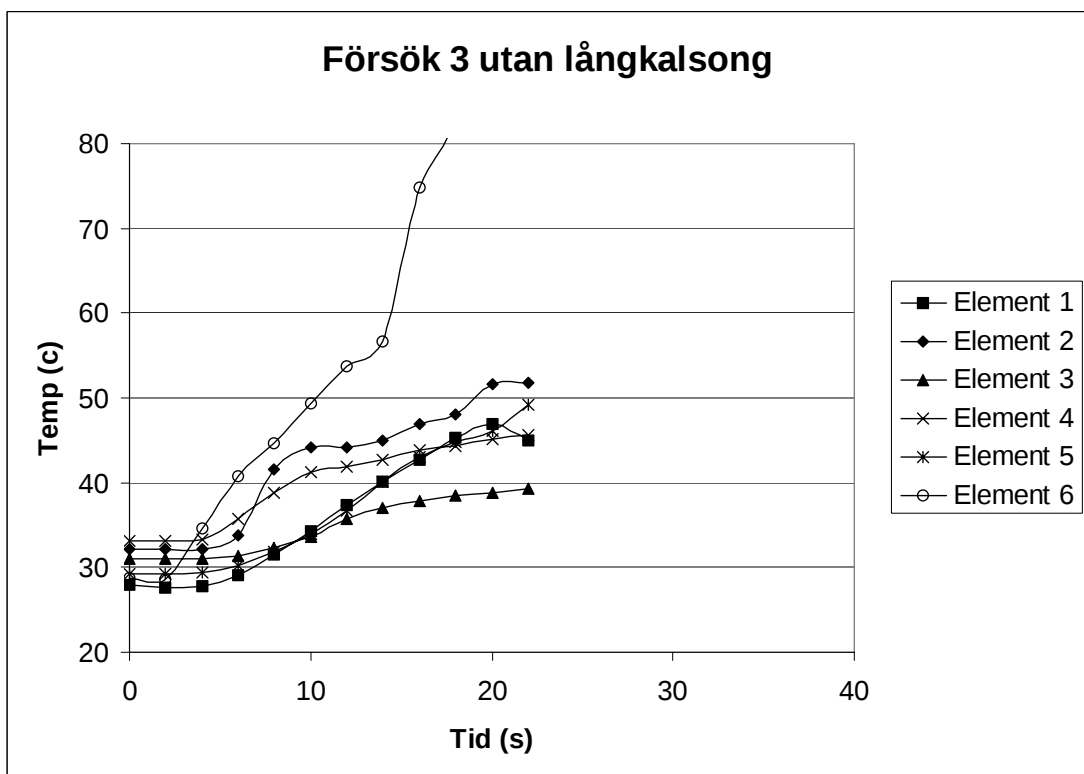
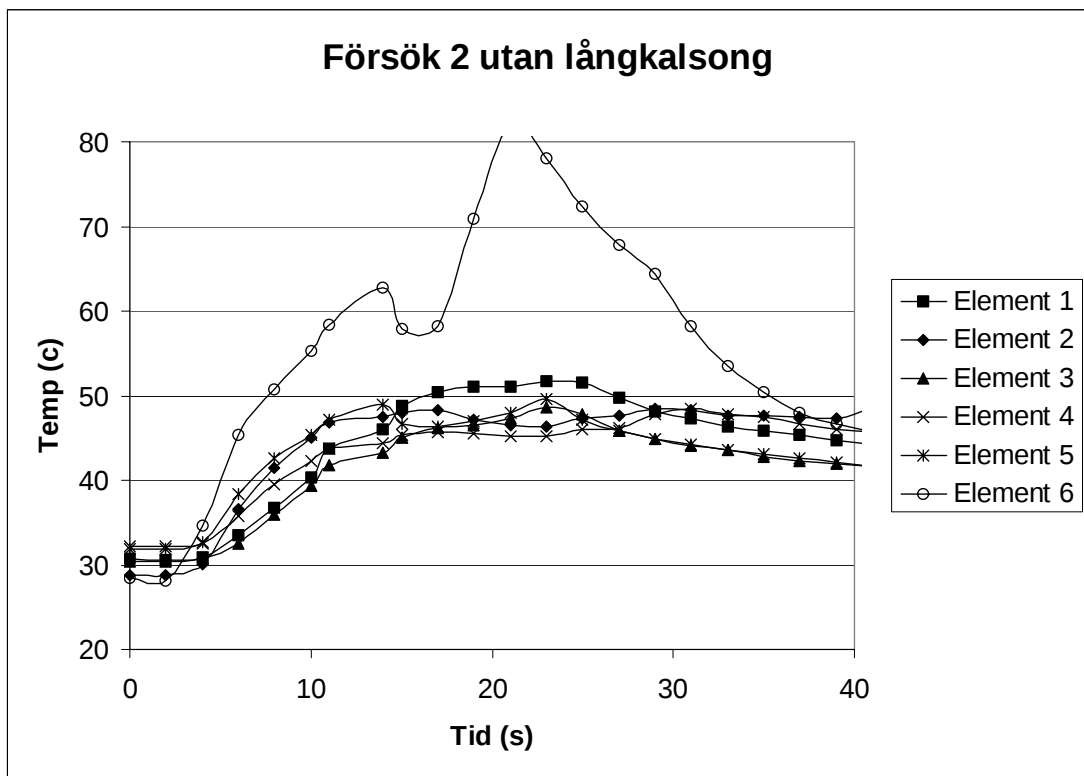
Man har sett en betydande ökning av vissa växthusgaser sedan industrialiseringen på 1700-talet och många forskare tror att detta kommer att leda till stora miljökonsekvenser inom en snar framtid. Eftersom det pågår en het debatt om växthusgasernas problematik och dess inverkan på den globala miljön så har det resulterat i en mängd restriktioner mot att använda ämnen som har växthuseffekt. Man kan anta att det kommer att komma något slags förbud i framtiden mot att använda släckmedel som har en GWP-faktor. Det finns det för närvarande ingen lagstiftning på samma sätt som för ozonnedbrytande gaser, men i framtiden kan det kanske komma restriktioner mot dessa också.

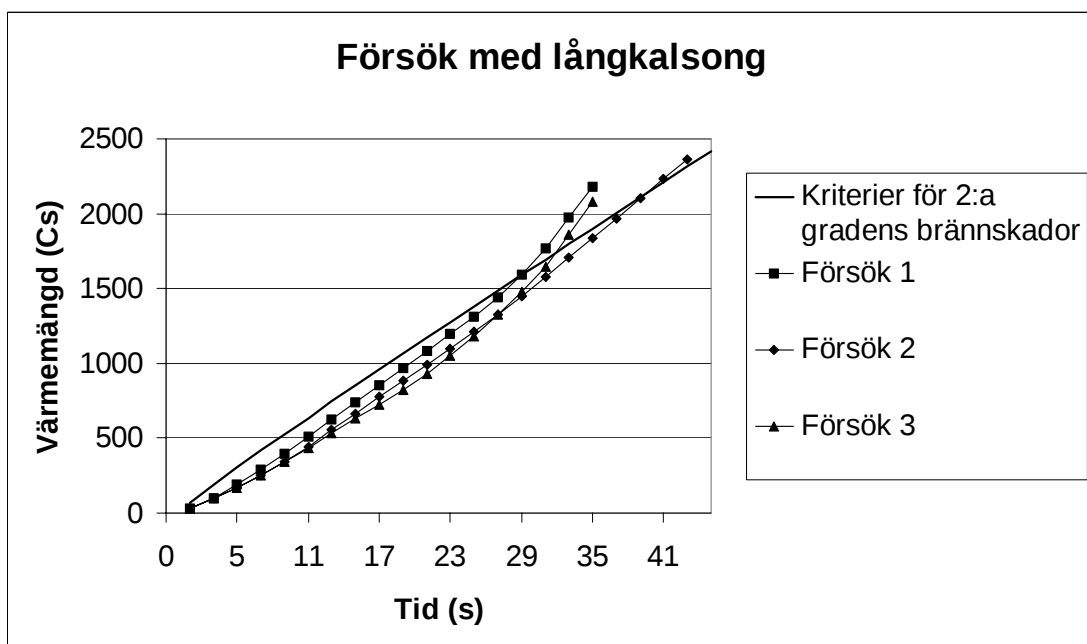
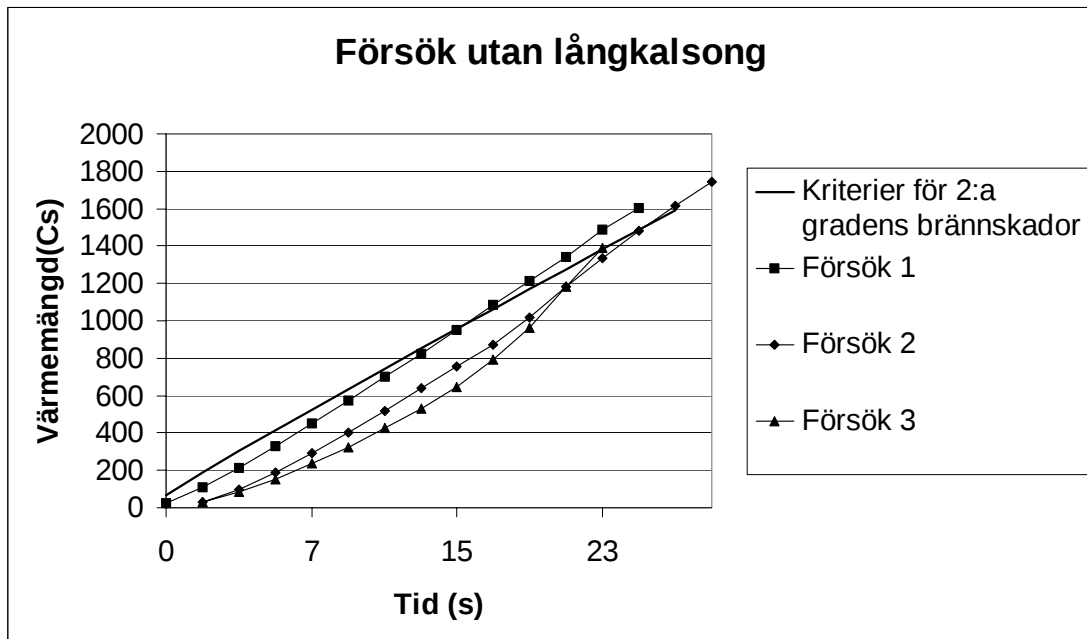
6.3 Bilaga 3 Brännskadeförsök

I denna bilaga presenteras resultaten, i diagramform, från brännskadeförsöken med uniformsbyxa M-90. De första sex diagrammen visar mätresultat (temperaturer) och de två sista visar integrerade doser jämfört med kriterier för andra gradens brännskador.

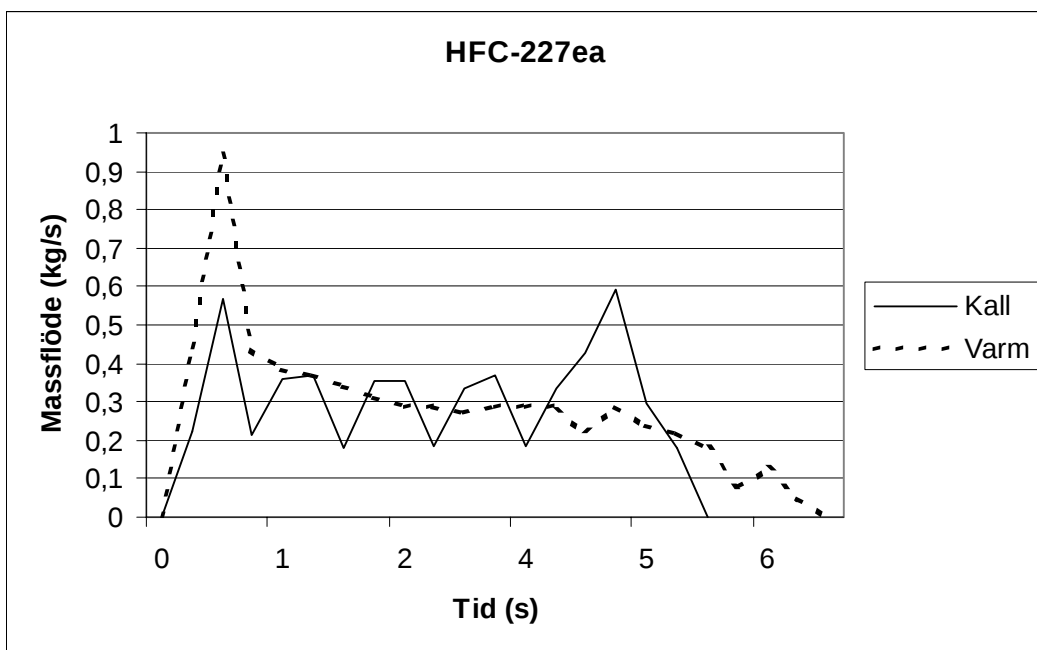
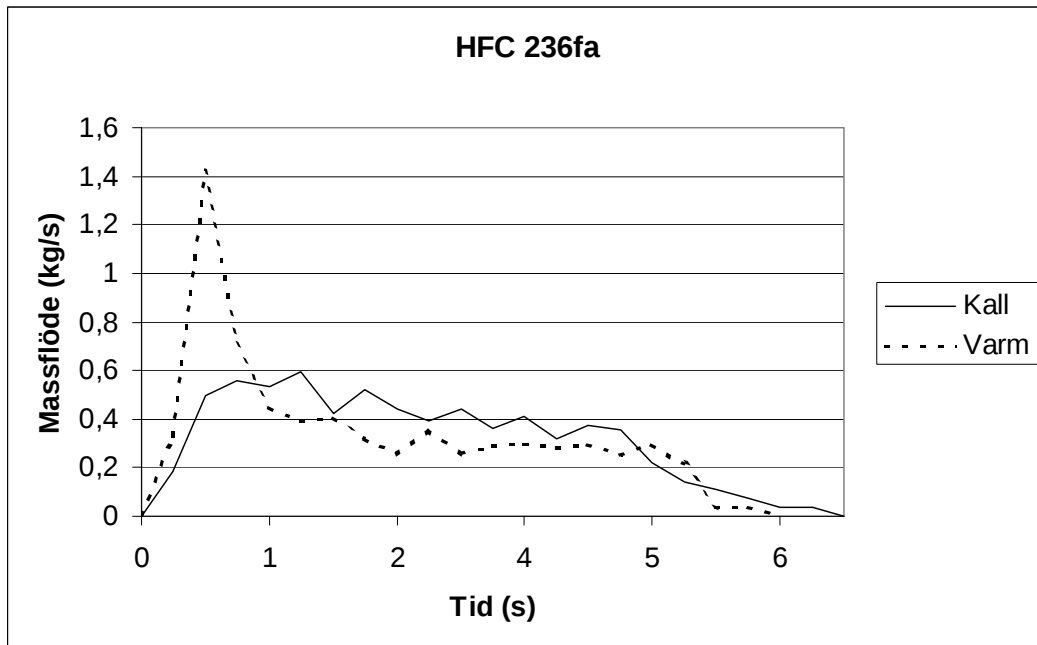


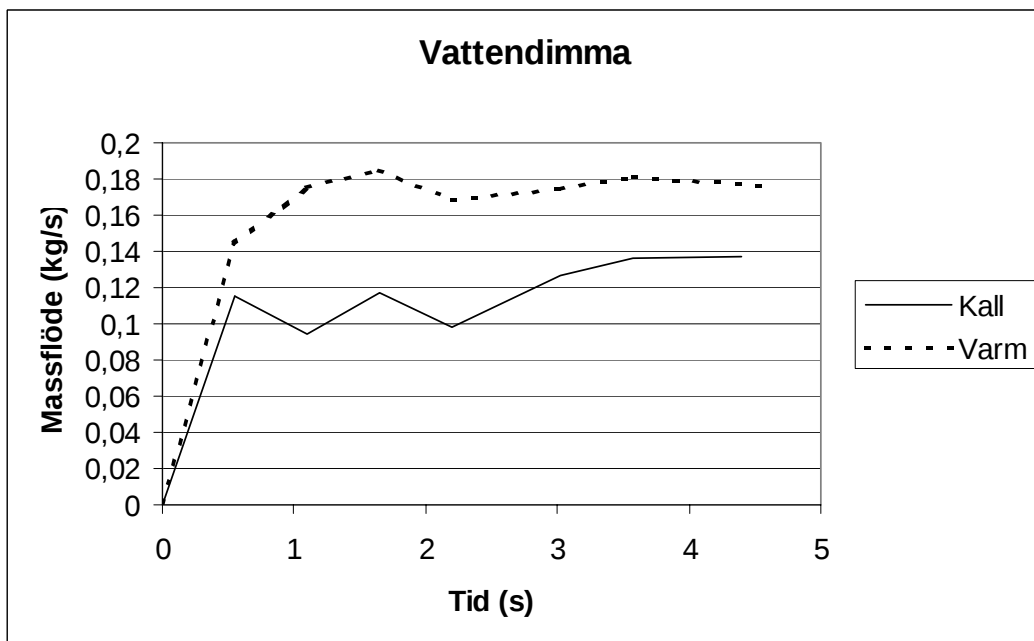
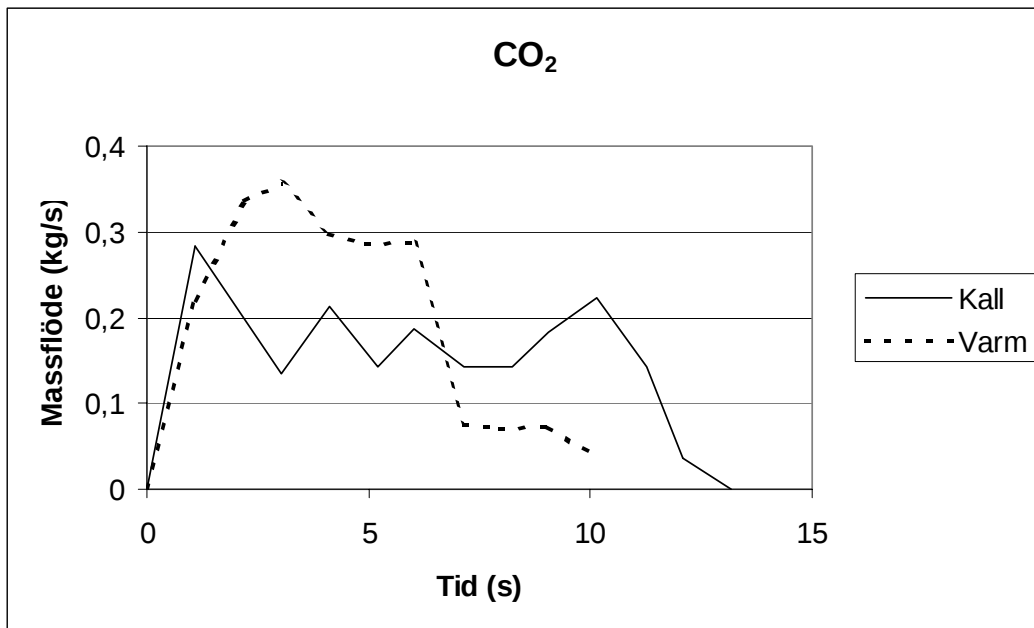






6.4 Bilaga 4 Effunk test







6.5 Bilaga 5 resultat HF mätningar



RAPPORT

REPORT

Lunds Universitet
Brandteknik
Sven Ingvar Granenmark
Box 118
221 00 Lund

Handledare eller Projektförstärkt: Benny Lyvén, Kemi och Materialteknik, bl
+46 33 16 52 58 Benny.lyven@sp.se
Datum / Dato: 2002-11-15
Beteckning / Referens: P2 22761
Skala / Skala: 1 (1)

Bestämning av fluorid i absorberlösningar

Uppdrag och Föremål

Bestämning av fluorid (F) i absorberlösningar.

Analyzörarnam: Vecka 46 2002
Ankom SP: Vecka 46 2002

Metoder

Fluorid (F) bestäms med jonkromatografi

Resultat

Prov ID	F (mg/l)
Försök1 Flaska1	72
Försök2 Flaska1	126
Försök3 Flaska1	24
Försök4 Flaska1	12
Försök5 Flaska1	27
Försök6 Flaska1	56
Försök7 Flaska1	38
Försök8 Flaska1	15
Försök9 Flaska1	21
Försök10 Flaska1	44
Försök11 Flaska1	60
Försök12 Flaska1	25
Försök13 Flaska1	22
Försök14 Flaska1	21
Försök15 Flaska1	25
Försök16 Flaska1	30
Försök17 Flaska1	19
Försök18 Flaska1	11

Prov ID	F (mg/l)
Försök1 Flaska2	1,5
Försök2 Flaska2	6,3
Försök3 Flaska2	3,3
Försök4 Flaska2	2,8
Försök5 Flaska2	2,7
Försök6 Flaska2	7,9
Försök7 Flaska2	17
Försök8 Flaska2	9,2
Försök9 Flaska2	6,6
Försök10 Flaska2	14
Försök11 Flaska2	43
Försök12 Flaska2	18
Försök14 Flaska2	16
Försök15 Flaska2	12
Försök16 Flaska2	23
Försök17 Flaska2	10

SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut
Organisk analytisk kemi

Benny Lyvén
Teknisk Ansvarig

Per-Olof Magnusson
Teknisk Handläggare



RAPPORT

REPORT

Lunds Universitet
Brandteknik
Sven-Ingvär Granemark
Box 118
221 00 Lund

Beställare, enbör /Handled by: Användare

Benny Lyvén, Kemi och Materialteknik, bl
+46 33 16 52 68 Benny.Lyven@sp.se

Datum / Date

2002-11-28

Beteckning / Reference

F2 22761:B

Sida / Page

1 (1)

Bestämning av fluorid i absorbentlösningar

Uppdrag och föremål

Bestämning av fluorid (F⁻) i absorbentlösningar.

Analysdatum:

Vecka 48 2002

Ankom SP

Vecka 47 2002

Metoder

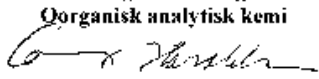
Fluorid (F⁻) bestämdes med jonkromatografi.

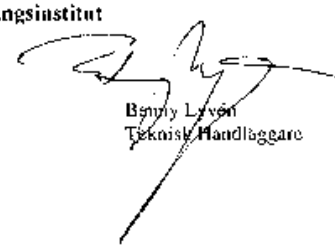
Resultat

Prov ID	F (mg/l)
Försök19	27
Försök20	9,8

SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut

Organisk analytisk kemi


Conny Haraldsson
Teknisk Ansvarig


Benny Lyvén
Teknisk Handläggare

6.6 Bilaga 6 Beräkning av HF-halter i brandgaser

I resultaten från SP/bilaga 5/ är fluoridhalten redovisad som mg per liter absorbentlösning. Inledningsvis multipliceras fluoridhalten med volymen absorbentlösning i flaskorna för att erhålla mängden fluorid, uttryckt i mg, i varje flaska varefter mängden fluorid i flaska 1 och flaska 2 adderats till en totalmängd. Därefter har antagandet att all fluorid i absorbentlösningen är HF gjorts, ett antagande vars rimlighet stöds av Benny Lyvén på SP som utfört analysen av absorbentlösningen. För att erhålla mängden HF har totalmängden fluorid multiplicerats med 20/19, vilket är förhållandet mellan HF och fluorid. Mängden HF har sedan dividerats med volymen brandgaser som pumpats genom flaskorna för att erhålla halten HF, uttryckt i mg/l, i dessa gaser. Därefter har HF-halten multiplicerats med 1000 för att få halten uttryckt i mg/m³. Slutligen har halten uttryckts i ppm enligt formeln/4/, vilken är giltig vid 20 °C:

$$(\text{Halt i mg/m}^3) = \frac{(\text{Molmassa i g/mol})}{24,1 \text{ l/mol}} \cdot (\text{Halt i ppm})$$

De olika stegen i beräkningarna kan studeras nedan:

Försök nr.	Släckmedel	Bränsle	Fluorid (mg/l)			Absorbent-lösning (l)	Fluorid (mg)		
			Flaska 1	Flaska 2	Flaska 1+2		Flaska 1	Flaska 2	Flaska 1+2
1	HFC 236fa	T-röd	72	1,5	73,5	0,1	7,2	0,15	7,35
2	HFC 227ea	T-röd	126	6,3	132,3	0,1	12,6	0,63	13,23
3	CO ₂	T-röd	24	3,3	27,3	0,1	2,4	0,33	2,73
4	Släckvätska	T-röd	12	2,8	14,8	0,1	1,2	0,28	1,48
5	HFC 236fa	T-röd	27	2,7	29,7	0,1	2,7	0,27	2,97
6	HFC 227ea	T-röd	56	7,9	63,9	0,1	5,6	0,79	6,39
7	CO ₂	T-röd	38	17	55	0,1	3,8	1,7	5,5
8	Släckvätska	T-röd	15	9,2	24,2	0,1	1,5	0,92	2,42
9	HFC 236fa	Heptan	30	6,6	36,6	0,1	3	0,66	3,66
10	HFC 227ea	Heptan	44	14	58	0,1	4,4	1,4	5,8
11	CO ₂	Heptan	60	43	103	0,1	6	4,3	10,3
12	Släckvätska	Heptan	25	18	43	0,1	2,5	1,8	4,3
13	Referensgas	Heptan	22	16	38	0,1	2,2	1,6	3,8
14	HFC 236fa	Heptan	21	12	33	0,1	2,1	1,2	3,3
15	HFC 227ea	Heptan	25	23	48	0,1	2,5	2,3	4,8
16	CO ₂	Heptan	30	10	40	0,1	3	1	4
17	Släckvätska	Heptan	19		19	0,05	0,95	0	0,95
18	Ej släckmedel	Heptan	11		11	0,05	0,55	0	0,55
19	Vattendimma	T-röd	27		27	0,05	1,35	0	1,35
20	Vattendimma	Heptan	9,8		9,8	0,05	0,49	0	0,49

Ersättning av halonhandbrandsläckare i stridsfordon

HF (mg)			Pumpade	HF i brandgaser					
Flaska 1	Flaska 2	Flaska 1+2	brandgaser (l)	(mg/l) 1	(mg/l) 2	(mg/l) 1+2	(mg/m ³) 1	(mg/m ³) 2	(mg/m ³) 1+2
7,578947368	0,157894737	7,736842105	7	1,082706767	0,022556391	1,105263158	1082,706767	22,55639098	1105,263158
13,26315789	0,663157895	13,92631579	7	1,894736842	0,094736842	1,989473684	1894,736842	94,73684211	1989,473684
2,526315789	0,347368421	2,873684211	7	0,360902256	0,04962406	0,410526316	360,9022556	49,62406015	410,5263158
1,263157895	0,294736842	1,557894737	7	0,180451128	0,042105263	0,222556391	180,4511278	42,10526316	222,556391
2,842105263	0,284210526	3,126315789	7	0,406015038	0,040601504	0,446616541	406,0150376	40,60150376	446,6165414
5,894736842	0,831578947	6,726315789	7	0,842105263	0,118796992	0,960902256	842,1052632	118,7969925	960,9022556
4	1,789473684	5,789473684	7	0,571428571	0,255639098	0,827067669	571,4285714	255,6390977	827,0676692
1,578947368	0,968421053	2,547368421	7	0,22556391	0,138345865	0,363909774	225,5639098	138,3458647	363,9097744
3,157894737	0,694736842	3,852631579	7	0,45112782	0,09924812	0,55037594	451,1278195	99,2481203	550,3759398
4,631578947	1,473684211	6,105263158	7	0,661654135	0,210526316	0,872180451	661,6541353	210,5263158	872,1804511
6,315789474	4,526315789	10,84210526	7	0,902255639	0,646616541	1,54887218	902,2556391	646,6165414	1548,87218
2,631578947	1,894736842	4,526315789	7	0,37593985	0,270676692	0,646616541	375,9398496	270,6766917	646,6165414
2,315789474	1,684210526	4	7	0,330827068	0,240601504	0,571428571	330,8270677	240,6015038	571,4285714
2,210526316	1,263157895	3,473684211	6	0,368421053	0,210526316	0,578947368	368,4210526	210,5263158	578,9473684
2,631578947	2,421052632	5,052631579	6	0,438596491	0,403508772	0,842105263	438,5964912	403,5087719	842,1052632
3,157894737	1,052631579	4,210526316	6	0,526315789	0,175438596	0,701754386	526,3157895	175,4385965	701,754386
1	0	1	5,5	0,181818182	0	0,181818182	181,8181818	0	181,8181818
0,578947368	0	0,578947368	5,5	0,105263158	0	0,105263158	105,2631579	0	105,2631579
1,421052632	0	1,421052632	5,5	0,258373206	0	0,258373206	258,3732057	0	258,3732057
0,515789474	0	0,515789474	5,5	0,093779904	0	0,093779904	93,77990431	0	93,77990431

HF i brandgaser		
(ppm) 1	(ppm) 2	(ppm) 1+2
1304,661654	27,18045113	1331,842105
2283,157895	114,1578947	2397,315789
434,887218	59,79699248	494,6842105
217,443609	50,73684211	268,1804511
489,2481203	48,92481203	538,1729323
1014,736842	143,1503759	1157,887218
688,5714286	308,0451128	996,6165414
271,8045113	166,7067669	438,5112782
543,6090226	119,593985	663,2030075
797,2932331	253,6842105	1050,977444
1087,218045	779,1729323	1866,390977
453,0075188	326,1654135	779,1729323
398,6466165	289,924812	688,5714286
443,9473684	253,6842105	697,6315789
528,5087719	486,2280702	1014,736842
634,2105263	211,4035088	845,6140351
219,0909091	0	219,0909091
126,8421053	0	126,8421053
311,3397129	0	311,3397129
113,0047847	0	113,0047847

6.7 Bilaga 7 Temperaturmätningar containerförsök

Försök nr.	Släckmedel	Bränsle	Temperatur
1	HFC 236fa	T-röd	30
2	HFC 227ea	T-röd	30
3	CO ₂	T-röd	28
4	Släckvätska	T-röd	25
5	HFC 236fa	T-röd	30
6	HFC 227ea	T-röd	30
7	CO ₂	T-röd	30
8	Släckvätska	T-röd	30
9	HFC 236fa	Heptan	25
10	HFC 227ea	Heptan	25
11	CO ₂	Heptan	25
12	Släckvätska	Heptan	25
13	Referensgas	Heptan	25
14	HFC 236fa	Heptan	25
15	HFC 227ea	Heptan	25
16	CO ₂	Heptan	25
17	Släckvätska	Heptan	25
18	Ej släckmedel	Heptan	25
19	Vattendimma	T-röd	25
20	Vattendimma	Heptan	25

6.8 Bilaga 8 Något om gränsvärden

För att enklare kunna bedöma hur giftigt ett visst ämne är använder man sig ofta av så kallade gränsvärden. De i Sverige vanligast förekommande är nivågränsvärde (NGV) respektive takgränsvärde (TGV) vilka fastställs av Arbetsmiljöverket, en sammanslagning av tidigare Arbetarskyddsstyrelsen och Yrkesinspektionen. Båda anger högsta godtagbara genomsnittshalt av en luftförorening i inandningsluften, NGV beaktar exponering under en arbetsdag medan TGV avser exponering under 15 minuter. Även benämningen korttidsvärde (KTV) används av Arbetsmiljöverket och är ett rekommenderat värde som utgörs av ett tidsvägt medelvärde för exponering under en referensperiod av 15 minuter. KTV är en rekommendation medan NGV och TGV har status av hygieniska gränsvärden (AFS 2000:3).

Ett annat värde är det så kallade LC50-värdet (Leathal Concentration(50)). LC50 anger den koncentration av en kemikalie i luften vid vilken hälften (50%) av en population förväntas avlida. NOAEL och LOAEL är två andra vanligt förekommande värden. LOAEL (Lowest-Observed-Adverse-Effect Level) anger den lägsta nivå av en kemikalie som genererar någon signifikant skadlig effekt medan NOAEL (No-Observed-Adverse-Effect Level) anger en nivå där inga signifikanta effekter som kan anses vara skadliga kan konstateras /34/.

Ytterligare ett värde är IDLH (Immediately Dangerous to Life and Health) vilket fastställs av National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) i USA. Vissa yrkesgrupper vistas i miljöer där andningsskydd behövs och IDLH-värdena används som urvalskriterier då kvaliteten på andningsskydd skall fastställas. IDLH gäller för exponering under 30 minuter och för luftburna föroreningar. På 30 minuter anses en arbetare hinna sätta sig i säkerhet om andningsskyddet fallerar, trots ögonirritation och andra orienteringshämmande effekter från det aktuella ämnet. Definitionen för "*an immediately dangerous to life or health condition*" anges som en situation "*that poses a threat of exposure to airborne contaminants when that exposure is likely to cause death or immediate or delayed permanent adverse health effects or prevent escape from such an environment.*" /11/. På svenska bör detta kunna översättas till förhållanden där exponering kan medföra död eller omedelbara eller fördröjda permanenta skadliga hälsoeffekter eller förhindra förflyttning ut ur den aktuella miljön..

American Industrial Hygiene Association (AIHA) i USA fastställer Emergency Response Planning Guidelines (ERPG). Dessa är riktade till räddningstjänstpersonal och är ett mått på den luftburna koncentration under vilken en person efter en timmes exponering kan erhålla symtom av förgiftning. Tre nivåer finns. ERPG-1 är den maximala koncentration för vilken de flesta personer kan vistas upp till en timme utan att erhålla mer än lindriga och reversibla symtom. ERPG-2 är den maximala koncentration för vilken de flesta personer kan vistas upp till en timme utan att erhålla irreversibla och/eller allvarliga skador eller symtom som förhindrar personer

att vidta skyddsåtgärder. ERPG-3 är den maximala koncentration för vilken de flesta personer kan vistas upp till en timme utan att erhålla dödliga symtom/skador /23/.

Det kan vara värt att konstatera att NGV, TGV, KTV, IDLH och ERPG-1 – 3 är värden fastställda eller rekommenderade av myndigheter medan de övriga kan fastställas av den som genomför en studie. Studier genomförs oftast på djur varefter de observerade nivåerna görs relevanta för människor, till exempel genom att beakta skillnader i kroppsvikt och lungvolym mellan försöksdjur och människa. Då olika djur är olika känsliga för samma ämne, och känsligheten också varierar hos människor, kan inte nivåerna anses vara den exakta sanningen. Flera studier har också genomförts under åren och resultaten är inte alltid de samma, varför till exempel olika LOAEL-värden för ett och samma ämne kan förekomma i litteraturen.

6.9 Bilaga 9 Något om egentoxicitet

Nedan följer ett försök att beräkna släckmedlens egentoxicitet i händelse av att en respektive tre släckare utlöses i ett stridsfordon. Läsaren bör beakta att ett flertal förenklingar görs jämfört med verkligheten, därför kan resultatet ses mer som ett diskussionsunderlag än en beskrivning av vad som verkligen händer. Vattendimma och släckvätska är inte medtagna här, vattendimma då den inte är farlig och släckvätskan då den inte är en gas. Försvarsmakten har för avsikt att använda släckare med samma dimensioner för en framtida ersättare för halonet, detta för att undvika kostnader för ombyggnad av släckarnas hållare och/eller stridsfordonens utrymmen. Behållaren i Försvarsmaktens 1,5-kilos halonsläckare rymmer 1,2 liter. Denna är fylld med 1,5 kilo halon 1211 och sedan trycksatt med kvävgas till 1,5 Mpa /33/. Då halon 1211 har en densitet på 1810 kg/m³ i vätskefas /14/ kan fyllnadsgraden, andelen släckmedel i behållaren, beräknas till 70% eller 0,83 liter. Denna fyllnadsgrad antas gälla för samtliga ersättningsalternativ som utvärderas nedan. Med ledning av fyllnadsgraden och släckmedlens densiteter beräknas sedan massan släckmedel i behållaren för varje släckmedel. Denna massa släckmedel antas sedan, då släckaren utlöses, bli jämt fördelad i stridsfordonet, en volym om 15m³. Det antas också att allt släckmedel kvarstannar i fordonet och vidare antas att stridsfordonet är så pass otätt att eventuellt övertryck snabbt utjämnas. Koncentrationen släckmedel kan sedan enkelt omvandlas från mg/m³ till ppm genom att använda formeln nedan/4/, giltig vid 20 °C.

$$(\text{Halt i mg/m}^3) = \frac{(\text{Molmassa i g/mol})}{24,1 \text{ l/mol}} \cdot (\text{Halt i ppm})$$

Släckmedel	Densitet _(vätska) /kg•m ⁻³	Massa i behållare/kg	Släckmedelskonc./mg•m ⁻³
HFC 236fa	1201*	0,996	66,4•10 ³
HFC 227ea	1153*	0,956	63,7•10 ³
CO ₂	720	0,597	39,8•10 ³

* Maximal densitet i kärl trycksatt med kväve till 25 bar vid 21°C /14/

Släckmedel	Släckmedelskoncentration/ppm	
	1 släckare utlöst	3 släckare utlösta
HFC 236fa	10525	31575
HFC 227ea	9028	27084
CO ₂	21795	65385

Resultaten indikerar att vare sig en eller tre släckare ger farligt höga koncentrationer om de utlöses i stridsfordonet.