

Släckmedel och släcksystem, alternativ för nutida och framtida stridsfartyg

Thorleif Olausson

**Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden**

**Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet**

Report 5057, Lund 2000

**Släckmedel och släcksystem,
alternativ för nutida och framtida stridsfartyg**

Thorleif Olausson

Lund 2000

Släckmedel och släcksystem, alternativ för nutida och framtida stridsfartyg

Thorleif Olausson

Report 5057

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB—5057--SE

Number of pages: 102

Illustrations: Thorleif Olausson

Keywords

släckmedel, släcksystem, fartyg, konkalorimeter, HSLAB, FREIA, skrovmaterial, värmeledning

Abstract

An inventory and analysis of extinguishing agents and systems. A quantitative analysis of the weight of the systems and of the damage on hull material for different fire scenarios. Tests have been carried out in cone calorimeter and simulations in HSLAB and FREIA:

Författaren svarar för innehållet i rapporten.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2000.

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
Telefax: 046 - 222 46 12

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
Fax: +46 46 222 46 12

SAMMANFATTNING

Sedan årsskiftet 1997-98 är alla fasta installationer med haloner förbjudna undantaget ett fåtal som har dispens. Därmed är flera mycket effektiva och vanliga släckmedel inte längre tillåtna. Nya fartyg och redan existerande fartyg måste nu och i framtiden utrustas med andra släckmedel än haloner.

Syftet med arbetet är att utifrån lagar, normer och Försvarets Materielverks, FMV's, kriterier för örlogsfartyg inventera, granska och utvärdera nutida och eventuella framtida släckmedel och släcksystem som är aktuella för fartyg. Två större frågeställningar skall arbetet försöka besvara.

- Vikt för släckmedel samt vikt och volymanspråk för släcksystem?
- Skadenivå på skrovmaterial p.g.a. värme- och strålningspåverkan kopplat till två dimensionerande brandscenario för de olika släcksystemen?

Arbetet har utförts i olika delmoment. Först inventerades släckmedlen och släcksystemen och ett urval gjordes därur. Därefter studerades regelverk och normer för släcksystem till fartyg. Ett besök på objektet utfördes. Statistik över tillbud studerande för att ta fram dimensionerande bränder. Sedan följde bestämning av skrovmaterialens värmeegenskaper genom tester i konkalorimetern och simuleringar i datorprogrammet HSLAB. Modellering av brandförloppen och skadeverkan på skrovmaterial genomfördes med simuleringar i datorprogrammet FREIA. Till sist bestämdes vikt och platsanspråk för systemen via dimensionering enligt regelverk och konsultation med leverantörer inom släckmedelsbranschen.

Testerna av skrovmaterial i konkalorimetern visade att materialet hade bra isolerande egenskaper. Temperaturen steg endast måttligt i mitten av konstruktionen och på baksidan av konstruktionen var temperaturökningen endast en eller ett fåtal grader. Vid försöken varierade den infallande strålningen mellan 10 och 50 kW/m² och strålningspåverkan pågick under 2 till 20 minuter.

Skadekriterierna för skrovmaterial i HSLAB blev att PVC-kärnan skadades när temperaturen i materialet blev ca. 180°C. Detta motsvarar för PVC-materialet precis bakom det exponerade glasfiberskiktet att det kan utstå en strålningsintensitet på 2,5 kW/m² under lång tid. Vid en strålning på 50 kW/m² så klarade sig materialet i 200 sekunder. För att skadan skulle nå till mitten av PVC-kärnan vilket var det andra skadekriteriet så krävdes mer än 9 kW/m² under lång tid eller 20 kW/m² under 50 minuter.

Simuleringarna i FREIA visar att sannolikheten för övertändning är betydligt större för släckmedlen med lång utströmningstid. Skadorna på materialet är relativt små och variationen beroende på vilket släcksystem som finns är liten. Materialet erhåller större skador när långsammare släcksystem är installerade vilket innebär en fördel för de släcksystemen med kort utströmningstid som HFC-gaserna, jämfört med CO₂ och inertgaserna. Det är dock svårt att rättvist jämföra de gasformiga släckmedlen med de vattenbaserade då den kylande effekten är helt olika. Att skillnaden mellan de olika släckmedlen är liten beror på att tiden innan släcksystemen aktiveras är lång i förhållande till utströmningstiden för släckmedlet. En kortare aktiveringstid skulle minska skadorna betydligt och gynna de snabbare släcksystemen i jämförelserna.

Det anses att brandspridning via värmeledning genom skrovmaterialiet inte kommer att ske. Om branden skall sprida sig så måste det troligtvis ske via öppningar eller oisolerade genomföringar. Om det enda kravet för släcksystemet är att branden inte får sprida sig genom konstruktionen så är valet fritt bland de 11 utvalda släcksystemen.

Inget system har så låg vikt och tar upp så liten plats som halon 1301. De mest fördelaktiga systemen därefter är de gasformiga släckmedel som förvaras tryckkondenserade d.v.s. HFC-gaserna och CO₂. Deras vikt är 1,5-2 gånger större än halon. Inertgaserna har vikter som är ca. 5 gånger halonsystemets vikt. För de vattenbaserade släckmedlen är jämförelsen något mer osäker. Vikten för dem varierar mellan 4 och 15 gånger vikten för halon, mycket beroende på vilka tillgångar på färskvatten som önskas.

De vattenbaserade släcksystemens oförmåga att släcka vissa typer av täkta bränder skall vägas mot deras förmåga att kyla omgivande konstruktioner vilket minskar skadorna. Släckmedlens toxiska verkan är också av betydelse för att kunna utföra framtida system helautomatiska även i bemannade utrymmen. I detta hänseende har de vattenbaserade släcksystemen en klar fördel. Att HFC-gaserna är växthusgaser skall också tas i beaktande. Eventuella framtida restriktioner i användandet av sådana medel kan komma till stånd.

SUMMARY

Since January 1st 1998, are all stationary installations with halons forbidden except a few that has got exemption. Because of this, several very efficient and ordinary extinguishing agents are no longer allowed. All ships, new and existing, are forced to be supplied with other extinguishing agents then halon from the above date.

The purpose of this work is from regulations, standards and criteria's formed by FMV for warships inventory, check and evaluate extinguishing agents and systems of today and ones that could be possible for warships in the future. Two major questions are to be answered by this work.

- The weight of extinguishing agents and also weight and required space for extinguishing systems?
- Level of damage on hull material caused by heat and radiation from two designs fire scenarios for the different extinguishing systems?

The work has been carried out in different parts. First was an inventory made. From the inventory were several suitable extinguishing agents and systems selected to be further evaluated. Then were studies on regulations and standards for extinguishing agents on warships carried out. A visit to one of the ships was made and statistics was studied to create potential fire scenarios. Based on this were the dimensioning fires created. An evaluation of the heat characteristics for the hull material determined through tests in the cone calorimeter and simulations in the computer program HSLAB. The fire scenarios and the damage on the hull material were modelled in the computer program FREIA. At last the weight and required space for the systems were found from dimensioning calculations by the regulations and consulting with people in the business of extinguishing agents.

The tests in the cone calorimeter showed that the material had good isolating properties. The temperature increased by a modest value in the middle of the construction. On the backside of the construction was the increase in temperature only one or a few degrees. At the tests was the radiation varied between 10 and 50 kW/m² and the effect of the radiation remained for 2 to 20 minutes.

The criteria's for the damage on the hull material in HSLAB were found out to be that the PVC material was damaged when it reached the temperature of 180°C. This corresponds to for the PVC material just behind the sheet of glassfibre exposed to the fire, that it could withstand a radiation of 2,5 kW/m² for a very long time. With a radiation of 50 kW/m² the material could hold out for 200 seconds. If the damage should reach the middle of the construction, which was the second criteria of damage, then it requires more then 9 kW/m² for a very long time or 20 kW/m² for 50 minutes.

The simulations in FREIA show that the probability for flashover increases greatly for extinguishing agents with long discharge time. The damages of the material are relatively small and the variation for the different extinguishing systems are small. The material receives greater damages when extinguishing systems with longer discharge time are installed which gives the faster extinguishing systems such as HFC compounds a benefit compared with CO₂. However it is hard to make a fair comparison of the extinguishing agents in gaseous state with the ones based on water because of the difference in the cooling effect. The difference in damage between the

different extinguishing agents is small because of the time before the extinguishing systems are activated are long compared to the time for the agent to discharge. A shorter time of activation should seriously decrease the damages and gain the faster extinguishing systems compared to the slower ones.

It is generally considered that fire spread through the hull material from heat transfer will not occur. If the fire is going to spread it has to be done through openings or through penetrations that are not well sealed. If the only criteria for the extinguishing systems is that the fire are not allowed to spread throw the construction, then the choice is free between the 11 extinguishing systems that are described.

None of the systems has such low weight and requires such small space as halon 1301. The most efficient systems after halon are extinguishing agents in gases form which are kept as liquid by pressure i.e. HFC compounds and CO₂. Their weights are 1,5-2 times higher then halon. Inert gases have weights that are 5 times higher then the systems with halon. For the extinguishing agents based on water it is more uncertain to compare. The weights for these systems varies between 4 and 15 times the weight of halon, depending on how great supply of freshwater that are desired.

The incapability to extinct some types of fires with obstacle for extinguishing systems that are based on water, should be weigh against their ability to cool surrounding constructions which decreases the damages. The toxicity of the extinguishing agents is also important if the systems in the future are to be operated automatically in occupied spaces. Whit this aspect the water based extinguishing systems has a major benefit. It is also important to know that the HFC compounds have global warming potential. Future restrictions in the use of such agents can be reality.

FÖRORD

Jag vill tacka mina handledare professor Göran Holmstedt vid Brandteknik, Thomas Hermodsson, Björn Egman och Pontus Nordberg på FMV. Jag vill också tacka Gert Borg, FMV för information om fartygen, Bengt Lyderson, Sjöfartsverket för hjälp med regelverken, samt berörda personer på Svenska Skum AB och Marioff Skandinavien AB för information om släcksystemen.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	3
1.1	BAKGRUND	3
1.2	SYFTE.....	3
1.3	METOD.....	3
1.4	AVGRÄNSNINGAR.....	4
1.5	BEGRENSNINGAR	4
1.6	RAPPORTENS STRUKTUR.....	4
2	OBJEKTSBESKRIVNING	5
2.1	KONSTRUKTION.....	5
2.2	VERKSAMHET.....	5
2.3	BRANDSKYDD	6
3	REGELVERK	9
3.1	LAGAR OCH FÖRORDNINGAR	9
3.2	KUNGÖRELSER	9
3.3	NORMER.....	9
4	SLÄCKMEDELSBESKRIVNING	11
5	KRITERIER OCH BEDÖMNINGSGRUNDER	13
5.1	SLÄCKEGENSKAPER	13
5.2	SKYDDSNIVÅ.....	13
5.3	VIKT OCH PLATSBEHOV	14
5.4	INSTALLATION.....	14
5.5	SÅRBARHET.....	14
5.6	DETEKTIONSSYSTEM	14
5.7	RENHET	14
5.8	KORROSION.....	14
5.9	TOXICITET	15
5.10	ELEKTRISK LEDNINGSFÖRMÅGA.....	15
5.11	TEMPERATUROMRÅDE.....	15
5.12	UTRYMNING	15
5.13	MILJÖPÅVERKAN.....	16
6	VIKT OCH PLATSANSPRÅK	17
7	BRANDSCENARIER	21
7.1	STATISTIK.....	21
7.2	DIMENSIONERANDE BRAND.....	21
7.3	BRANDFÖRLOPP	23
8	ANALYS AV SKROVMATERIAL I KONKALORIMETER OCH HSLAB	27
8.1	FÖRSÖKSUPPSTÄLLNING OCH UTFÖRANDE AV KONKALORIMETERFÖRSÖK.....	27
8.2	RESULTAT FRÅN KONKALORIMETERFÖRSÖK	28
8.3	DATORMODELL OCH SIMULERING I HSLAB	29
8.4	RESULTAT FRÅN HSLAB	30
9	SIMULERING OCH ANALYS AV BRANDFÖRLOPPET OCH SKADOR	31
9.1	DATORMODELL OCH SIMULERING	31
9.2	RESULTAT	32
10	SLÄCKMEDEL OCH SLÄCKSYSTEM	35
10.1	HALON 1301	36
10.2	HFC BLEND A	37
10.3	HFC 227 EA	38
10.4	CO ₂	39

10.5 IG 541.....	40
10.6 IG 55.....	41
10.7 IG 100.....	42
10.8 IG 01.....	43
10.9 VATTENDIMMA	44
10.10 LÄTTSKUM	45
10.11 TUNGSKUM	46
11 BEDÖMNINGSTABELL	47
12 SLUTSATSER.....	49
13 KOMMENTARER.....	51

REFERENSER

BILAGA 1 - BERÄKNING AV VIKT OCH PLATSANSPRÅK

BILAGA 2 - VÄRMELEDNINGSTEST I KONKALORIMETER

BILAGA 3 - SIMULERING AV VÄRMELEDNING I HSLAB

BILAGA 4 - SIMULERING I DATORPROGRAMMET FREIA

1 INLEDNING

1.1 BAKGRUND

1986 startade Försvarets Materielverk (FMV) ett utvecklingsprojekt för 2000-talets ytstridsfartyg. Målet med projektet var att se om smygtekniken kunde leda till en hög överlevnadsförmåga för fartygen. Projektet ledde fram till en helt ny typ av ytstridsfartyg YS 2000/Korvett typ Visby, och 1995 beslutade Sveriges regering om anskaffning av dessa. I arbetet beaktas endast fartyg i landsortsserien. Dock kan samma tillvägagångssätt som presenteras i rapporten användas vid framtagandet av släcksystem till fartyg av typ YS 2000.

1987 skrev Sverige under Montreal-protokollet vilket innebar att halonerna på sikt skulle förbjudas p.g.a. av den nedbrytande effekten dessa ämnen har på ozonskiktet. Från och med årsskiftet 1997-98 är alla fasta installationer med haloner förbjudna undantaget ett fåtal som har dispens. Därmed är flera mycket effektiva och vanliga släckmedel inte längre tillåtna.

De nya fartygen och redan existerande fartyg måste nu och i framtiden utrustas med andra släckmedel än haloner. FMV önskade därför att en inventering och granskning av aktuella släckmedel och släcksystem utfördes.

1.2 SYFTE

Syftet är att utifrån lagar, normer och FMV's kriterier för örlogsfartyg inventera, granska och utvärdera nutida och eventuella framtida släckmedel och släcksystem som är aktuella för fartyg. Arbetet skall leda fram till en rapport som skall kunna användas som en första hjälp vid beslutsfattande vid val av nytt släckmedelssystem. Arbetet skall också visa en del av de begränsningar systemen har och vilka avkall från krav som måste göras vid val mellan de olika släckmedlen. Två större frågeställningar skall arbetet försöka besvara.

- Vikt för släckmedel samt vikt och volymanspråk för släcksystem
- Skadenivå på skrovmaterial p.g.a. värme- och strålningspåverkan kopplat till två dimensionerande brandscenario för de olika släcksystemen

1.3 METOD

Arbetet kan delas in i skilda delmoment:

- Inledande inventering av släckmedel och släcksystem. Via litteraturstudier och överläggningar med FMV valdes system och bedömningsområden ut som kan vara viktiga för örlogsfartyg. Systemen jämförs med halon 1301 som utgör ett referenssystem i arbetet.
- Studier av regelverk och normer för släcksystem för fartyg. Fördjupade litteraturstudier för de utvalda systemen.
- Besök på objektet och studerande av statistik för att ta fram troliga brandscenario. Handberäkningar för att konstruera de dimensionerande bränderna.
- Bestämning av skrovmaterialets värmeegenskaper genom tester i konkalorimetern och simuleringar i datorprogrammet HSLAB. Modellering av brandförloppen och skadeverkan på skrovmaterialet genom simuleringar i datorprogrammet FREIA.
- Bestämning av vikt och platsanspråk för systemen via dimensionering enligt regelverk och konsultation med leverantörer inom släckmedelsbranschen.
- Sammanställning

1.4 AVGRÄNSNINGAR

Flera utrymmen på Ulvön är skyddade med fasta släcksystem men i detta arbete beaktas endast släcksystemen med avseende att skydda maskinrummet. Brand som uppkommer i maskinrummet som direkt påverkats av vapenverkan kommer endast mycket kortfattat att behandlas under sårbarhet och installation. Släcksystemets funktion och förmåga att släcka i ett sådant fall utelämnas. Det förväntas att systemet är obrukbart i en sådan situation. Brandbekämpningen antas ske manuellt under sådana omständigheter. Inventeringen har endast beaktat de 11 släckmedel och släcksystem som finns redovisade i rapporten. Kostnaderna för de olika släckmedlen och släcksystemen har inte tagits i beaktande. Fartygen som beaktas har ett skrov som är uppbyggt av ett sandwichmaterial av glasfiberskikt och PVC medan de flesta fartyg inom marinen har skrov av stål.

1.5 BEGRÄNSNINGAR

Analysen baseras på litteraturstudier av de skrifter som är angivna som referenser. Någon fullständig studie av litteraturen inom släckmedelsområdet har ej utförts. Analysen baseras också på simuleringar i dataprogram som i sig har begränsningar och bygger på förenklingar. Analysen och utvärderingen är utförd av en person. Besök på objekt har endast utförts för ett fartyg i landsortsserien, Ulvön. Fartyget låg vid besöket i torrdocka och genomgick översyn vilket innebär att fartyget inte var i det skick som det kan förväntas vara vid brukande.

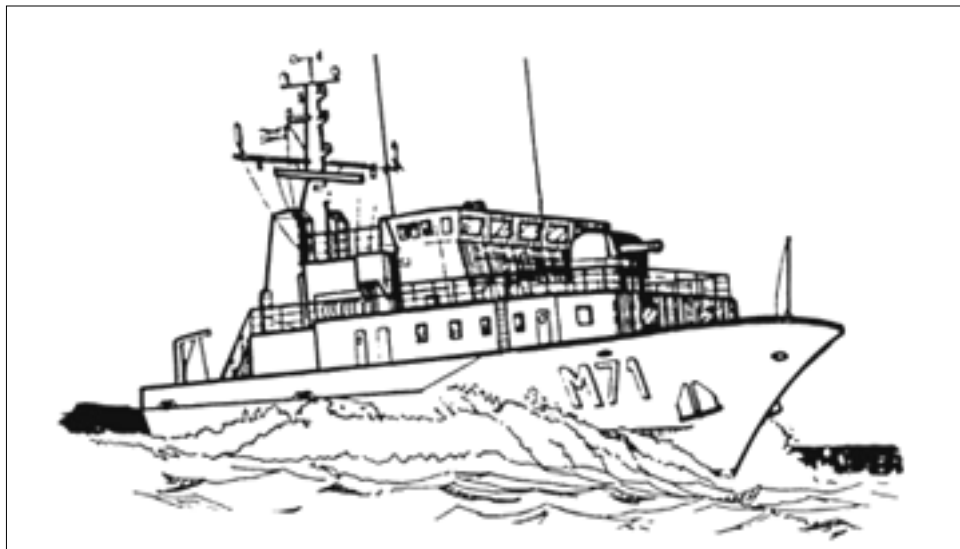
1.6 RAPPORTENS STRUKTUR

Rapporten riktar sig framförallt till personal inom fartygssektionen på FMV samt till studerande inom brandingenjörslinjen.

Kapitel 2	översiktlig beskrivning av objektet och hur brandskyddet är uppbyggt
Kapitel 3	tar upp de viktigaste regelverken som styr utformning av brandskydd på örlogsfartyg
Kapitel 4	redovisar kortfattat vilka släckmedel och släcksystem som beaktas i rapporten
Kapitel 5	beskriver ämnesområdena inom vilka släckmedlen bedöms och orsaken till varför de anses vara viktiga att behandla
Kapitel 6	kortfattad redovisning av systemens vikt och platsanspråk
Kapitel 7	hur de dimensionerande scenarierna har tagits fram och varför just de anses vara representativa för bränder ombord på fartyg
Kapitel 8	kortfattad beskrivning av och resultaten från testerna i konkalorimetern och simuleringarna i HSLAB för skrovmaterialet och brandskyddsfärgen
Kapitel 9	kortfattad beskrivning av och resultaten från simuleringar av brandförloppet och skadeverkan på skrovmaterialet med datorprogrammet FREIA
Kapitel 10	släckmedlens för- och nackdelar kortfattat samt fysikaliska egenskaper och släckande koncentrationer
Kapitel 11	sammanställande tabell för bedömningarna av släckmedlen och släcksystemen
Kapitel 12	slutsatser
Kapitel 13	kommentarer

2 OBJEKTSBESKRIVNING

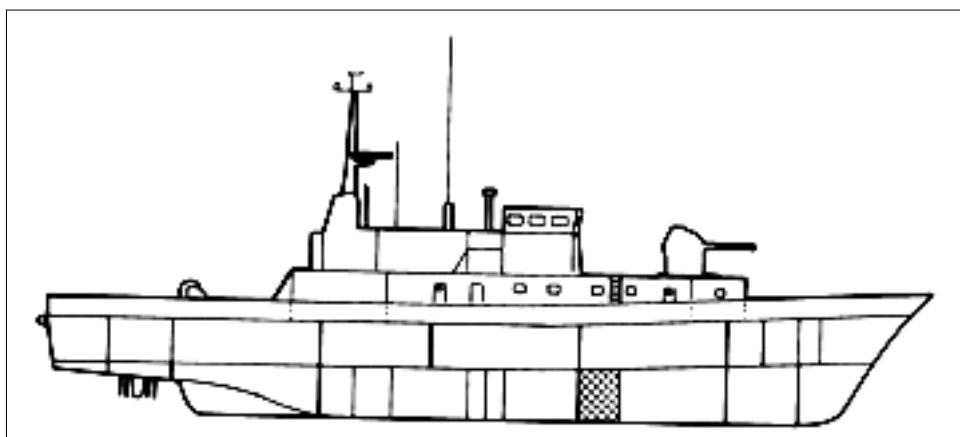
Ulvön är ett av sju minröjningsfartyg som ingår i Landsortsserien. Fartyget är ca 50 meter långt, ca 10 meter brett och med ett deplacement på 340 ton. Besättningen består av en fartygschef, ca 14 befäl och ca 14 värnpliktiga.



Figur 2.1. Fartyg i landsortserien från Handbok Brand /A/.

2.1 KONSTRUKTION

Ulvöns skrov är helt byggt i plast och har sju vattentäta skott. Skrovkonstruktionen är uppbyggt av sandwichelement som består av flera laminatlager. Kärnan är av expanderad polyvinylklorid. Utanpå kärnan finns lager med glasfiber. Även inre delar av fartyget är av dessa material. Fartyget består nerifrån och upp av hålskepp, trossdäck, huvuddäck, övre däck och brygdäck.



Figur 2.2. Fartyg i genomskärning från /A/.

2.2 VERKSAMHET

Hålskeppet inhyser bl.a. ammunitionen som finns i en ammunitionsdurk (rutad del figur 2.2) samt bränsle- och vattentankar. På trossdäck finns undre maskinrum, svepdurk och utrymmen för besättningen. Övre maskinrum finns på huvuddäck

tillsammans med ytterligare utrymmen för besättningen t.ex. två mässar. Stridsledningscentralen finns på övre däck och på bryggdäck finns manöverbryggan.

Maskinrummet är uppdelat i ett övre och ett undre maskinrum. Dessa står i öppen förbindelse med varandra och i öppen förbindelse ner till en del av hålskeppet. I det undre maskinrummet finns bl.a. de fyra propellermotorerna, filter och pumpar för brännolja, värmepanna samt aggregat för vattnet ombord. I det övre maskinrummet finns t.ex. två stora generatoraggregat samt tank och filter för hydraulolja. Det nedre maskinrummet har en durkyta på drygt 8×6 m och en höjd på ca. 3 m. Rummet är större upptill p.g.a. skrovformen. Det övre maskinrummet är något mindre med en durkyta på ca. 6,5×5 m och en höjd på ca. 2,5m.

2.3 BRANDSKYDD

2.3.1 FUNKTIONELLA KRAVKRITERIER

Det enda krav som ställs för brandskyddet i maskinrummet är att en brand inte får sprida sig från maskinrummet till övriga utrymmen. Det finns inga krav på att särskilda komponenter eller maskiner inte får skadas.

2.3.2 AKTIVT BRANDSKYDD

Sex av sju fartyg i landsortsserien är helt eller delvis utrustade med halonsystem. De utrymmen som skyddas med halon är stridsledningscentralen, svepdurk, maskinrum samt maskincentral. Dessa halonsystem skall ersättas med Halotron IIb och så har också skett på fartyget Koster. Detektionssystemet består av adresserbara rökdetektorer kopplade till en centralapparat. I maskinrummen kompletteras rökdetektorerna med flamdetektorer. Ett utvändigt vattensprinklersystem för skydd mot ABC-stridsmedel finns och kan också användas för brandbekämpning. På Ulvön har halonsystemen delvis ersatts.

I maskinrummet som behandlas i denna utredning finns ett skumprinklersystem med filmbildande skumvätska som kompletteras med ett halonsystem. Något egentligt skum erhålls inte från skumprinklersystemet utan det är bara den filmbildande egenskapen hos skumvätskan som utnyttjas. Skumprinklersystemet kan utlösas automatiskt eller manuellt. När den ena av de två detektionssystemen, rök- eller flamdetektorer, aktiveras ges larm till kommandobrygga och brandlarm startar. Skumprinklersystemet startar upp men löser inte ut innan detektionssystem nummer två aktiveras eller manuell aktivering av skumprinklingen sker. Halonsystemet kan endast aktiveras manuellt.

2.3.3 ORGANISATION

Brand i maskinrummen:

Vid detektion ges larm till kommandobryggan och på brandlarmcentralen visas var detektionen har skett. Samtidigt startar brandlarmet. Direkt skickas personer ur besättningen med rökdykarutrustning att undersöka branden och se till att eventuella skadade tas omhand. Anses det att branden inte kan bekämpas manuellt påbörjas förberedelse för släckning med fast släckanläggning. Att ingen finns kvar i utrymmet är första åtgärden. Alla öppningar till utrymmet stängs. Ventilationen stängs av och spjällen stängs. Framdrivningsmaskineriet stoppas och brännoljetillförseln till insprutningspumpar och oljebrännare stoppas. Ventilerna till brännoljetankarna stängs. Därefter aktiveras släcksystemet. Det kan finnas tillfällen då framdrivning av fartyget prioriteras. I ett sådant tillfälle stoppas inte motorerna och oljetillförseln.

2.3.4 PASSIVT BRANDSKYDD

Maskinrummen är avgränsat mot övriga utrymmen i klass A-30. Klassindelningen för fartyg är inte överensstämmande med den för byggnader på land. Klass A innebär att konstruktionen inte får släppa igenom lågor eller rök under en timme långt standardbrandprov. Konstruktionen ska vara stagad på lämpligt sätt. Dessutom får temperaturen inte stiga över vissa värden på den icke brandutsatta sidan, under en tidsperiod på lika många minuter som klassen anger. För klass A-60 innebär 60 minuters temperaturkrav. Konstruktionen skall vara av stål eller likvärdigt material. På stridsfartyg får materialet vara annat än stål under förutsättning att konstruktionen är isolerad så att den klarar standardbrandprovet. Därför är invändiga plasttytor i fartyget skyddade med brandskyddsfärg som har samma egenskaper som Novatherm 2FR (500g/m²).

3 REGELVERK

Örlogsfartyg har en speciell karaktär och verkar under mycket ovanliga förhållanden. Lagar och förordningar som är tagna för civila fartyg kan därav inte direkt tillämpas på örlogsfartyg inom samtliga områden. Särskilda normer och förordningar har därför skapats. När fartygen i landsortsserien projekterades och byggdes fanns inga färdiga normer. Att i dagsläget kräva att de efterföljer nuvarande normer när modifieringar av fartygen utförs är omöjligt. Det skulle innebära alldeles för stora ombyggnationer och kostnader. Vad det gäller tillämpning av brandskyddsreglerna så räknas örlogsfartyg till lastfartyg p.g.a. besättningens kvalifikationer, inga eller få passagerare samt fartygets användningsområde.

3.1 LAGAR OCH FÖRORDNINGAR

Fartygssäkerhetslagen SFS 1988:49 med tillhörande förordning SFS 1988:594 gäller endast örlogsfartyg såvitt regeringen föreskriver det. De delar som berör örlogsfartyg redogörs i Förordningen om säkerhet på örlogsfartyg, SFS 1988:595 och förordningen om dess ändring SFS 1995:992.

3.2 KUNGÖRELSER

Sjöfartsverkets kungörelse om brandskydd på fartyg som omfattas av 1974 års internationella konvention om säkerheten för människoliv till sjöss, SJÖFS 1985:24 är den svenska versionen av SOLAS, Safety Of Life At Sea. Den innehåller konventionstexten med tillhörande tillämpningsbestämmelser. Kapitel II-2 behandlar konstruktion och brandskydd.

3.3 NORMER

CM Norm Sjövärdighet /B/ och /C/ är ett normverk som utarbetats av FMV och CM i överenskommelse med Sjöfartsverket. Den innehåller sjöfartsverkets författningar t.ex. SJÖFS 1985:24, se ovan, som delvis är applicerbara på örlogsfartyg men den innehåller också interna regler inom sjövärdighetsområdet där brandskydd ingår under kapitel E9. Detta normverk upphörde fr.o.m. 1999-10-01 då Regler för Militär Sjöfart, RMS, /D/ började att gälla. Detta normverk är en vidareutveckling av CM Norm Sjövärdighet och innehåller i stort sett samma material.

4 SLÄCKMEDELSBESKRIVNING

Nedan följer en kort presentation av de släckmedel och släcksystem som kommer att beaktas i denna rapport. Anledningen till att dessa släcksystem utvärderas baseras på att systemen är relativt vanliga, information finns tillgänglig samt mina och FMV's önskemål.

HALON 1301

Detta systemet igår endast som referenssläckmedel. Det består av bromotrifluorometan och är ett gasformigt släckmedel som lagras tryckkondenserat. Halon var tidigare ett mycket vanligt och populärt släckmedel och finns fortfarande installerat på flera örlogsfartyg. Dessa system skall under en övergångsperiod bytas ut. Det är därför viktigt att visa vilka avkall på krav som måste göras vid installation av de nya systemen jämfört med halon. Även de fördelar som finns med de nya systemen är viktiga att redovisa.

HFC BLEND A

Halotron IIB som släckmedlet även kallas består av två HFC-gaser samt koldioxid och är ett gasformigt släckmedel som lagras tryckkondenserat. HFC Blend A har kommit fram som ett ersättningsmedel till halon. Beslut har tagits om att halonsystemen på landsortsserien skall ersättas av system med Halotron IIB.

HFC 227EA

FM 200 som släckmedlet även kallas består av heptafluoropropan som är ett halogenerat gasformigt släckmedel som lagras tryckkondenserat. HFC 227ea har kommit fram som ett ersättningsmedel till halon. System med släckmedlet används av kustbevakningen i USA på deras fartyg. För tillfället har släckmedlet inga egna föreskrifter från sjöfartsverket men föreskrifterna för Halotron IIB tillämpas även för FM 200.

CO₂

Koldioxid är ett gasformigt släckmedel som i små och medelstora mängder lagras tryckkondenserat. Det har använts och används i stor skala inom sjöfarten. Under en lång period var det tillsammans med halon de enda gasformiga släckmedel som användes i större omfattning inom sjöfarten.

IG 541

Inergen tillhör de s.k. inertgaserna och är en blandning av kväve, argon och koldioxid. Släckmedlet är gasformigt och lagras tryckkomprimerat.

IG 55

Argonite tillhör de s.k. inertgaserna och är en blandning av kväve och argon. Släckmedlet är gasformigt och lagras tryckkomprimerat.

IG 100

IG 100 tillhör de s.k. inertgaserna och består av kväve. Släckmedlet är gasformigt och lagras tryckkomprimerat.

IG 01

IG 01 tillhör de s.k. inertgaserna och består av ädelgasen argon. Släckmedlet är gasformigt och lagras tryckkomprimerat.

VATTENDIMMA

Vattendimma fungerar delvis som ett gasformigt släckmedel trots att det inte är en gas i egentlig mening. Vattnet förvaras som vätska och appliceras som en dimma skapat under högt tryck. I ett första skede används avjoniserat vatten. Systemet som beaktas i denna rapport är HI-FOG[®]. Vattendimmsystemen har utvecklats under senare tid som en ersättning till de gasformiga släcksystemen. Systemen är under fortsatt stark utveckling i dagsläget.

LÄTTSKUM

Lättskum är ett vattenbaserat släckmedel med inblandning av skumvätska. Systemet är ett rumsskyddssystem och har till uppgift att fylla hela det skyddade utrymmet med skum. Systemet som behandlas i denna rapport är HotFoam[®]. Systemet använder sig av interna brandgaser för att alstra skummet till skillnad från ett konventionellt lättskumssystem som använder friskluft. Systemet har utvecklats under senare tid, framförallt som en ersättning till sprinklersystem.

TUNGSKUM

Tungskum är ett vattenbaserat släckmedel med inblandning av skumvätska. Systemet är till skillnad från de övriga släcksystemen som finns presenterade i denna rapport inget rumsskyddssystem. Systemet fungerar som ett konventionellt sprinklersystem med skillnaden att det finns en inblandning av skumvätska. På det sätt som systemet presenteras i detta arbete d.v.s. som lokal applicering vid maskinerna är det inget godkänt ersättningssystem till halon utan mer ett kompletterande system.

5 KRITERIER OCH BEDÖMNINGSGRUNDER

I detta kapitel tas ämnesområden upp som ansetts är av betydelse vid val av släckmedel. Anledningen till att de anses viktiga samt om de ytterligare beaktas i rapporten för vart och ett av släckmedlen anges. Av nedanstående bedömningsområde är det endast skyddsnivå samt vikt och platsanspråk som det utförs beräkningar på. Övriga områden kommer bara att behandlas översiktligt under respektive släckmedel och i den sammanfattande tabellen i kapitel 11.

5.1 SLÄCKEGENSKAPER

Att släcksystemet klarar av spraybränder är av stor betydelse. De flesta bränder i maskinrum orsakas av läckande oljor som antänds. Systemet bör också klara av att släcka bränder som är täckta från ett eller flera håll då brinnande vätska kan befinna sig under maskiner eller andra hinder. Beroende på hur snabb brandtillväxten är, har tiden varierande betydelse. Skadornas omfattning är starkt förknippad med brandens varaktighet d.v.s. tid från brandstart till släckning. Tidåtgången från att systemet aktiverats till att branden är släckt är därför av stor vikt. Denna tid beror för de gasformiga släckmedlen på tiden fram till släckande koncentration uppnås i utrymmet som styrs av utströmningstiden. Utströmningstiden har satts till den tid som reglerna sätter som krav. Många av systemen kan göras mycket snabbare men tyvärr så görs systemen oftast inte bättre än vad kravet är för att hålla nere kostnaderna. Släcksystemens förmåga att släcka spraybränder och täckta bränder samt utströmningstid för släckmedlet kommer att redovisas.

5.2 SKYDDSNIVÅ

Tiden till branden är släckt har som ovan beskrivs stor betydelse för hur stora skador som uppkommer till följd av brandpåverkan. Denna tid är summan av tiden för detektion, aktivering och släckning. För icke automatiska system såsom på fartygen i landsortsserien så utgör aktiveringstiden en stor del och har därmed stor betydelse. Kravet som ställs på brandskyddet för maskinrummet är att branden inte får sprida sig. Skrovmaterialet är ett glasfiberlaminat bestruket med brandskyddsfärg för att isolera vid värmepåverkan. Brandpåverkan på skrovmaterialet kommer att undersökas för de olika brandscenerierna för respektive släcksystem. Skadeverkan simuleras m.h.a. datorprogrammet FREIA /E/. Indata till programmet erhålls via försök i konkalorimetern med efterföljande simuleringar i datorprogrammet HSLAB /F/. Två olika skadefall för materialet undersöks.

- Skadefall ett är att PVC-kärnan alldeles innanför glasfiberskiktet på den exponerade sidan blir skadat.
- Fall två är att PVC-kärnan i mitten av konstruktionen blir skadat vilket innebär att halva materialet är skadat.

Skadorna redovisas som förhållandet mellan erhållen värmemängd och den värmemängd som innebär skada.

5.3 VIKT OCH PLATSBEHOV

Fartyg har mycket högre krav på liten vikt och platsanspråk hos släcksystemen än byggnader på land. Örlogsfartyg har extra stora krav på detta då hastighetsprestanda hos fartygen är av stor betydelse. Samtidigt ska de inrymma stora mängder teknisk utrustning samt bestyckning och ammunition på liten yta.

Vikten på själva släckmedlet kommer att redovisas samt vikten för det totala systemet inklusive rör, tankar, flaskor, aggregat, injektorer och pumpar om dessa kräv speciellt för systemet. Utrymmesbehovet för allt utom rören kommer också att redovisas.

5.4 INSTALLATION

Systemet måste klara av de mekaniska påverkningar som det kan utsättas för på ett fartyg. Dessa påverkningar är vibrationer, stötar, slag, fukt, korrosion, temperaturväxlingar och igensättningar. Dessutom så skall de klara de chockkrafter som ett örlogsfartyg kan utsättas för vid vapenverkan. Installationen skall dessutom vara utförd på ett sådant sätt att släckmedlet fördelas jämt i det skyddade utrymmet. Detta verifieras för de olika systemen via tester och beaktas inte vidare i detta arbete.

5.5 SÅRBARHET

Att systemen måste klara av vissa för örlogsfartyg speciella påverkningar som chockkrafter har behandlats i kap.5.4. Det är dessutom viktigt att inte alla systemen ombord slås ut av att ett utrymme påverkas av vapenverkan. Släcksystemens placering ombord har stor betydelse för hur sårbara de är. Detta löses på landsortsserien genom att separata system finns för varje skyddat utrymme. Släcksystemens sårbarhet kommer dock inte att beaktas mer utförligt i rapporten.

5.6 DETEKTIONSSYSTEM

Tiden till släckning beror till viss del av tiden det tar innan branden detekteras. Därför kan det vara av intresse att kunna välja ett detektionssystem som detekterar i brandens tidiga skede. Det är också viktigt att detektionssystemet inte indikerar brand när så inte är fallet. Sker detta i stor utsträckning kan följden bli att larmen inte tas på allvar. Släcksystemens kompatibilitet med de olika detektionssystem kommer dock inte att beaktas mer utförligt i rapporten.

5.7 RENHET

I utrymmen som innehåller mycket elektronisk utrustning kan det vara förödande om ett icke rent släckmedel vådautlöses. Sannolikheten i dagsläget för vådautlösning är liten då inga system utlöses automatiskt.

Släckmedlens renhet i förhållande till halon 1301 kommer att redovisas.

5.8 KORROSION

Släckmedlet kan vara korrosivt i sig självt eller bilda korrosiva nedbrytningsprodukter under värmepåverkan. Mängden korrosiva gaser som bildas av släckmedlet beror bl.a. på hur snabbt den släckande koncentrationen uppnås. I utrymmen med utrustning känslig för korrosion är det alltså viktigt att snabbt bygga upp den släckande koncentrationen för att undvika stora saneringskostnader.

Släckmedlens korrosivitet i sig självt samt förmåga att vid brand bilda korrosiva nedbrytningsprodukter redovisas i förhållande till halon 1301.

5.9 TOXICITET

Enligt SjöFS 1985:24 regel 5.1.1 så tillåts inte användning av släckmedel som enligt administrationens uppfattning av sig självt eller under förväntade användningsförhållanden avger giftiga gaser i sådana mängder att människor utsätts för fara. På örlogsfartyg tillåts ingen automatisk utlösning av släcksystem med gasformigt släckmedel förutom med halon, och då under förutsättningen att fartyget är obemannat. Systemen får inte aktiveras innan det är försäkrat att inga personer är kvar i utrymmet. På detta sätt undviks problemet av toxisk påverkan på människor. Ett släckmedel kan vara giftigt i sig själv eller bilda giftiga föreningar vid påverkan av t.ex. värme. Ett annat problem är att vissa släckmedel har så stor släckande koncentration att koncentrationen syre blir för låg för människor. Toxiciteten utgör ett stort problem när släcksystemet skall skydda bemannade utrymmen. Trots att systemen inte får utlösas innan det skyddade utrymmet är utrymt kommer toxiciteten ändå att beaktas för det kan finnas situationer i framtiden där automatiska system blir ett alternativ p.g.a. att tid till släckning minskar avsevärt vid automatik och därmed de materiella skadorna.

5.10 ELEKTRISK LEDNINGSFÖRMÅGA

I utrymmen med elektriska installationer kan det vara av stor betydelse att släckmedlet saknar elektrisk ledningsförmåga. Elektrisk utrustning kan snabb slås ut av en vådautlösning av ett elektriskt ledande släckmedel vilket kan få förödande konsekvenser. Släckmedlens ledningsförmåga redovisas i förhållande till halon 1301.

5.11 TEMPERATUROMRÅDE

Släcksystemen har begränsningar inom vilka temperaturområden de kan verka inom. Den nedre temperaturgränsen för gasformiga släckmedel kan vara deras kokpunkt. Underskrids den innebär det att någon förångning inte sker vid utlösning av systemet. Detta leder till att utströmningstiden ökar samt att släckmedlet inte fördelas jämt i utrymmet. För vattenbaserade släckmedel kan det vara fryspunkten. Övre temperaturgränsen beror ofta på vilka tryck som systemen är dimensionerade för. Den nedre temperaturgränsen sätts i detta arbete till 20 grader över kokpunkten för de gasformiga släckmedlen och den övre till 60°C vilket är den temperatur som ofta gasflaskorna är dimensionerade att klara. För de vattenbaserade släckmedlen gäller att det ska vara frostfritt samt begränsningarna som eventuellt sätts av skumvätskorna. Systemens nedre och övre temperaturgräns redovisas.

5.12 UTRYMNING

Utrymningssituationen kan påverkas negativt av ett utlöst släcksystem. Siktbarheten kan försämrans av att släckmedlet inte är färglöst samt att vattenånga bildas av temperatursänkningen när släckmedlet förångas. Dessutom kan höga bullernivåer skapas när släckmedlet strömmar ut ur munstyckena. I dagsläget påverkar detta inte utrymningen ur maskinrummet då släcksystemen aktiveras först när besättningen har utrymt. Vid eventuell framtida automatisk aktivering förutsätts besättningen ombord ha stor lokalkännedom. Släcksystemen beaktas därför inte ur utrymningssynpunkt.

5.13 MILJÖPÅVERKAN

Halonernas påverkan på miljön var orsaken till att de förbjöds. Detta innebär att en mängd system måste bytas ut vilket kan vara både problematiskt och kostsamt. Det är därför viktigt att beakta släckmedlens miljöpåverkan för att kunna erhålla ett system som är acceptabelt ur miljösynpunkt och således inte behöver bytas ut. Släckmedlens medverkan till växthuseffekten samt deras ozonnedbrytande effekt är de två områden som har fått störst uppmärksamhet. Ett ämnes ozonnedbrytande effekt anges i ODP, Ozone Depletion Potential. Det är framtaget från modeller som tar hänsyn till bl.a. atmosfärisk livstid och hastigheten för nedbrytningsreaktionerna. Oftast anges ett ämnes ODP-värde som ett värde relativt värdet för CFC-11 (CCl_3F) som har satts till 1. Inverkan på växthuseffekten hos ett ämne mäts i GWP, Global Warming Potential. Detta värde tar hänsyn till ämnets atmosfäriska livstid och dess egenskaper som absorberant för infrarött ljus. Det finns två olika referensgaser (CO_2 och CFC-11) och värdet kan också beräknas med olika tidsangivelse. Släckmedlens ODP-värde relativt CFC-11 samt GWP-värdet relativt CO_2 (100 år) kommer att anges.

6 VIKT OCH PLATSANSPRÅK

För släcksystem till örlogsfartyg ställs stora krav på att de tar upp liten plats och har låg vikt. Orsaken är att utrymmet ombord är mycket begränsat och att stor vikt belastar fartygens prestanda. Varje kilo och kvadratmeter som kan sparas är betydelsefullt. Mer teknisk utrustning och bestyckning kan i så fall tas med. Nedan följer en kortfattad sammanfattning över de komponenter samt deras vikter som ingår i de olika släcksystemen och som har medräknats i totalvikterna för systemen. Också deras platsanspråk redovisas. Indata till beräkningarna av släckmedelsvikt är dimensioneringsregler enligt de regelverk som styr respektive släckmedel. Komponenternas vikter har i de flesta fall erhållits från leverantörer av släckmedelssystem. Rördimensionerna är antagna och därmed blir vikterna av dessa något osäkra. För en mer detaljerad genomgång se bilaga 1.

HALON 1301

Släckmedel: Halon 1301

Vikt släckmedel: 109 kg

Komponenter: tryckflaskor + rör

Vikt komponenter: $100 + 59 = 159$ kg

Platsanspråk komponenter: $4 \times (250 \times 250 \times 2000)$ mm

Systemets totalvikt: 268 kg

HFC BLEND A

Släckmedel: HFC Blend A

Vikt släckmedel: 152 kg

Komponenter: Tryckflaskor + rör

Vikt komponenter: $194 + 59 = 253$ kg

Platsanspråk komponenter: $4 \times (250 \times 250 \times 2000)$ mm

Systemets totalvikt: 405 kg

HFC 227EA

Släckmedel: HFC 227 ea

Vikt släckmedel: 205 kg

Komponenter: Tryckflaskor + rör

Vikt komponenter: $218 + 59 = 277$ kg

Platsanspråk komponenter: $3 \times (250 \times 250 \times 200) + (300 \times 300 \times 2000)$ mm

Systemets totalvikt: 482 kg

CO₂

Släckmedel: CO₂

Vikt släckmedel: 174 kg

Komponenter: Tryckflaskor + rör

Vikt komponenter: $288 + 79 = 367$ kg

Platsanspråk komponenter: $4 \times (300 \times 300 \times 2000)$ mm

Systemets totalvikt: 541 kg

IG 541

Släckmedel: IG 541

Vikt släckmedel: 252 kg

Komponenter: Tryckflaskor + rör

Vikt komponenter: $1022 + 79 = 1101$ kg

Platsanspråk komponenter: $12 \times (300 \times 300 \times 2000)$ mm

Systemets totalvikt: 1353 kg

IG 55

Släckmedel: IG 55

Vikt släckmedel: 251 kg

Komponenter: Tryckflaskor + rör

Vikt komponenter: $1022 + 79 = 1101$ kg

Platsanspråk komponenter: $12 \times (300 \times 300 \times 2000)$ mm

Systemets totalvikt: 1352 kg

IG 100

Släckmedel: IG 100

Vikt släckmedel: 208 kg

Komponenter: Tryckflaskor + rör

Vikt komponenter: $1022 + 79 = 1101$ kg

Platsanspråk komponenter: $12 \times (300 \times 300 \times 2000)$ mm

Systemets totalvikt: 1309 kg

IG 01

Släckmedel: IG 01

Vikt släckmedel: 295 kg

Komponenter: Tryckflaskor + rör

Vikt komponenter: $1022 + 79 = 1101$ kg

Platsanspråk komponenter: $12 \times (300 \times 300 \times 2000)$ mm

Systemets totalvikt: 1396 kg

VATTENDIMMA

Släckmedel: Vatten

Vikt släckmedel: 1100 kg

Komponenter: Tryckflaskor + vattentank + pumpar + rör

Vikt komponenter: 1560 kg

Platsanspråk komponenter: Tryckflaskor $4 \times (300 \times 300 \times 2000)$ mm

Vattentank $(1100 \times 1100 \times 1300)$ mm

Pumpar $(800 \times 1500 \times 700)$ mm

Systemets totalvikt: 2660 kg

LÄTTSKUM

Släckmedel: Vatten + skumvätska

Vikt släckmedel: $677 + 40 = 717$ kg

Vikt släckmedel alt. 2: $2062 + 40 = 2102$ kg

Komponenter: Vattentank + skumtank + pump + injektor + aggregat + rör

Vikt komponenter: $80 + 5 + 70 + 6 + 55 + 45 = 261$ kg

Platsanspråk komponenter: Vattentank (1300×1300×1850)mm

Skumtank (450×450×500)mm

Pump (1300×630×490)mm

Aggregat $5 \times (790 \times 1010 \times 370) + (790 \times 370 \times 370)$ mm

Systemets totalvikt: 978 kg

Systemets totalvikt alt. 2: 2363kg

TUNGSKUM

Släckmedel: Vatten + skumvätska

Vikt släckmedel: $3400 + 315 = 3715$ kg

Komponenter: Vattentank + skumtank + pump + injektor + rör

Vikt komponenter: $200 + 20 + 70 + 3 + 68 = 361$ kg

Platsanspråk komponenter: Vattentank (1600×1600×2100)mm

Skumtank (640×640×1150)mm

Pump (1300×630×490)mm

Systemets totalvikt: 4076kg

7 BRANDSCENARIER

För att kunna visa på vilka skador som kan uppkomma till följd av brand och redogöra för de skillnader i skydd som de olika släcksystemen utgör behövs ett tilltänkt brandscenario. Valet av brandscenario kan göras på flera sätt. Ett sätt är att försöka hitta den värsta brand som kan uppkomma i utrymmet. Fördelen är att beräkningarna hamnar på den säkra sidan och skadorna blir troligtvis mindre än de framräknade. Nackdelen med detta synsätt är att sannolikheten för ett sådant scenario är mycket liten samtidigt som jämförelserna mellan de olika systemen kan bli ointressanta för skadorna blir för stora i alla situationerna. Ett annat sätt att välja dimensionerande brand är att undersöka statistik och välja den brand som uppkommer flest gånger eller en av de som är vanligast förekommande. Problemet med att välja den dimensionerande branden enligt denna metod är att den ofta missar de allvarigare stora bränderna då dessa inte förekommer så ofta. Som dimensionerande bränder har i detta arbete valts en brand som är vanligt förekommande och en som anses vara största troliga brand.

7.1 STATISTIK

Statistik över bränder som inträffat på svenska örlogsfartyg finns tyvärr inte, men för den civila sjöfarten finns det. Ur Fartygsbrandsläckning /G/ går det att utläsa, att av de rapporterade bränderna ombord på svenska fartyg mellan 1989 och 1992 inträffade ca 40% i maskinrum. Att andelen maskinrumsbränder är såpass hög beror på att i maskinrummen finns alla de förutsättningar som krävs för att brand skall uppstå. Bränsle i form av oljor, varma oisolerade ytor och elektrisk utrustning som tändkällor samt stor tillgång till syre via mekanisk ventilation. Oljeläckage från t.ex. ett rör, filter eller fläns är en av de allra vanligaste brandorsakerna. Oljan leds under tryck och vid läckage bildas en spray som kan träffa varma ytor och brand uppstår.

7.2 DIMENSIONERANDE BRAND

Två dimensionerande bränder har valts. En spraybrand som är vanligt förekommande och en pölbrand som är mindre vanligt förekommande men har större maximal effektutveckling när den väl inträffar vilket kan leda till större konsekvenser.

7.2.1 DIMENSIONERANDE SPRAYBRAND

Som dimensionerande brand ett har valts en spraybrand som uppkommit till följd av att ett bränslerör till en av propellermotorerna gått sönder. Detta är en vanlig orsak till brand. Dessutom finns det många varma ytor i maskinrummet på Ulvön som inte är isolerade. Motorerna antas gå med full effekt och all utströmmad bränsle förbränns. Vidare antas att branden fortgår hela tiden fram till dess att släckande koncentration har uppnåtts i brandrummet. Det sistnämnda antagandet är diskutabelt, för att i de flesta fall stängs bränsleflödet av när brand utbrutit i maskinrum. Det finns dock situationer när framdrivning av fartyget har större prioritet än snabb släckning t.ex. vid vapenverkan eller vid risk för grundstötning. För att beräkna storleken på branden måste mängden bränsle vara känd. I detta fallet styrs bränslemängden av oljeflödet i det rör som antas har gått av, d.v.s. förbrukningen hos en motor vid full effekt. Bränslets förbränningsvärme samt hur effektivt det förbränns påverkar också brandens effektutveckling. Utvecklingen av branden från start till maximalt utvecklade effekt antas följa ett kvadratisk beroende av tiden, en s.k. α^2 -brand. Den antas dessutom vara mycket snabb vilket motsvarar ett högt α -värde. Det sista antagandet

motiveras med att bränslet är finfördelat varmed förångningen underlättas. Den dimensionerande branden konstrueras enligt följande.

Spraybrandens maximalt utvecklade effekt:

$$\dot{Q}_{\max} = \dot{m} \cdot \chi \cdot \Delta H_c$$

\dot{m} = massflödet ut från bränsleröret [kg/s]

χ = förbränningseffektivitet

ΔH_c = förbränningsvärme [MJ/kg]

Effektutvecklingen innan branden uppnått sin maximala effekt

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2$$

α = tillväxtfaktor [kW/s²]

t = tiden från brandstart [s]

Indata:

Bränsleflödet erhålls via den specifika bränsleförbrukningen och den maximala effekten hos en motor. Enligt /H/ är maximala effekten på en motor 332 kW och den specifika bränsleförbrukningen 217 g/kWh. Egentligen begränsas den utströmmande mängden av trycket i röret och hålets storlek. En stor variation av den utströmmande massan erhålls och som det dimensionerande massflödet har förbrukningen hos en motor valts efter samtal med FMV.

Tabell 7.1. Indata till dimensionerande spraybrand.

\dot{m} [kg/s]	χ	ΔH_c [MJ/kg]	α [kW/s ²]
0,020	0,7	43,0	0,19

Dimensionerande spraybrand

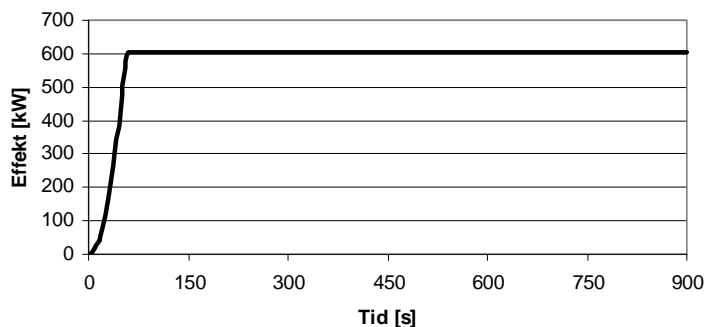


Diagram 7.1. Effektkurva för dimensionerande spraybranden.

7.2.2 DIMENSIONERANDE PÖLBRAND

Den andra dimensionerande branden är en pölbrand som även den har uppstått p.g.a. ett oljeläckage. Detta har inträffat vid filterläckage ombord på ett av fartygen i landsortsserien och anses därför kunna hända igen. Den maximala effektutvecklingen på branden beror på pölens area samt vätskans massavbränningshastighet per ytenhet. Utrymmets utformning har tagits i beaktande vid val av pölens area. Stora ytor där stora pölar kan bildas finns inte förutom i hålskeppet där oljeläckage samlas upp. Antändningskällor finns inte i lika stor grad i denna del av utrymmet varför detta

brandscenario inte tas upp som dimensionerande brand. Bränslets förbränningsvärme samt hur effektivt det förbränns påverkar också brandens effektutveckling. Utvecklingen av branden från start till maximalt utvecklade effekt antas följa ett kvadratisk beroende av tiden, en s.k. α^2 -brand. Pölbränder för dieseloljor har en effektutveckling som är snabb.

Pölbrandens maximalt utvecklade effekt:

$$\dot{Q} = A_f \cdot \dot{m}'' \cdot \chi \cdot \Delta H_c$$

$$A_f = \text{vätskepölens area [m}^2\text{]}$$

$$\dot{m}'' = \text{massavbrinningshastigheten per ytenhet [kg/m}^2\text{s]}$$

$$\chi = \text{förbränningseffektivitet}$$

$$\Delta H_c = \text{förbränningsvärme [MJ/kg]}$$

Effektutvecklingen innan branden uppnått sin maximala effekt

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2$$

$$\alpha = \text{tillväxtfaktor [kW/s}^2\text{]}$$

$$t = \text{tiden från brandstart [s]}$$

Indata:

Tabell 7.2. Indata till dimensionerande pölbrand.

A_f [m ²]	\dot{m}'' [kg/m ² s]	χ	ΔH_c [MJ/kg]	α [kW/s ²]
1	0,040	0,7	43,0	0,047

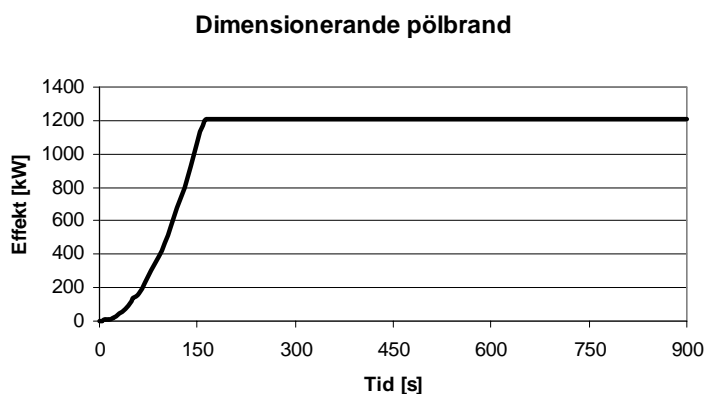


Diagram 7.2. Effektkurva för dimensionerande pölbranden.

7.3 BRANDFÖRLOPP

Brandförloppen är olika beroende på vilket släcksystem som skall beaktas. Förloppen följer de dimensionerande brändernas förlopp enligt diagram 7.1 och 7.2 fram till dess att den släckande koncentrationen antas vara uppbyggd eller att de blir ventilationskontrollerade. Nedan redovisas endast brandförloppen för den dimensionerande spraybranden i diagramform. Tiden fram till att den släckande koncentrationen är uppbyggd är summan av detektionstid, aktiveringstid och utströmningstid. Detektionstiden är den tid som fortgår från brandstart till dess att branden detekteras av detektorer. Denna tid har satts till 30 s i alla simuleringar då

utrymmet är utrustat med rökdetektorer. Aktiveringstiden är tiden från det att branden detekterats tills dess att systemet aktiveras. Under denna tid skall besättningen förvissa sig om att ingen är kvar i utrymmet och förbereda för släcksystemet. Denna tid kan variera kraftigt mellan olika tillfällen. Efter samtal med Dick Nilsson, MTJC och Sten-Gunnar Svensson, fartygschef, båda ombord på landsortsseriens fartyg antogs denna tid till tre minuter för alla scenarier. De angav att tiden från larm till att man löser ut systemen borde variera mellan en och fem minuter. Därför valdes att använda tre minuter som aktiveringstid för de vanliga brandförloppen. Som känslighetsanalys har även fem minuter används för fyra olika simuleringar. Till sist skall släckmedlet distribueras i utrymmet och denna utströmningstid beror på rördimensioner, tryck, mängden släckmedel samt i vilket fas släckmedlet strömmar ut. Utströmningstiden för de olika gasformiga släckmedlen har satts till den tid som regelverken kräver att de ska vara utströmmade inom. För HFC-gaserna är kravet åtta sekunder men den har höjts till 20 sekunder för att kunna simuleras tillsammans med halon. Denna ändring gör mycket lite skillnad för då den totala tiden är drygt 200 sekunder. Även om systemen kan göras betydligt snabbare i vissa fall så är det inte troligt att de system som installeras är snabbare än vad regelverken anger. Stor konkurrens och prispress gör att så billiga system som möjligt installeras vilket innebär små rördimensioner och lång utströmningstid. Utströmningstiden för de gasformiga släckmedlen har satts enligt följande:

- Halon 1301 och HFC-gaserna 20 sekunder
- CO₂ och inertgaser 120 sekunder

När den släckande koncentrationen är uppnådd antas effekten momentant sjunka till noll enligt diagram 7.3 och 7.4.

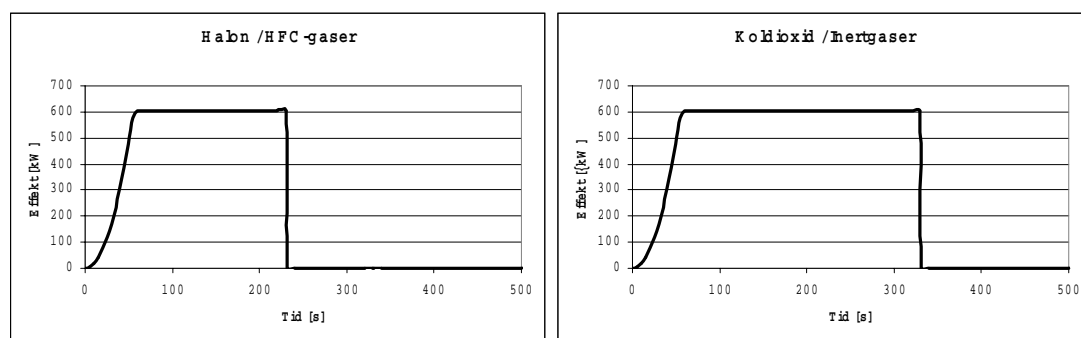


Diagram 7.3-7.4. Brandförlopp med gasformiga släckmedel som släcksystem.

För de vattenbaserade släckmedlen är situationen en annan. Systemen har en viss uppstartstid. Denna tid antas i konstruktionen av brandförloppen ingå i aktiveringstiden. Något extra tidstillägg har inte tilldelats systemen. Vattendimma fungerar delvis som ett gasformigt släckmedel men har en betydligt kraftigare kylande effekt men också en mer svårdefinierad släckande koncentration. För vattendimma antas effekten sjunka linjärt till noll på en minut från det att systemet aktiverats enligt diagram 7.5.

Lättskum liknar gasformiga släcksystem i det att de fyller ut hela utrymmet men har ingen definierad släckande koncentration som de gasformiga släckmedlen. Spraybränders effekt minskar marginellt innan bränderna helt släcks vid lättskumsbegjutning /I/. Orsaken till detta är att skummet transporterar sig mot flaman med en hastighet av ett par meter per sekund medan hastigheten på det utströmmande bränslet är betydligt större samtidigt som strålningen från flaman bryter ner skummet. Detta gör att ett hål i skummet bildas runt flaman. Inte innan

vattenånga från skummet sugas in i flammen påverkas denna kraftigt. Vid pölbränder är situationen annorlunda. Hastigheten hos flammen är betydligt lägre och därmed kommer skummet åt flammen. Vid aktivering av lättskumssystem som använder interna brandgaser kyls brandgaserna snabbt och ett sätt att simulera det i datormodeller är att minska brandeffekten trots att branden i själva verket fortgår med oförändrad effekt. I datorsimuleringarna har effekten minskats linjärt till noll på en minut med en halv minuts tidsfördröjning enligt diagram 7.6.

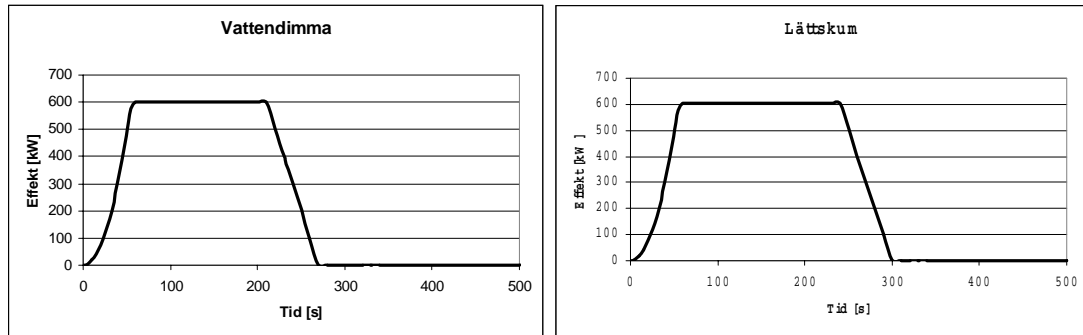


Diagram 7.5–7.6. Brandförlopp med vattendimma respektive lättskum som släcksystem.

Tungskumssystemet skiljer sig från de övriga genom att inte fylla upp hela utrymmet vilket innebär att det inte klarar av alla bränder enligt den applicering som används i denna rapport. Vid simulering av tungskumssystem antas effekten sjunka linjärt till noll på en halv minut enligt diagram 7.7.

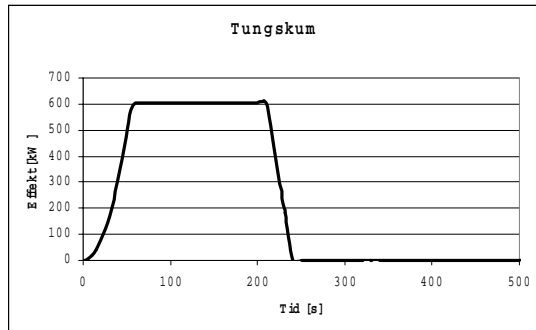


Diagram 7.7. Brandförlopp med tungskum som släcksystem.

8 ANALYS AV SKROVMATERIAL I KONKALORIMETER OCH HSLAB

För att erhålla värmeledningstalets beroende av temperaturen för brandskyddsfärgen och skrovmaterialet och övriga värmeegenskaper för konstruktionen har tester utförts med hjälp av en konkalogrimeter. Temperaturförändringen i materialen mäts vid konstanta strålningsintensiteter under en viss tid. Därefter simuleras försöken i datorprogrammet HSLAB /F/ med bl.a. varierande värmeledningstal tills temperaturerna stämmer överens med försöken.

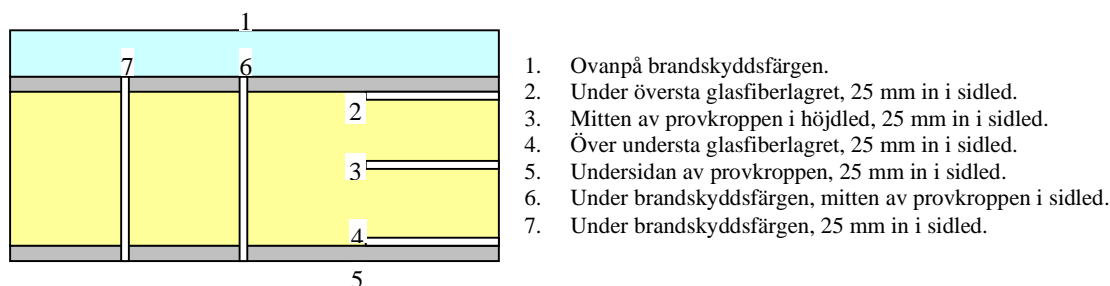
8.1 FÖRSÖKSUPPSTÄLLNING OCH UTFÖRANDE AV KONKALORIMETERFÖRSÖK

Försöksutrustningen /J/ består av en horisontell konvärmare som är placerad under en öppen huv som är ansluten till en kanal, för mer information se bilaga 2. I kanalen mäts gasflödet, gastemperaturen, syrgaskoncentrationen och tätheten av röken. Dessa funktioner användes dock inte under försöken i detta arbete. Konvärmaren består av ett yttre och ett inre hölje med mellanliggande isoleringsmaterial. Värmen erhålls från tre värmeelement innanför det inre höljet. Effekten på värmeelementen kontrolleras med hjälp av ett termoelement. Provkroppen placeras i en hållare av rostfritt stål. Hållare och provkropp placeras på en platta som via en stång är monterad på en våg. Materialprovet består av ett sandwichelement som i de tre första av de sju försöken är bestruket med brandskyddsfärg. För att erhålla rätt storlek på provkroppen så att den passar i hållaren och för att isolera sidorna användes mineralull se figur 8.1. Detta gjordes också för att minska randeffekterna. Provkropparna är sandwichelementet som består av flera laminatlager. Kärnan är av expanderad polyvinylklorid. På båda sidorna av kärnan finns ett 4 mm tjockt lager av glasfiber.



Figur 8.1. Provkropp med omslutande mineralull i hållare.

Varje provkropp utsattes sedan för konstant strålningspåverkan under en viss tid. Kalibreringen av strålningen sker enligt bilaga 2. Temperaturerna mättes på olika punkter i och utanpå provkropparna med hjälp av termoelement, TC. Vid de tre försöken med brandskyddsmålade provbitar mättes temperaturen på sju olika ställen se figur 8.2. Vid de fyra försök som utfördes utan brandskyddsfärg mättes temperaturen på fyra olika punkter motsvarande punkterna 2,3,6 och 7 enligt figur 8.2.



Figur 8.2. Schematisk genomskärning av provkropp med expanderad brandskyddsfärg och termoelementens placering.

8.2 RESULTAT FRÅN KONKALORIMETERFÖRSÖK

Testerna visade att materialet hade bra isolerande egenskaper. Temperaturen steg endast måttligt i mitten av konstruktionen och på baksidan av konstruktionen var temperaturökningen endast en eller ett fåtal grader. I diagrammen 8.1-8.3 nedan redovisas endast sex av de sju termoelementen. Detta beror på att termoelement ett var fastejpat ovanpå brandskyddsfärgen men släppte vid alla tre försöken i ett tidigt skede och gav därför helt felaktiga värden. Det konstiga utseendet av grafen för TC 2 i test tre beror på att vid detta försök började provkroppen brinna i kanterna och glasfiberskiktet släppte från PVC-kärnan. Därav så kunde värme från lågorna enkelt transportas in under glasfiberskiktet och temperaturen blev därför högre på undersidan än ovasidan som skyddades av brandskyddsfärgen ovanifrån.

Temperaturerna skall jämföras med 180°C som ungefär är den temperatur som hos PVC-materialet gav skador enligt nedan.

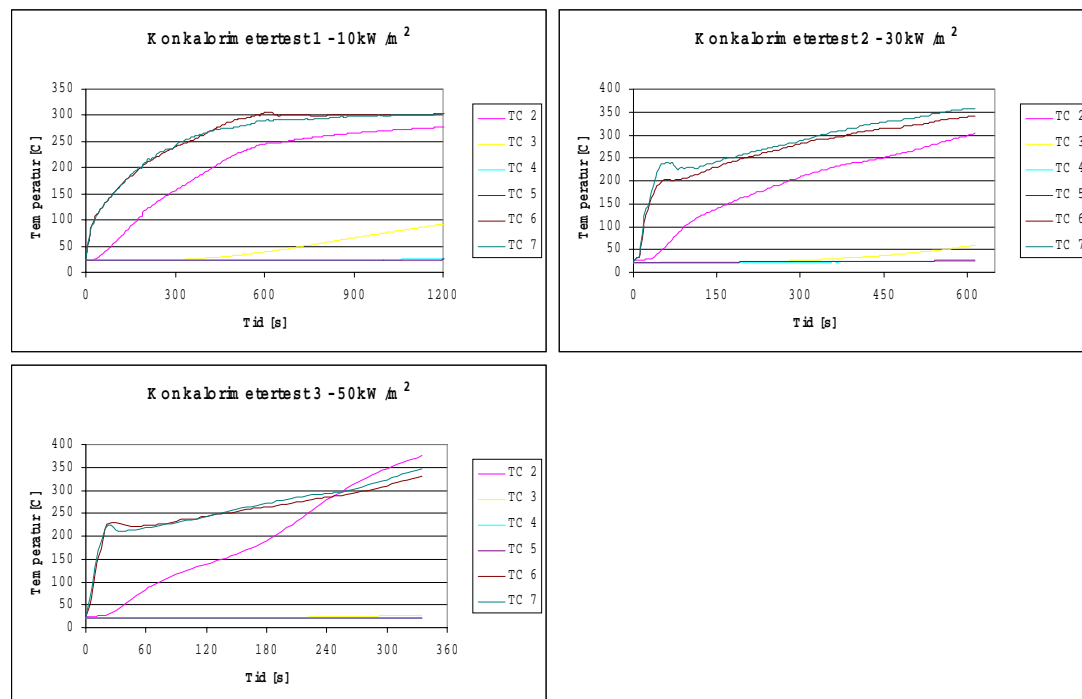


Diagram 8.1-8.3. Temperaturkurvor från konkalogimetertest med brandskyddsmålade provkroppar.

Tydliga skador fanns på provkropparna. Det var lätt att se att skadorna var störst i kanterna på grund av randeffekterna. Provkropparna från de tre första försöken

delades för att se hur stora skadorna var i mitten av provkropparna där randeffekterna är som minst. Skadorna djup uppskattades visuellt och som skada sattes förkolnat material, se figur 8.3 och 8.4. Kärnmaterialet hade också deformerats så de värdena för de uppskattade skadedjupen fick räknas om så att de stämde med ursprungsdimensionerna på provkropparna.



Figur 8.3-8.4. Provkropp hel och delad efter konkolorimetertest $3(50 \text{ kW/m}^2)$.

8.3 DATORMODELL OCH SIMULERING I HSLAB

Simulering av värmetransporten genom brandskyddsfärgen och skrovmaterialet har utförts i programmet HSLAB. Programmet kan hantera värmeledning genom skivor med upp till tio olika materialskikt. Den teoretiska modellen för värmeledningen är endimensionell värmeledning d.v.s. att temperaturen beror endast av positionen x , $0 \leq x \leq L$, och tiden t , $t \geq t_0$. För att lösa värmeledningsekvationen måste en mängd indata specificeras. Programmet har en del inbyggda osäkerheter. En är att den bygger på en numerisk lösning av en ekvation. Lösningens noggrannhet beror av längden på tidsstegen och av delskiktens tjocklek. En annan begränsning med programmet är att det förutsätter en endimensionell värmeledning. Detta gör att randeffekterna inte tas med.

Till att börja med simulerades de olika uppställningarna som gjordes i försöken med konkolorimetern. Utifrån försöken och materialkänedom fanns indata som var givna.

- Infallande strålning
- Tjockleken på materialen

Densiteterna för de olika skikten kunde approximativt beräknas. Övriga indata antogs. En del materialegenskaper togs från liknande material via litteratur.

Värmeledningstalen för brandskyddsfärgen och sandwichelementet och övriga indata varierades tills temperaturen i simuleringarna stämde överens med försöken som också var kända. Kombinationen av indata ansågs nu vara representativa för konstruktionen. Därefter bestämdes via simuleringar vilka temperaturer som erhållits vid gränsen mellan skadat och icke skadat material i de olika försöken.

Temperaturerna erhöles genom att läsa av dem vid de djup där skadorna slutat. Med dessa bestämda indata utfördes nya simuleringar utan isoleringsmaterial bakom skrovmaterialet vilket innebär att det var luft på baksidan av materialet som i den verkliga situationen. Strålningspåverkan varierades tills temperaturen på ca. 180°C som är gränsvärde för skador enligt nedan erhöles på skrovmaterialet vid en mycket lång tidspåverkan, i simuleringarna satt till 120 minuter. Två olika skadegränsvärden togs fram:

- Gränsfall ett var att PVC-kärnan alldeles innanför den exponerade sidan av glasfiberskiktet erhöll skadlig temperatur.
- Gränsfall två var att PVC-materialet i mitten av konstruktionen erhöll skadlig temperatur.

Högre strålningspåverkan simulerades också för att erhålla korttidsgränsvärden för skador. Dessa resultat användes sedan som indata för komponentskada i FREIA.

8.4 RESULTAT FRÅN HSLAB

För de lägre strålningsintensiteterna visade simuleringarna och testerna liknande temperaturkurvor se diagram 8.4-8.5. För den högre strålningsintensiteten som i test tre är skillnaderna större. En stor del av skillnaden beror troligtvis på att provkroppen började brinna i test tre vilket inte kan simuleras.

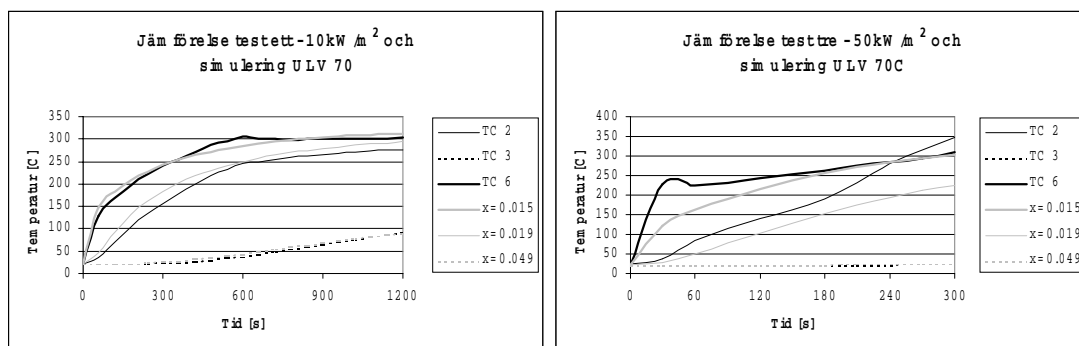


Diagram 8.4-8.5. Temperaturkurvor från simuleringar i HSLAB och försök i konkolorimeter, svarta linjer representerar tester och gråa simuleringar.

Temperaturerna som erhöles vid gränsen till skadat material blev 205°C, 128°C och 143°C för test ett, två respektive tre. Temperaturerna vid gränsskiktet till skada är betydligt lägre vid de högre strålnings effekterna enligt simuleringarna. Detta beror troligtvis på att simuleringarna underpredikterar temperaturerna något för de högre strålnings effekterna och att det brann i provkroppen under test tre.

Medeltemperaturen från simuleringarna av skadegränsen är 159°C, men då ovanstående fel är kända sätts temperaturen för skada i PVC-kärnan till det något högre värdet 180°C. Detta kan vara ett något högt värde vilket skulle innebära att resultaten hamnar på den osäkra sidan. På fartygen kompenseras detta dock med att glasfiberskiktet är tjockare än vad det är på provkropparna i försöken och i simuleringarna. Så sammantaget hamnar resultaten på den säkra sidan.

Värdet på 180°C skall jämföras med data från /K/ som visar att termisk nedbrytning på PVC-material kan erhållas vid temperaturer från 83°C (356K) och att temperaturen för en procents nedbrytning är 184°C (457K).

Skadekriterierna för skrovmaterialet blev att för PVC-kärnan precis bakom glasfiberskiktet så kunde den utstå en strålningsintensitet på 2,5 kW/m² under lång tid. Vid en strålning på 50 kW/m² så klarade den sig i 200 sekunder.

För att skadan skulle nå till mitten av PVC-kärnan vilket var skadekriteriet nummer två så krävdes mer än 9 kW/m² under lång tid eller 20 kW/m² under 50 minuter (3000 sekunder). Tyvärr kunde inte högre strålningsintensiteter simuleras under längre tider för programmet klarade inte av att lösa detta numeriskt.

9 SIMULERING OCH ANALYS AV BRANDFÖRLOPPET OCH SKADOR

Modellering av brandförloppet via handberäkningsmodeller och/eller via simuleringar i datamodeller är ett hjälpmedel vid analys av brandförloppet och de skador som kan tänkas uppkomma därav. I denna rapport modelleras brandförloppet i huvudsak i programpaketet FREIA /E/. Vid simulering av skadorna krävs indata till FREIA som har framtagits genom tester i konkalorimeterförsök och modellering i programmet HSLAB /F/. Även programpaketet Hazard /L/ har använts för att simulera brandförloppet för att kunna jämföras med simuleringarna från FREIA.

9.1 DATORMODELL OCH SIMULERING

Programpaketet FREIA bygger på olika delprogram. Brandförloppet modelleras i FIRE SIMULATOR. Detta delprogram är hämtat från FPETOOL /M/. Modellen bygger på en s.k. tvåzonsmodell. Detta innebär att rummet delas in i två zoner, en övre varm zon med brandgaser och en nedre kall zon. Programmet löser ekvationerna för massa och energi för varje tidssteg och de båda zonerna. Tyvärr har programmet stora begränsningar vad det gäller modellering av utrymmet.

- Endast ett rum i taget kan simuleras \Rightarrow programmet tar inte hänsyn till att ett brandgaslager kan byggas upp i ett intilliggande rum vilket påverkar inströmning av luft och utströmning av varma brandgaser.
- Öppningar i taket kan inte läggas in \Rightarrow öppningar måste simuleras med öppningar i översta delen av väggarna vilket också påverkar in- och utströmning enligt ovan.

Därför har programpaketet Hazard också använts för att simulera och analysera brandförloppet. Detta program kan simulera flera utrymmen samtidigt men har inte FREIA's programdel som simulerar skador på komponenter. Programmet bygger på en rad förenklingar och antaganden som är viktiga att ta hänsyn till:

- Branden ses som en källa till energi och massflöde vilket motsvarar temperatur och brandgaser
- Temperaturerna i det nedre lagret och i det övre brandgaslagret är homogena för vart och ett av lagerna

Den sista förenklingen innebär att även Hazard bygger på en s.k. tvåzonsmodell. I simuleringarna har maskinutrymmet efterliknats så noggrant som möjligt. Utrymmet har delats in i fyra mindre utrymmen, maskinkappen, övre maskinrum, nedre maskinrum och utrymmet i hålskeppet. Förbindelse mellan utrymmena har lagts in i väggarna motsvarande storleken på öppningarna som egentligen finns i golv och tak. Flera olika sätt att modellera utrymmet provades i FREIA med varierande dimensioner på utrymmet och öppningar. Målet var att resultaten av temperaturen i brandgaslagret skulle efterlikna det som simuleringarna i Hazard gav. Att modelleringen i Hazard användes som förebild grundar sig på att i det programmet kan ett komplicerat utrymme simuleras som flera utrymmen med flera öppningar mellan sig enligt ovan.

När det var klart hur utrymmet skulle modelleras i FREIA så gjordes de verkliga simuleringarna där brandförloppen varierades p.g.a. vilket släcksystem som förutsattes vara installerat. Brandförloppen konstruerades enligt kapitel 7. För att erhålla om skrovmaterial var skadat så måste också skadekriterier för detta anges.

Skrovmaterialiet simulerades som linjekomponenter som var placerade längs en vägg och taket så att de största skadorna skulle inkluderas. Kriterierna för skador var resultaten från försöken i konkalorimetern och simuleringarna i HSLAB enligt kapitel 8. Känslighetsanalys utfördes där aktiveringstiden förlängdes från tre till fem minuter vilket innebär att branden fick fortgå under två extra minuter. Detta för att se hur stor inverkan antagandet om tre minuters aktiveringstid hade.

9.2 RESULTAT

Det brandförlopp som valdes som jämförelseförlopp mellan Hazard och FREIA var den dimensionerande spraybranden och den fick pågå under 15 minuter. Öppningar ut till omgivningen motsvarande att luckorna i maskinkappen var öppna fram till 150 sekunder och därefter fanns endast läckageytor. Tiden 150 sekunder innebär att luckorna stängs en minut innan släcksystemet aktiveras. Den simulering i FREIA som gav bäst överstämmelse med Hazard var FREIA 21 se diagram 9.1.

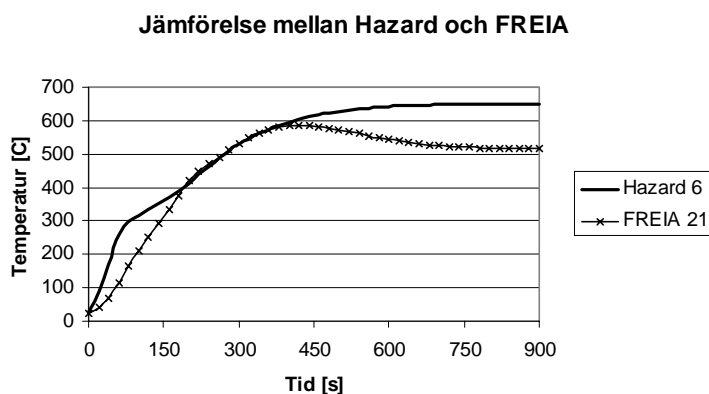


Diagram 9.1. Brandgaslagrets temperatur enligt Hazard och FREIA vid dimensionerande spraybrand under 15 minuter och inget släcksystem.

I FREIA 21 simulerades maskinutrymmet med en golvyta lika stor som det nedre maskinrummet men med en takhöjd som var lägre än de båda maskinrummen tillsammans för att volymen skulle vara enligt verkligheten. Temperaturen i brandgaslagret blev något lägre i FREIA men detta är positivt då Hazard har en tendens att överprediktera temperaturen.

Simulering tre och åtta i diagram 9.2 nedan redovisar temperaturen i brandgaslagret för brandförloppen med halon/HFC-gaser som släckmedel där tre är spraybrand och åtta pölbrand. Simulering fyra och nio i diagram 9.3 redovisar motsvarande fast för CO₂/inertgaser som släckmedel.

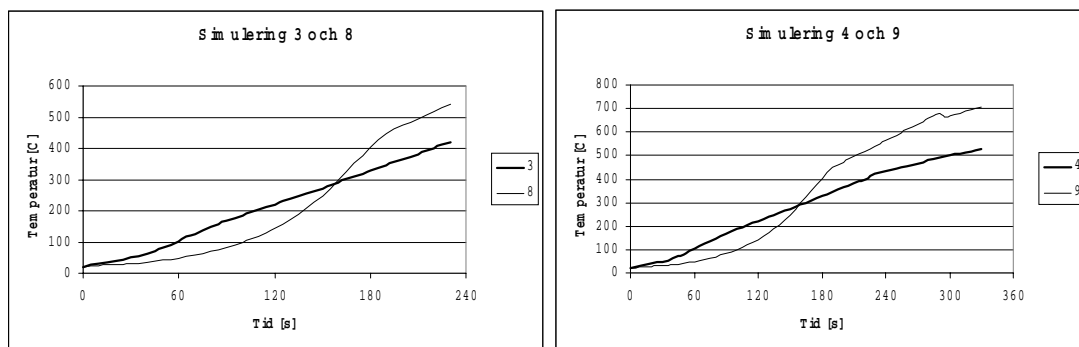


Diagram 9.2-9.3. Brandgaslagrets temperaturer

Diagrammen visar att temperaturerna inte hinner stiga lika högt för halon/HFC-gaserna som för CO₂/inertgaser då branden kan fortgå under en längre tid med de sistnämnda släckmedlen. De visar också att sannolikheten för övertändning är betydligt större för de långsammare släckmedlen. Skadornas omfattning på skrovmaterial som också taken är uppbyggda av visade sig inte bli så stora. Att skadorna blev förhållandevis små kan bero på hur skada har definierats samt att konstruktionen är värmetåligt. Normalt sett när komponenter betraktas så innebär det små komponenter t.ex. kablar. I mitt fall utgörs komponenterna av 68 mm tjockt skrovmaterial som dessutom är brandskyddsmålat vilket innebär att tid till skada ökar. I diagram 9.4 redovisas förhållandet mellan erhållen värmemängd hos komponenterna och den värmemängd som ger skada. En stapel som har höjden ett innebär att komponenten är skadad.

Skadescenario spraybrand

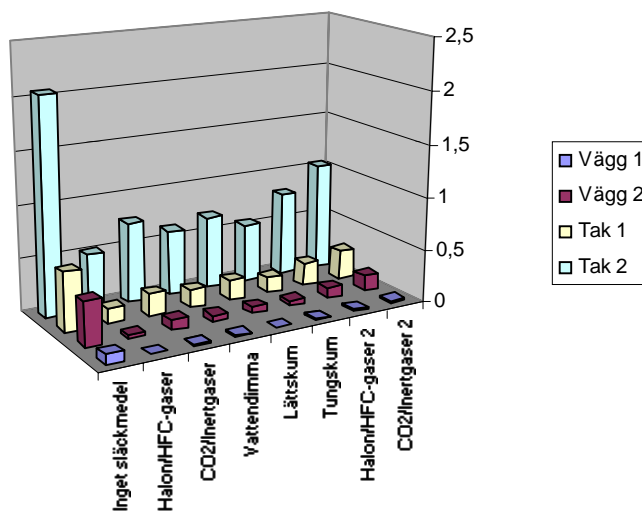


Diagram 9.4. Skadeverkan på skrovmaterial som förhållandet mellan erhållen värmemängd och skadlig värmemängd. Simuleringar med en 2:a i namnet är känslighetsanalyser med frm minuters aktiveringstid mot normala tre.

Vägg 2 är längs väggen och gränsfall ett vilket innebär skada precis under glasfiberskiktet. Vägg 1 är också längs väggen men i mitten av konstruktionen d.v.s.

skadegränsfall två. Tak 2 motsvarar vägg 2 fast är placerad i taket och tak 1 motsvarar vägg 1 fast även den i taket.

Diagrammet visar att skillnaden mellan de olika släckmedlen och bränderna är relativt små och att skadorna i helhet är låga. Att skillnaderna på skadorna är så små trots att skillnaden på utströmningstiden är stor beror på att aktiveringstiden är lång. Därmed blir skillnaden i tid från brandstart till att den släckande koncentrationen är uppbyggd relativt liten se diagram 9.5. Vägg 1 och tak 1 visar att skador i mitten av materialet är inte troligt. Tydligt är också att det är viktigt att ett släcksystem finns då skadorna vid en brand som får pågå under 15 minuter enligt simulering utan släckmedel blir betydligt större. Skillnader mellan de snabbare och långsammare släckmedlen finns även om de i dessa simuleringar inte är direkt avgörande. De kan dock vara det för känsligare komponenter. Till detta skall det dock läggas att zonmodellen jämnar ut temperaturen i hela brandgaslagret medan det i det verkliga fallet kan vara betydligt varmare rakt ovanför branden där plymen stiger upp. Därför bör en faktor på upp till två läggas till skadevärdet. Trots denna faktorn kommer inte skadlig temperatur att uppkomma i mitten av konstruktionen enligt simuleringarna med de olika släckmedlen.

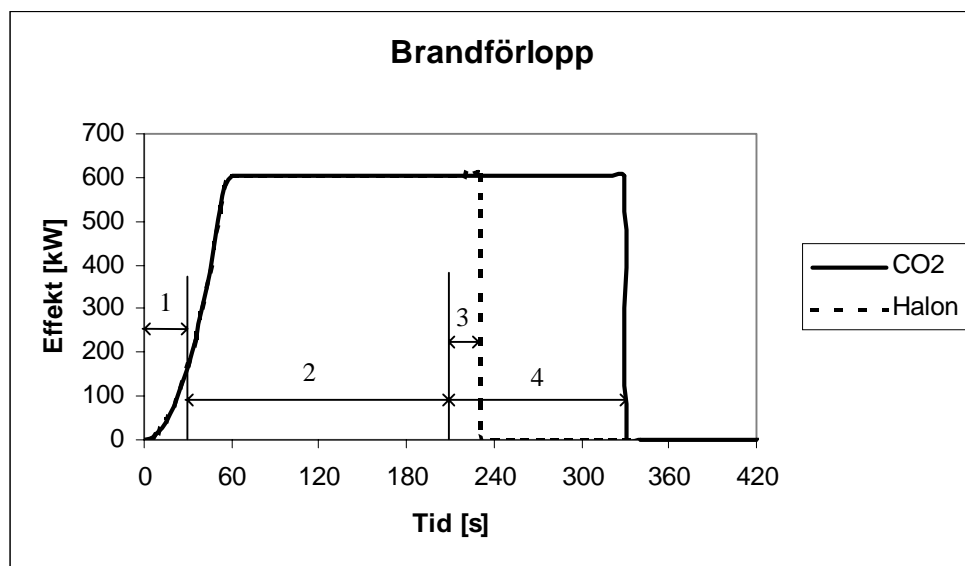


Diagram 9.5. Brandförloppet och släckorganisationens olika delar, där 1 är detektionstid, 2 aktiveringstid, 3 utströmningstid för halon och 4 utströmningstid för koldioxid.

10 SLÄCKMEDEL OCH SLÄCKSYSTEM

En kortfattad beskrivning av släckmedlen och släcksystemen. En del av för- och nackdelarna med dem enligt bedömningsområdena som tas upp i kapitel 5 redovisas. De fysikaliska egenskaperna och släckkoncentrationerna för de gasformiga släckmedlen nedan är hämtade ur Gasformiga alternativ till halon som släckmedel /N/ och Review of total flooding gaseous agents as halon 1301 substitutes /O/. Den övre raden av släckande koncentrationer är från /N/ medan den nedre är hämtad från /O/. De fysikaliska egenskaperna för Halotron IIB är hämtade från Fullskaleförsök med släckgaserna FM 200, Halotron IIB, Inergen /AA/.

10.1 HALON 1301

Halon 1301 hör till de helhalogenerade kolvätena de s.k. CFC-föreningarna. Dessa föreningarna är sedan årsskiftet 1997/1998 förbjudna som fasta släckinstallationer. Halon 1301 har varit ett mycket populärt släckmedel inom sjöfarten och för att visa på de avkall på krav som måste göras vid övergång till andra släckmedel används i denna rapport halon 1301 som referensmedel.

10.1.1 FÖRDELAR

Halon 1301 har många fördelar. Släckande koncentrationen är låg vilket tillsammans med att den är tryckkondenserad gör den har låg lagringsvolym och vikt. Vid släckande koncentration är den ofarlig för människan. Systemet bygger snabbt upp den släckande koncentrationen och har god penetrationsförmåga. Släckmedlet är dessutom rent och icke elektriskt ledande.

10.1.2 NACKDELAR

Halon 1301 stora nackdelar vilket också gjorde att medlet förbjöds är dess påverkan på miljön. Den är både ozonnedbrytande och bidrar dessutom till växthuseffekten. Den bildar också korrosiva nedbrytningsprodukter vid brand.

10.1.3 FYSIKALISKA EGENSKAPER

Tabell 10.1. Fysikaliska egenskaper för halon 1301.

Egenskap	Enhet	Värde
Molekylvikt	g/mol	148,9
Kokpunkt vid atmosfärstryck	°C	-57,90
Fryspunkt	°C	-172
Kritisk temperatur	°C	67,1
Kritiskt tryck	bar absolut	39,6
Kritisk volym	cm ³ /mol	196
Kritisk densitet	kg/m ³	
Ångtryck vid 25°C	bar absolut	16,2
Vätskedensitet vid 25°C	kg/m ³	1551
Densiteten för mättad ånga vid 20°C	kg/m ³	120
Specifik volym av överhettad ånga vid atmosfärstryck och 20°C	m ³ /kg	0,162
Värmekapacitet för gas vid 25°C	kJ/(kg K)	0,465
Kemisk formel		CBF ₃
Kemiskt namn		bromotrifluorometan
Handelsnamn		Halon 1301

Tabell 10.2. Släckkoncentrationer för halon 1301.

	propan cup burner	propan inertering	heptan cup burner	n-heptan inertering
Släckkoncentration [%]	- -	- 4,3-7,7	- 2,9-4,0	- 3,1

10.2 HFC BLEND A

HFC Blend A eller Halotron IIB som den också kallas hör till de halogenerade gaserna de s.k. HFC-gaserna. De består av grundämnena kol, väte, fluor och jod. Till skillnad från halonerna så innehåller de alltid väte medan de saknar brom och klor. Många egenskaper liknar de som halon 1301 har.

10.2.1 FÖRDELAR

Släckande koncentration för HFC Blend A är förhållandevis låg och den lagras tryckkondenserad. Släcksystemet har därmed liten volym och vikt. Släckmedlet har högt ångtryck vilket ger god penetrationsförmåga samt kort utströmningstid. Det är rent och icke elektriskt ledande.

10.2.2 NACKDELAR

HFC Blend A bidrar till växthuseffekten vilket innebär att det på sikt kan komma restriktioner i användandet av medlet. Vid brand bildas betydande mängder korrosiva nedbrytningsprodukter. Innan den släckande koncentrationen är uppbyggd kan dessutom släckmedlet öka brandens effekt.

10.2.3 FYSIKALISKA EGENSKAPER

Tabell 10.3. Fysikaliska egenskaper för HFC Blend A.

Egenskap	Enhet	Värde
Molekylvikt	g/mol	99,49
Kokpunkt vid atmosfärstryck	°C	-26,3 till -78,5
Fryspunkt	°C	-67,4 till -101,0
Kritisk temperatur	°C	86
Kritiskt tryck	bar absolut	43,2
Kritisk volym	cm ³ /mol	
Kritisk densitet	kg/m ³	421
Ångtryck vid 20°C	bar absolut	14,9
Vätskedensitet	kg/m ³	1190
Densiteten för mättad ånga vid 20°C	kg/m ³	4,13
Specifik volym av överhettad ånga vid atmosfärstryck och 20°C	m ³ /kg	0,242
Värme kapacitet för gas vid 25°C	kJ/(kg K)	
Kemisk formel		CF ₃ CHF ₂ (~80%) CF ₃ CH ₂ F, CO ₂
Kemiskt namn		HFC-134a, HFC-125, koldioxid
Handelsnamn		Halotron IIB

Tabell 10.4. Släckkoncentrationer för HFC Blend A.

	propan cup burner	propan inertering	n-heptan cup burner	n-heptan inertering
Släckkoncentration [%]	-	15 ¹	9	-
	-	18	9,9-11,6	-

¹ Inerteringvärdet som FMV har valt att utgå ifrån. Framtaget vid Institutionen för brandteknik i Lund från experimentella bestämningar och beräkningar /BB/.

10.3 HFC 227 EA

HFC 227 ea eller FM 200 som är dess handelsnamn hör till de halogenerade gaserna de s.k. HFC-gaserna. De består av grundämnena kol, väte, fluor och jod. Till skillnad från halonerna så innehåller de alltid väte medan de saknar brom och klor. Många egenskaper liknar de som halon 1301 har.

10.3.1 FÖRDELAR

HFC 227 ea lagras tryckkondenserad. Släcksystemet har därmed liten volym och vikt, men släckmedlet i sig har hög vikt. Det är rent och icke elektriskt ledande.

10.3.2 NACKDELAR

HFC 227 ea bidrar till växthuseffekten vilket innebär att det på sikt kan komma restriktioner i användandet av medlet. Vid brand bildas betydande mängder korrosiva nedbrytningsprodukter. Innan den släckande koncentrationen är uppbyggd kan dessutom släckmedlet öka brandens effekt. Släckmedlet har hög kokpunkt och lågt ångtryck vilket gör att temperaturområdet som det är lämpligt att användas i är begränsat samt att penetrationsförmågan blir dålig.

10.3.3 FYSIKALISKA EGENSKAPER

Tabell 10.5. Fysikaliska egenskaper för HFC 227 ea.

Egenskap	Enhet	Värde
Molekylvikt	g/mol	170
Kokpunkt vid atmosfärstryck	°C	-16,4
Fryspunkt	°C	-131,1
Kritisk temperatur	°C	101,7
Kritiskt tryck	bar absolut	29,12
Kritisk volym	cm ³ /mol	274
Kritisk densitet	kg/m ³	621
Ångtryck vid 20°C	bar absolut	3,91
Vätskedensitet	kg/m ³	1407
Densiteten för mättad ånga vid 20	kg/m ³	31,176
Ångdensiteten vid 21°C och 1 bar	kg/m ³	7,26
Specifik volym av överhettad ånga vid atmosfärstryck och 20°C	m ³ /kg	0,141
Värme kapacitet för gas vid 25°C	kJ/(kg K)	0,808
Kemisk formel		CF ₃ CHFCF ₃
Kemiskt namn		heptafluoropropan
Handelsnamn		FM 200

Tabell 10.6. Släckkoncentrationer för HFC 227 ea.

	propan cup burner	propan inertering	n-heptan cup burner	n-heptan inertering
Släckkoncentration [%]	-	11,5-11,7	5,8-6,6	-
	-	11,5-12,0	5,8-6,6	7,7

10.4 CO₂

Koldioxid är en inert gas som bland annat bildas vid förbränning. Den lagras till skillnad från övriga inertgaser tryckkondenserad varför den ofta särskiljs från dessa. Den är en växthusgas och Sverige har beslutat att utsläppen av koldioxid skall minska efter år 2000. Detta påverkar dock inte koldioxid som används som släckmedel då denna mängd är försumbar jämfört med övriga utsläppskällor.

10.4.1 FÖRDELAR

Koldioxid är ett rent släckmedel som varken är korrosivt i sig självt eller bildar korrosiva nedbrytningsprodukter. Den har ett högt ångtryck vilket ger god penetrationsförmåga. Den lagras tryckkondenserat vilket innebär liten lagringsvolym i förhållande till andra inertgaser men dock ca tre gånger större än halon 1301.

10.4.2 NACKDELAR

Största nackdelen med koldioxid är att den är dödlig för människan vid släckande koncentration. Detta innebär att ingen automatisk aktivering får ske i utrymmen som är bemannade. Vid aktivering måste dessutom det vara en viss tidsfördröjning innan släckmedlet släpps ut. Detta tillsammans med lång utströmningstid gör att det tar lång tid innan släckande koncentration är uppbyggd i brandrummet.

10.4.3 FYSIKALISKA EGENSKAPER

Tabell 10.7. Fysikaliska egenskaper för CO₂

Egenskap	Enhet	Värde
Molekylvikt	g/mol	44
Kokpunkt vid atmosfärstryck	°C	-78
Frys punkt	°C	-56,57
Kritisk temperatur	°C	31
Kritiskt tryck	bar absolut	73,75
Kritisk volym	cm ³ /mol	94
Kritisk densitet	kg/m ³	
Ångtryck vid 20°C	bar absolut	60,8
Vätskedensitet	kg/m ³	720
Densiteten för mättad ånga vid 20°C	kg/m ³	1,7973
Specifik volym av överhettad ånga vid atmosfärstryck och 20°C	m ³ /kg	0,547
Värmekapacitet för gas vid 25°C	kJ/(kg K)	0,871
Kemisk formel		CO ₂
Kemiskt namn		koldioxid
Handelsnamn		koldioxid, kolsyra, CO ₂

Tabell 10.8. Släckkoncentrationer för CO₂.

	propan cup burner	propan inertering	n-heptan cup burner	n-heptan inertering
Släckkoncentration [%]	21	27,6	20	-
	-	27,6	20,4-28	-

10.5 IG 541

IG 541 även kallat Inergen tillhör gruppen atmosfäriska inertgaser. Den är en blandning av argon, kvävgas och koldioxid. Tillsatsen av koldioxid har skett för att öka andningsfrekvensen p.g.a. att syrekoncentrationen är låg vid släckande koncentrationer av inertgaser. Lämpligheten av denna tillsats är omdiskuterad.

10.5.1 FÖRDELAR

Inergen är ett rent och icke elektriskt ledande släckmedel. Det är varken korrosivt i sig självt eller bildar korrosiva nedbrytningsprodukter vid brand. Dessutom har det ingen miljömässig påverkan.

10.5.2 NACKDELAR

IG 541 har hög släckande koncentration och lagras endast tryckkomprimerad vilket ger stor lagringsvolym och vikt av systemet. Den släckande koncentrationen är såpass hög att syrehalten blir så låg att den befinner sig i gränsområdet till vad människan tål. Utströmningstiden är lång och omblandningsförmågan är kraftigt beroende på munstycksutformningen.

10.5.3 FYSIKALISKA EGENSKAPER

Tabell 10.9. Fysikaliska egenskaper för IG 541.

Egenskap	Enhet	Värde
Molekylvikt	g/mol	34,0
Kokpunkt vid atmosfärstryck	°C	-196
Fryspunkt	°C	-78,5
Kritisk temperatur	°C	
Kritiskt tryck	bar absolut	
Kritisk volym	cm ³ /mol	
Kritisk densitet	kg/m ³	
Ångtryck vid 20°C	bar absolut	152
Vätskedensitet	kg/m ³	
Densiteten för mättad ånga vid 20°C	kg/m ³	1,58
Specifik volym av överhettad ånga vid atmosfärstryck och 20°C	m ³ /kg	0,707
Värmekapacitet för gas vid 25°C	kJ/(kg K)	0,574
Kemisk formel		N ₂ (52%), Ar (40%), CO ₂ (8%)
Kemiskt namn		nitrogen, argon, koldioxid
Handelsnamn		Inergen

Tabell 10.10. Släckkoncentrationer för IG 541.

	propan cup burner	propan inertering	n-heptan cup burner	n-heptan inertering
Släckkoncentration [%]	32,3	49	29-29,1	-
	-	49-50	29,1	40

10.6 IG 55

IG 55 även kallad Argonite tillhör gruppen atmosfäriska inertgaser. Den är en blandning av argon och kvävgas.

10.6.1 FÖRDELAR

Argonite är ett rent och icke elektriskt ledande släckmedel. Det är varken korrosivt i sig självt eller bildar korrosiva nedbrytningsprodukter vid brand. Dessutom har det ingen miljömässig påverkan.

10.6.2 NACKDELAR

IG 55 har hög släckande koncentration och lagras endast tryckkomprimerad vilket ger stor lagringsvolym och vikt av systemet. Den släckande koncentrationen är såpass hög att syrehalten blir så låg att den befinner sig i gränsområdet till vad människan tål. Utströmningstiden är lång och omblandningsförmågan är kraftigt beroende på munstycksutformningen.

10.6.3 FYSIKALISKA EGENSKAPER

Tabell 10.11. Fysikaliska egenskaper för IG 55.

Egenskap	Enhet	Värde
Molekylvikt	g/mol	33,95
Kokpunkt vid atmosfärstryck	°C	-196
Fryspunkt	°C	-189
Kritisk temperatur	°C	
Kritiskt tryck	bar absolut	
Kritisk volym	cm ³ /mol	
Kritisk densitet	kg/m ³	
Ångtryck vid 20°C	bar absolut	
Vätskedensitet	kg/m ³	
Densiteten för mättad ånga vid 20°C	kg/m ³	
Specifik volym av överhettad ånga vid atmosfärstryck och 20°C	m ³ /kg	0,708
Värmekapacitet för gas vid 25°C	kJ/(kg K)	
Kemisk formel		N ₂ (50%), Ar (50%)
Kemiskt namn		nitrogen, argon
Handelsnamn		Argonite

Tabell 10.12. Släckkoncentrationer för IG 55.

	propan cup burner	propan inertering	n-heptan cup burner	n-heptan inertering
Släckkoncentration [%]	33	-	28->30	-
	-	-	>30	-

10.7 IG 100

IG 100 tillhör gruppen atmosfäriska inertgaser. Den består av ren kvävgas. Vanlig luft består till ca 79% av kvävgas.

10.7.1 FÖRDELAR

Kvävgas är ett rent och icke elektriskt ledande släckmedel. Det är varken korrosivt i sig självt eller bildar korrosiva nedbrytningsprodukter vid brand. Dessutom har det ingen miljömässig påverkan.

10.7.2 NACKDELAR

IG 100 har hög släckande koncentration och lagras endast tryckkomprimerad vilket ger stor lagringsvolym och vikt av systemet. Den släckande koncentrationen är såpass hög att syrehalten blir så låg att den befinner sig i gränsområdet till vad människan tål. Utströmningstiden är lång och omblandningsförmågan är kraftigt beroende på munstycksutformningen.

10.7.3 FYSIKALISKA EGENSKAPER

Tabell 10.13. Fysikaliska egenskaper för IG 100.

Egenskap	Enhet	Värde
Molekylvikt	g/mol	28,02
Kokpunkt vid atmosfärstryck	°C	-195,8
Frys punkt	°C	-210,0
Kritisk temperatur	°C	146,9
Kritiskt tryck	bar absolut	33,9
Kritisk volym	cm ³ /mol	90
Kritisk densitet	kg/m ³	
Ångtryck vid 20°C	bar absolut	
Vätskedensitet	kg/m ³	
Densiteten för mättad ånga vid 20°C	kg/m ³	
Specifik volym av överhettad ånga vid atmosfärstryck och 20°C	m ³ /kg	0,858
Värmekapacitet för gas vid 25°C	kJ/(kg K)	1,04
Kemisk formel		N ₂
Kemiskt namn		nitrogen
Handelsnamn		kvävgas

Tabell 10.14. Släckkoncentrationer för IG 100.

	propan cup burner	propan inertering	n-heptan cup burner	n-heptan inertering
Släckkoncentration [%]	-	38	30-33,6	-
	-	38	30-32	-

10.8 IG 01

IG 01 tillhör gruppen atmosfäriska inertgaser. Den består av ren argon. Argon är en ädelgas vilket innebär den under normala förhållanden inte reagerar med andra ämnen.

10.8.1 FÖRDELAR

IG 01 är ett rent och icke elektriskt ledande släckmedel. Det är varken korrosivt i sig självt eller bildar korrosiva nedbrytningsprodukter vid brand. Dessutom har det ingen miljömässig påverkan.

10.8.2 NACKDELAR

IG 01 har hög släckande koncentration och lagras endast tryckkomprimerad vilket ger stor lagringsvolym och vikt av systemet. Den släckande koncentrationen är såpass hög att syrehalten blir så låg att den befinner sig i gränsområdet till vad människan tål. Utströmningstiden är lång och omblandningsförmågan är kraftigt beroende på munstycksutformningen.

10.8.3 FYSIKALISKA EGENSKAPER

Tabell 10.15. Fysikaliska egenskaper för IG 01.

Egenskap	Enhet	Värde
Molekylvikt	g/mol	39,9
Kokpunkt vid atmosfärstryck	°C	-185,9
Fryspunkt	°C	-189,4
Kritisk temperatur	°C	-122,3
Kritiskt tryck	bar absolut	49,0
Kritisk volym	cm ³ /mol	75
Kritisk densitet	kg/m ³	536
Ångtryck vid 20°C	bar absolut	
Vätskedensitet	kg/m ³	
Densiteten för mättad ånga vid 20°C	kg/m ³	
Specifik volym av överhettad ånga vid atmosfärstryck och 20°C	m ³ /kg	0,603
Värme kapacitet för gas vid 25°C	kJ/(kg K)	0,521
Kemisk formel		Ar
Kemiskt namn		Argon
Handelsnamn		Argon, Argotec

Tabell 10.16. Släckkoncentrationer för IG 01.

	propan cup burner	propan inertering	n-heptan cup burner	n-heptan inertering
Släckkoncentration [%]	35	-	38-41	-
	-	-	41	-

10.9 VATTENDIMMA

Vattendimma alstras genom att vatten under högt tryck strömmar ut genom speciella dysor. I denna rapport har ett vattendimsystem beaktats med handelsnamnet HI-FOG®. Detta system använder avjoniserat vatten men för att bli godkänd för marina maskinutrymmen större än 50 m³ måste en kontinuerlig drift kunna ske vilket innebär att det också skall vara kopplat till sjövattnintag.

10.9.1 FÖRDELAR

Till skillnad från gasformiga släckmedel så har vattendimma en kraftigt kylande effekt. Systemet är dessutom kontinuerligt vilket ger en större säkerhet. Skulle en brand flamma upp när öppningar till utrymmet öppnas eller att läckaget från utrymmet är för stort så är det bara att aktivera systemet igen. Det kräver inte helt stängda utrymmen p.g.a. kontinuiteten. Det är inte farligt för människan och kan alltså aktiveras automatiskt. Ingen påverkan på miljön. Så länge som systemet utnyttjar vatten från tankarna är släckmedlet icke elektriskt ledande.

10.9.2 NACKDELAR

Vikten av systemet blir stort då det kräver pumpar och tankar för avjoniserat vatten. Mindre täckta bränder klarar vattendimma ibland inte av att släcka. System som godkänns av IMO skall dock klara de tester som ställs i MSC/Cirkulär. 668 och MSC/Cirkulär. 728, där även täckta bränder ingår. Så de system som har godkänts av IMO för maskinrum förutsätts klara dessa bränder. När systemet går över på att ta sjövattnen d.v.s. när det avjoniserade vattnet är slut så ökar korrosiviteten för släckmedlet. Systemet kräver också elkraft från fartyget motsvarande 15 kW vid 50 Hz och 18 kW vid 60 Hz. Även nödkraft motsvarande detta krävs.

10.9.3 FYSIKALISKA EGENSKAPER

Tabell 10.17. Fysikaliska egenskaper för vatten.

Egenskap	Enhet	Värde
Molekylvikt	g/mol	18
Kokpunkt vid atmosfärstryck	°C	100
Fryspunkt	°C	0
Kritisk temperatur	°C	374
Kritiskt tryck	bar absolut	221
Kritisk volym	cm ³ /mol	
Kritisk densitet	kg/m ³	
Ångtryck vid 20°C	bar absolut	0,0234
Vätskedensitet	kg/m ³	1000
Densiteten för mättad ånga vid 20°C	kg/m ³	
Specifik volym av överhettad ånga vid atmosfärstryck och 20°C	m ³ /kg	
Värmekapacitet för gas vid 20°C	kJ/(kg K)	4,19
Ångbildningsvärme	MJ/kg	2,26
Kemisk formel		H ₂ O
Kemiskt namn		vatten
Handelsnamn		HI-FOG®

10.10 LÄTTSKUM

Lättskum består normalt av en blandning av skumvätska, vatten och luft. Skumvätskan blandas med vatten och sedan sugas luft in i skumaggregatet och ett skum bildas. Det system som beaktas i denna rapport använder sig av de interna rökgaserna istället för att ta friskluft utifrån. Handelsnamnet på detta system är HotFoam[®]. För att klara av att producera skum med varma rökgaser krävs det en speciell skumvätska. För att skummet skall räknas till lättskum skall skumtalet vara 200 eller högre. Specifika data nedan är hämtade från /P/.

10.10.1 FÖRDELAR

Lättskummet har en kylande effekt tack vare de varma brandgaserna sugas in i aggregatet och kyls av vattnet i skummet samt att i inledningsskedet innan skummet börjar produceras så avges en finfördelad spray från munstyckena i aggregaten. Det är inte farligt för människan och kan alltså aktiveras automatiskt. För att släcka krävs inte helt stängda utrymmen.

10.10.2 NACKDELAR

Till lättskummets nackdelar hör att skummet inte kommer åt vid trånga geometrier. Försök utförda på SP /I/ visar också att lättskum har problem att släcka vissa spraybränder. System som godkänns av IMO skall dock klara de tester som ställs i MSC/Cirkulär. 668 och MSC/Cirkulär. 728, där olika typer av spraybränder ingår. Så de system som har godkänts av IMO för maskinrum förutsätts klara dessa bränder. Systemet kräver också elkraft från fartyget motsvarande ca. 20 kW. Även nödkraft motsvarande detta krävs.

10.10.3 SPECIFIKA DATA

Tabell 10.18. Specifika data för Meteor P skumvätska.

Egenskap	Enhet	Värde
Specifik vikt	m ³ /kg	1,03
pH		7,0-8,5
Expansionstal, nominellt		20-800:1
Rekommenderad inblandning lättskum	%	2
Dräneringstid (25%)	min	6-12
Viskositet vid 20°C	mPa s	200-250
Viskositet vid 12°C	mPa s	340-390
Lagringstemperatur	°C	min + 9
	°C	max + 49
Användningstemperatur	°C	min + 12
Handelsnamn		Meteor P

10.11 TUNGSKUM

Tungskum består av en blandning av skumvätska, vatten och luft. Skumvätskan blandas med vatten och sedan sugs luft in i skumsprinklern och ett skum bildas. För att skummet skall räknas till tungskum skall skumtalet vara lägre än 20.

10.11.1 FÖRDELAR

Tungskummet har en kylande effekt tack vare vattnet i skummet. Det är inte farligt för människan och kan alltså aktiveras automatiskt. För att släcka krävs inte stängda utrymmen.

10.11.2 NACKDELAR

Ett tungskumssystem är inte dimensionerat för att fylla ett helt utrymme som de gasformiga släckmedlen, vattendimsystemet eller lättskumssystemet. Täckta bränder där skummet inte kommer åt klarar därför systemet inte av att släcka. System som godkänns av IMO skall dock klara de tester som ställs i MSC/Cirkulär. 668 och MSC/Cirkulär. 728, där olika typer av täckta bränder ingår. Så de system som har godkänts av IMO för maskinrum förutsätts klara dessa bränder. Vid långvarig drift skapas stora mängder släckvatten som skall tas omhand. Vikten för systemet blir också mycket stort om färskvattentank för lång försörjning av systemet skall finnas. Systemet kräver också elkraft från fartyget motsvarande ca. 20 kW. Även nödkraft motsvarande detta krävs.

10.11.3 SPECIFIKA DATA

Tabell 10.19. Specifika data för Light Water AFFF skumvätska.

Egenskap	Enhet	Värde
Densitet	kg/m ³	1030
pH		ca. 8,5
Kokpunkt vid atmosfärstryck	°C	100
Ångtryck vid 20°C	mmHg	29,8
Ångdensitet (luft = 1)	kg/m ³	0,62
Lagring		svalt
Handelsnamn		FC-203A Light Water AFFF

11 BEDÖMNINGSTABELL

Tabell 11.1-11.2. Bedömning och resultat för släckmedlen och släcksystemen.

	Tid för utströmning	Spray-bränder	Täckta bränder	Vikt släckmedel	Vikt system	Viktindex för släcksystem	Dim. konc	Index för dim. konc.	Skadenivå
Halon 1301	20	0	0	110	270	1	6	0,8-1,4	0,5
HFC Blend A	8	0	0	150	400	1,5	12	0,7-0,8	0,5
HFC 227 ea	8-20 ¹	0	0	220	500	1,8	9,6 ⁴	0,8-0,9	0,5
CO ₂ alternativ 2	120 ²	0	0	170 250	540 760	2,0 2,8	30 40	1,1 1,4	0,8
IG 541	90-300 ³	0	0	260	1400	5,1	48	1,0	0,8
IG 55	90-300 ³	0	0	250	1400	5,0	48	X ⁵	0,8
IG 100	90-300 ³	0	0	210	1300	4,9	48	1,3	0,8
IG 01	90-300 ³	0	0	300	1400	5,2	48	X ⁵	0,8
Vattendimma	X	0	-	1100	2700	9,9	X	X	0,6
Lättskum alternativ 2	X	-	-	720 2100	1000 2400	3,6 8,8	X	X	0,7
Tungskum	X	0	-	3700	4100	15,2	X	X	0,6

	Temperatur område	Toxicitet	Toxicitet vid brand	Renhet	Elektrisk ledningsförmåga	Korrosivitet	Korrosivitet vid brand	ODP	GWP
Halon 1301	-38/+60	0	0	0	0	0	0	16	5800
HFC Blend A	-40/+60	- till 0	-	0	0	0	- till 0	0	1388
HFC 227 ea	+4/+60	- till 0	-	0	0	0	- till 0	0	2050
CO ₂	-40/+60	-	-	0	0	0	+	0	0
IG 541	-40/+60	- till 0	0	0	0	0	+	0	0
IG 55	-40/+60	- till 0	0	0	0	0	+	0	0
IG 100	-40/+60	- till 0	0	0	0	0	+	0	0
IG 01	-40/+60	- till 0	0	0	0	0	+	0	0
Vattendimma	0/+60	+	+	-	- till 0	- till 0	- till 0	0	0
Lättskum	+9/+49	+	+	-	-	- till 0	- till 0	0	0
Tungskum		+	+	-	-	- till 0	- till 0	0	0

I kolumnerna med 0,- och + innebär 0 lika bra som, - sämre än och + bättre än halon 1301.

Viktindex anges som relativt systemet för halon 1301.

Index för dim. konc. är framtaget som förhållandet mellan dim. konc och inerteringsvärdet mot propan. Skadenivån anger förhållandet mellan erhållen värmemängd och skadlig värmemängd för komponent 3 från simuleringar i FREIA enligt kapitel 9.

Temperaturområdet för de gasformiga släckmedlen begränsas uppåt av 60°C som är den temperatur som tryckflaskorna vanligtvis är dimensionerade för. Nedre temperaturgränsen har satts till det högsta värdet av -40°C och 20°C över släckmedlets kokpunkt /N/. För de vattenbaserade gäller vattnets kok- och fryspunkt eller skumvätskans begränsningar.

¹ Svenska regler för HFC 227 ea finns inte men antas vara liknande de för halon 1301 och HFC Blend A vad det gäller utströmningstiden.

² Enligt regel 5.2.4 i SFS 1985:24 skall 85% av släckmedlet vara ute inom två minuter.

³ Enligt föreskrifter /Q/ skall 80% av gasen utströmma inom 90s och de resterande 20% inom 300s.

⁴ Dimensionerande koncentrationen har valts som inerteringsgränsen – 20%.

⁵ Inerteringsvärden för dessa släckmedel har ej erhållits.

12 SLUTSATSER

Många av följande slutsatser bygger på de resultat som erhållits från beräkningar, tester och simuleringar. Dessa resultat beror i sin tur på förenklingar och antaganden som gjorts och som dessutom finns i de använda datorprogrammen. Deras betydelse kommenteras i kapitel 13 och det är viktigt att ha dem i åtanke.

När det gäller vikt och volymanspråk för systemen som var den första av de två större frågeställningarna så har följande slutsatser dragits. Inget system har så låg vikt och tar upp så liten plats som halon 1301. De mest fördelaktiga systemen därefter är de gasformiga släckmedel som förvaras tryckkondenserade d.v.s. HFC-gaserna och CO₂. Deras vikt är 1,5-2 gånger större än halon, nästan 3 gånger för CO₂ alternativ 2 d.v.s. vid en dimensionerande koncentration på 40%. Inertgaserna som utgör den resterande delen av de gasformiga släckmedlen har vikter som är ca. 5 gånger halonsystemets vikt. För de vattenbaserade släckmedlen är jämförelsen något mer osäker. Vikten för dem varierar mellan 4 och 15 gånger vikten för halon, mycket beroende på vilka tillgångar på färskvatten som önskas.

För den andra större frågeställningen som behandlar skador på skrovmaterial och risken för spridning av brand till andra utrymmen anses att brandspridning via värmeledning genom skrovmaterial inte kommer att ske. Testerna och simuleringarna visar att materialet isolerar mycket bra mot värme. Om branden skall sprida sig så måste det troligtvis ske via öppningar eller oisolerade genomföringar. Skadorna på materialet är relativt små och variationen beroende på vilket släcksystem som finns är liten. Materialet erhåller större skador när långsammare släcksystem är installerade vilket innebär en fördel för de snabbare släcksystemen som HFC-gaserna jämfört med CO₂ och inertgaserna. Det är dock svårt att rättvist jämföra de gasformiga släckmedlen med de vattenbaserade då den kylande effekten är helt olika. Om det enda kravet för släcksystemet är att branden inte får sprida sig genom konstruktionen så är valet fritt bland de 11 redovisade släcksystemen. Att skillnaden mellan de olika släckmedlen är liten beror på att tiden innan släcksystemen aktiveras är lång i förhållande till utströmningstiden för släckmedlet. En kortare aktiveringstid skulle minska skadorna betydligt och gynna de snabbare släcksystemen i jämförelserna. Automatisk aktivering skulle minska aktiveringstiden väsentligt.

Förmågan att släcka bränderna beror på släckmedlets egenskaper och dimensionering av systemet d.v.s. distribution och mängd av släckmedlet. Här har de gasformiga släckmedlen en fördel att de kommer åt alla bränder. Penetrationsförmågan för halon, Halotron IIb och CO₂ är god. För HFC 227 ea är den sämre och inertgaserna är kraftigt beroende av munstycksutformningen. Till fördel för de vattenbaserade är att de gör nytta även om de inte släcker branden helt p.g.a. den kylande effekten. Vid dimensionering av de gasformiga släckmedlen varierar förhållandet mellan den dimensionerande koncentrationen och inerteringsvärdet för släckmedlet. För HFC-gaserna är det ner mot 0,8 medan det för IG 100 är uppåt 1,3 och för CO₂ alternativ 2 1,4. Värdena för de övriga gaserna ligger mellan dessa värden. Detta innebär att det är större chans att ett system med IG 100 klarar av en brand än ett med IG 541 enligt nuvarande dimensioneringsregler.

Vid beaktande av temperaturområdena inom vilka systemen kan användas så har de gasformiga släckmedlen återigen en fördel undantaget HFC 227 ea. De klarar temperaturer långt under noll vilket innebär att ingen uppvärmning krävs under

normala svenska förhållanden. För HFC 227 ea samt de vattenbaserade släcksystemen krävs det dock plusgrader vilket innebär uppvärmning vilket är det normala fallet i maskinrummet ombord på fartygen.

För bemannade utrymmen har de vattenbaserade en klar fördel då de inte är toxiska vilket innebär att de skulle kunna aktiveras automatiskt utan risk för besättningen.

Detta leder till betydligt mindre skador på komponenter vid brand.

För HFC-gaserna så måste GWP-faktorn tas i beaktande. Det är troligt att användningen av dessa medel kommer att beläggas med restriktioner liknande de för halonerna.

13 KOMMENTARER

Slutsatserna i föregående kapitel beror till stor del på de antaganden och förenklingar som har gjorts. Nedan kommenteras de och deras betydelse.

För de gasformiga släckmedlen är beräkning och jämförelse av vikterna okomplicerad. För de vattenbaserade tillkommer dock problem. Vilken tillgång på färskvatten och vilka komponenter kan tänkas behövas? För lättskum finns ett krav på vattentillgång i tank angivet men för de övriga finns inga sådana krav. Vilka komponenter som behövs är också osäkert. Detta beror på att det inte är givet om det behövs pumpar för redundans och om det finns kraftförsörjning att driva pumparna. För lätt- och tungskumssystemen har endast en pump medräknats. För vattendimsystemet ingick motorer och pumpar för redundans i totalvikten enligt uppgifter från sälj företaget.

Resultaten från skadesimuleringarna beror mycket på hur skada definieras. Två olika definitioner har gjorts. Den första var att PVC-materialet uppnådde skadlig temperatur precis under den exponerade sidans glasfiberskikt och den andra var att mitten av PVC-kärnan uppnådde samma temperatur. Att inte skada på glasfiberskiktet valdes som en definition beror på att det var svårt att avgöra när detta skadades. Det är också viktigt att tänka på att provkropparnas tjocklek inte är densamma som på fartygen. Hur brandförloppen simuleras har också mycket stor betydelse. Att modellera den kylande effekten hos de vattenbaserade släckmedlen kan endast göras mycket approximativt. I arbetet valdes att simulera detta med en linjärt avtagande effektutveckling hos branden. De värmeskador som uppkommer av den kvarvarande värmen efter att branden släckt kommer inte med i simuleringarna. Denna verkan är som störst för de gasformiga släckmedlen.

Att hållfastheten hos skrov materialet inte har utretts är kanske det som är viktigast att beakta. En eventuell kollaps av en del av konstruktionen innebär automatiskt risk för brandspridning.

För att framtida undersökningar liknande denna skall utvecklas vill jag tillägga ett par saker. Det är mycket viktigt med så stor information om materialet/komponenterna som möjligt. Några okända parametrar kan plockas fram via tester men för att få ett bra underlag till vidare beräkningar behövs ett stort antal kända parametrar. Det är också viktigt att programmen som används har så stor kapacitet att användaren inte begränsas vid modelleringen av problemet i så stor utsträckning som vid detta arbete. Använd program som är utarbetade för samtida datorer.

REFERENSER

- /A/. Handbok Brand Försvarsmakten – Brand och räddningstjänst fartyg, allmänt. M7786-400626, Försvarets Materielverk, 1988
- /B/. CM Norm Sjövärdighet, Pärm 1 (M7748-392361)
- /C/. CM Norm Sjövärdighet, Pärm 2 (M7748-392371)
- /D/. RMS, Regler för Militär Sjöfart, Fartygssäkerhetsnormer. Försvarsmakten, 1999
- /E/. Andersson P. Karlsson B. Magnusson S.E. Holmstedt G. FREIA – an expert system for fires and explosions in the process industry. J. Loss Prev. Process Ind. Vol 10. No 4. Pp. 265-269, 1997
- /F/. HSLAB Version 1.0. Swedish Defence Research Establishment, Lund Institute of Technology, Lund 1990
- /G/. Fartygsbrandsläckning. Statens räddningsverk, Karlstad 1994
- /H/. Material från Scania Industri och Marinmotor
- /I/. Ingason H. Persson H. Ryderman A. Foam Sprinklers as a Replacement for Halon in Engine Rooms. SP rapport 1992:37, Borås 1992
- /J/. Nussbaum R. Östman B. Larger Specimens for Determining Rate of Heat Release in the Cone Calorimeter. Fire and Materials vol 10, 151-160, 1986
- /K/. The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, section 1, cap. 6. Second Edition, Society of Fire Protection Engineers, 1995
- /L/. HAZARD I Version 1.2. Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology
- /M/. Nelson, H.E. FPETOOL: Fire Protection Engineering Tools for Hazard Estimation. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1990
- /N/. Isaksson S. Simonsson M. Holmstedt G. Gasformiga alternativ till halon som släckmedel. SP rapport 1997:10, Borås 1997
- /O/. Su J. Kim A. Mawhinney J. Review of total flooding gaseous agents as halon 1301 substitutes. Journal of Fire Protection Engineering vol. 8 No 2, 1996
- /P/. Material från Svenska Skum AB, Metro P Skumvätska, 1023/4, 99/01
- /Q/. Föreskrifter vid installation av brandsläckningssystem med atmosfäriska inertgasblandningar. Utgåva 3, Sjöfartsinspektionen, 1997-05-21
- /R/. SjöFS 1985:24. Sjöfartsverket, Norrköping 1986
- /S/. NFPA 12A. Halogenated Exstinguishing Agent System, Halon 1301. NFPA 1980
- /T/. Föreskrifter för installation av Halotro IIb i maskinrum, pannrum och ilastrum som endast transporterar olastade fordon. Sjöfartsinspektionen, 1996-06-10
- /U/. NFPA 2001. Clean agent fire exstinguishing systems. NFPA 1996

- /V/. ISO 6183. Fire Protection Equipment – Carbon dioxide – extinguishing systems for use on premises – Design and installation. ISO 1990
- /W/. Revidering av regel 10 i SjöFS 1985:24, final draft , 1999
- /X/. Eker J. Vlachos S., HSLAB – A program for one-dimensional heat flow problems. FOA rapport C20827-2.4, Lund 1990
- /Y/. Andersson P. Holmstedt G. Karlsson B. Magnusson S.E. A Technical Reference Guide to FREIA – A Risk Analysis Tool for Accidental Releases and Fires in Industrial Buildings. Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund 1993
- /Z/. Andersson P. Holmstedt G. Karlsson B. Magnusson S.E. A Users Guide to FREIA – A Risk Analysis Tool for Accidental Releases and Fires in Industrial Buildings. Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund 1993
- /AA/. Fullskaleförsök med släckgaserna FM 200, Halotron IIB, Inergen. Rapport 1/1996 Pu, Fortifikationsverket
- /BB/. Inerteringsgränsen för Halotron 2B i propan- och heptan-luftblandningar. Brev till Sjöfartsverket från Göran Holmstedt, Inst för Brandteknik LTH. Lund den 23/2 1996

BILAGA 1 BERÄKNING AV VIKT OCH PLATSANSPRÅK

I denna bilaga redovisas vikten och platsanspråken för de olika släcksystemen. De regelverk, formler, antaganden och indata som direkt berör resultatet kommer att redovisas.

VIKT

Vikten av släcksystemen är en av de egenskaper som är av stor betydelse vid val av system. En del av vikten utgörs av släckmedlet och resten av komponenterna som behövs för att förvara och distribuera släckmedlet i utrymmet.

Släckmedelsvikten beräknas med olika formler för de olika släckmedlen. Formlerna för gasformiga släckmedel tar olika hänsyn till den mängd släckmedel som strömmar ut ur det skyddade utrymmet p.g.a. tryckutjämning. De formler som används i denna rapport tar ingen hänsyn till det läckage som sker efter det att trycket utjämnats. Detta är en begränsning som har betydelse för återantändningsskyddet som minskar om rummet har läckageytor.

Dimensioneringen av släcksystemen styrs till stor del av de regelverk som redovisades i kap.3. De specifika regler som direkt påverkar resultaten från beräkningarna av släckmedelsvikten och vikten för systemkomponenterna kommer att redovisas.

Släcksystemets vikt inkluderar släckmedel, släckmedelsbehållare, rör, aggregat (lättskum) och eventuella motorer och pumpar som krävs extra för systemet. För att erhålla den exakta vikten för rörsystemet krävs det att en fullständig dimensionering av systemet görs för vart och ett av släckmedlen. I denna rapport redovisas en approximation av rörvikten som baseras på antagna längder på rörsystemen. För halon 1301 och HFC-gaserna har en och samma rörlängd antagits då dessa system har släckmedelsbehållarna i det skyddade utrymmet. För inertgaserna och koldioxid har en något längre rörlängd antagits p.g.a. att släckmedelsbehållarna finns utanför det skyddade utrymmet och ungefär lika stora mängder rör har antagits för tungskumssystemet. Lättskumssystemet har också släckmedlet utanför utrymmet men ett färre antal utströmningspunkter. För vattendimssystemet ingick rörvikten i den systemvikt som angavs av sälj företaget. Ungefärliga dimensioner på rören har fastställts efter rådfrågan med företag inom branschen.

PLATSANSPRÅK

Systemkomponenternas anspråk på golvarea och höjd tas upp för de olika systemen. Medtaget är släckmedelsbehållare, pumpar och injektorer. Lättskumsaggregatens dimensioner kommer också att redovisas. För inertgaserna kommer endast en konfiguration för flaskorna att redovisas.

HALON 1301

REGELVERK

Släcksystem med halon 1301 styrs av SjöFS 1985:24 /R/ regel 5 som gäller fasta anläggningar för brandsläckning med gas. Vid beräkningar och dimensionering skall dessutom NFPA´s rekommendationer i Halogenated Extinguishing Agent System, Halon 1301 /S/ tillämpas.

Enligt regel 5.3.2.10 /R/ skall kvantiteten släckmedel vara minimum 4,25% och maximum 7% baserat på volymmetriskt förhållande. Den specifika volymen skall beräknas till 0,16m³/kg vid dimensionering enligt 5.3.2.11. Detta motsvarar temperaturen 20°C. Till varje behållare med släckmedel får enligt 5.3.3.7 högst två spridarmunstycken kopplas. Enligt tillämpningsbestämmelserna till föregående regel får varje behållare som är placerad i det skyddade utrymmet normalt inte innehålla mer än 100 kg släckmedel.

FORMLER

För halon 1301 tillämpas i NFPA 12A följande formler:

$$w = \frac{V}{s} \cdot \left(\frac{C}{100 - C} \right) \quad [1]$$

$$s = 0,14781 + 0,000567 \cdot T \quad [2]$$

w = massa släckmedel [kg]

V = rummets volym [m³]

C = dimensionerande koncentration [vol.%]

s = specifik ångvolym beroende av temperaturen [m³/kg]

T = den lägsta temperaturen som kan uppkomma i utrymmet [°C]

INDATA

Tabell B.1.1. Indata till viktberäkning

	V [m ³]	C [%]	s [m ³ /kg]	$\rho_{\text{vätska}}$ [kg/m ³]
Halon 1301	272,20	6	0,16	1121

ANTAGANDE

För att erhålla en jämn fördelning av släckmedlet i utrymmet antas att det krävs åtta stycken munstycken vilket innebär att antalet släckmedelsbehållare är minst fyra. Till varje behållare med två munstycken sätts rörlängden till sex meter.

BERÄKNING

Massa släckmedel

$$w = \frac{272,2}{0,16} \cdot \left(\frac{6}{100 - 6} \right) = 109 \text{ kg}$$

Volym på släckmedelsbehållare

$$V = \left(\frac{109}{1121} \right) / 4 = 0,024 \text{ m}^3 = 24 \text{ l}$$

Massa släckmedelsbehållare

$$4 \cdot 25 = 100 \text{ kg (gäller för flaskor med } V = 26,8 \text{ liter)}$$

Massa rörsystem

$$4 \cdot 6 \cdot 2,44 = 58,6 \text{ kg (gäller för SS 2352 dimensionen } 33,7 \times 3,2 \text{ mm)}$$

Massa total

$$109 + 100 + 59 = 268 \text{ kg}$$

RESULTAT

Tabell B.1.2. Vikt för släckmedel och släcksystem.

	Vikt släckmedel [kg]	Viktindex släckmedel	Total vikt släcksystem [kg]	Viktindex total
Halon 1301	109	1	268	1

PLATSANSPRÅK

Halonbehållarna placeras en och en utspridda i utrymmet för att göra systemet mindre sårbart för brand.

Tabell B.1.3. Platsanspråk för systemkomponenter.

Komponent	$B \times L \times H$ [mm] ($\phi \times H$) [mm]	Antal
Flaskor	250 × 250 × 1500 (204 × 1160)	4

HALOGENERADE GASER

REGELVERK

HFC Blend A styrs av ”Föreskrifter för installation av Halotron IIb i maskinrum, pumprum och i lastrum som endast transporterar olastade fordon” /T/. HFC 227ea saknar svenska föreskrifter. I beräkningarna kommer reglerna som gäller för behållare med halotron IIb även att användas för HFC 227 ea.

Enligt föreskrifterna skall Halotron IIb dimensioneras så att minimikvantiteten är 12% av bruttovolymen av det skyddade maskinutrymmet. Släckkoncentrationen är baserad på en mängd av 0,56 kg/m³ vid 20°C. Halotronbehållare som är placerad i det skyddade utrymmet får inte innehålla mer än 100 kg släckmedel. Det får högst vara två spridarmunstycken kopplade till varje behållare.

FORMLER

För HFC-gaserna tillämpas i NFPA 2001 nedanstående formel, med säkerhetsfaktor 1,2 /U/.

$$m = V_R \cdot \rho_{gas} \cdot \frac{S \cdot K_S}{1 - S \cdot K_S} \quad [3]$$

m = massa släckmedel [kg]

V_R = rummets volym [m³]

ρ_{gas} = densiteten för släckgasen [kg/ m³]

S = säkerhetsfaktor

K_S = släckkoncentration

Formel [3] baseras på att den gasmängd som strömmar ut ur rummet består av en välblandad luft-släckmedelsblandning. Ovanstående formel används i denna rapport med ändringen att istället för cup burner värde som släckkoncentration med säkerhetsfaktorn 1,2 används inerteringsvärdet med säkerhetsfaktorn 0,8. Detta motsvarar det val som flera myndigheter och organisationer har gjort däribland FMV /N/.

INDATA

Tabell B.1.4. Indata till viktberäkning.

	V_R [m ³]	$S \cdot K_S$	ρ_{gas} [kg/m ³]	$\rho_{fyllnad}$ [kg/m ³]
HFC Blend A	272,20	0,12	4,11 ¹	1010
HFC 227ea	272,20	0,096 ²	7,09	1200

¹ Uträknat från att $\rho_{gas} \times (S \cdot K_S) / (1 - S \cdot K_S) = 0,56 \text{ kg/m}^3$ vid 20°C enligt /T/.

² Framtaget som inerteringsgränsen – 20%.

ANTAGANDE

För att erhålla en jämn fördelning av släckmedlet i utrymmet antas att det krävs åtta stycken munstycken vilket innebär att antalet släckmedelsbehållare är minst fyra. Till varje behållare med två munstycken sätts rörlängden till sex meter.

BERÄKNING

Massa släckmedel

$$m_{\text{HFC Blend A}} = 272,2 \cdot 4,11 \cdot \frac{0,12}{1 - 0,12} = 152 \text{ kg}$$

$$m_{\text{HFC 227 ea}} = 272,2 \cdot 7,09 \cdot \frac{0,096}{1 - 0,096} = 205 \text{ kg}$$

Volym på släckmedelsbehållare

$$V_{\text{HFC Blend A}} = \left(\frac{152}{1010} \right) / 4 = 0,038 \text{ m}^3 = 38 \text{ l}$$

$$V_{\text{HFC 227 ea}} = \left(\frac{205}{1200} \right) / 4 = 0,043 \text{ m}^3 = 43 \text{ l}$$

Massa släckmedelsbehållare

$$4 \cdot 48,5 = 194 \text{ kg (gäller för flaskor med } V = 40 \text{ liter)}$$

$$3 \cdot 48,5 + 1 \cdot 72 = 217,5 \text{ kg (gäller för flaskor med } V = 40 \text{ liter och med } V = 67,5 \text{ liter)}$$

Massa rörsystem

$$4 \cdot 6 \cdot 2,44 = 58,6 \text{ kg (gäller för SS 2352 dimensionen } 33,7 \times 3,2 \text{ mm)}$$

Massa total

$$\text{HFC Blend A: } 152 + 194 + 59 = 405 \text{ kg}$$

$$\text{HFC 227 ea: } 205 + 218 + 59 = 482 \text{ kg}$$

RESULTAT

Tabell B.1.5. Vikt för släckmedel och släcksystem.

	Vikt släckmedel [kg]	Viktindex Släckmedel	Total vikt släcksystem [kg]	Viktindex total
HFC Blend A	152	1,4	405	1,5
HFC 227ea	205	1,9	482	1,8

PLATSANSPRÅK

HFC-behållarna placeras en och en utspridda i utrymmet för att göra systemet mindre sårbart för brand.

Tabell B.1.6. Platsanspråk för systemkomponenter.

	Komponent	$B \times L \times H$ [mm] ($\phi \times H$) [mm]	Antal
HFC Blend A	Flaskor	250 × 250 × 2000 (204 × 1505)	4
HFC 227ea	Flaskor	250 × 250 × 2000 (204 × 1505)	3
	Flaskor	300 × 300 × 2000 (267 × 1485)	1

INERTGASER

REGELVERK

Inertgaserna styrs av ”Föreskrifter vid installation av brandsläckningssystem med atmosfäriska inertgasblandningar” /Q/.

Mängden gas skall enligt 2.1 i dessa föreskrifter beräknas så att syrehalten i det skyddade utrymmet vid en utlösning blir 11% med en tolerans på +/- 1%. Behållare för tryck upp till 300 bar får användas men normalt används behållare för 200 bar.

FORMLER

Dimensionering av släckmedelsmängd för inertgaser enligt NFPA 2001 sker med följande formel /U/:

$$m = V_R \cdot \rho_{gas} \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - S \cdot K_S}\right) \quad [4]$$

m = massa släckmedel [kg]

V_R = rummets volym [m^3]

ρ_{gas} = densiteten för släckgasen [kg/m^3]

S = säkerhetsfaktor

K_S = släckkoncentration

Formel [4] baseras på följande antaganden:

- temperaturen och trycket i rummet är konstanta under utströmningen
- släckmedlet som strömmar ut i rummet blandar sig omedelbart med luften till en homogen blandning
- vid varje tidpunkt så trycks en lika stor volym luft-släckmedelblandning ut ur rummet som den volym släckmedel som strömmar in i rummet

Ovanstående formel används i detta arbete med ändringen att $S \cdot K_S$ ersätts med den dimensionerande koncentration som anges i ”Föreskrifter vid installation av brandsläckningssystem med atmosfäriska inertgasblandningar” /Q/.

INDATA

Tabell B.1.7. Indata till viktberäkning.

	V_R [m^3]	$S \cdot K_S$	ρ_{gas} [kg/m^3]	p [bar]
IG 541	272,20	0,48	1,414	200
IG 55	272,20	0,48	1,412	200
IG 100	272,20	0,48	1,166	200
IG 01	272,20	0,48	1,658	200

ANTAGANDE

För att erhålla en jämn fördelning av släckmedlet i utrymmet antas att det krävs åtta stycken munstycken. Till varje munstycke behövs två meter grenrör, inom utrymmet tio meter stamrör samt från behållarna in till utrymmet fem meter stamrör.

BERÄKNING

Massa släckmedel

$$m_{IG\ 541} = 272,2 \cdot 1,414 \cdot \ln\left(\frac{1}{1-0,48}\right) = 252 \text{ kg}$$

$$m_{IG\ 55} = 272,2 \cdot 1,412 \cdot \ln\left(\frac{1}{1-0,48}\right) = 251 \text{ kg}$$

$$m_{IG\ 100} = 272,2 \cdot 1,166 \cdot \ln\left(\frac{1}{1-0,48}\right) = 208 \text{ kg}$$

$$m_{IG\ 01} = 272,2 \cdot 1,658 \cdot \ln\left(\frac{1}{1-0,48}\right) = 295 \text{ kg}$$

Antal släckmedelsbehållare

$$V = 272,2 \cdot \ln\left(\frac{1}{1-0,48}\right) \cdot \frac{1}{200} = 0,89 \text{ m}^3 = 890 \text{ l} \Rightarrow 12 \text{ st behållare á 80 l och 200 bar}$$

Massa släckmedelsbehållare

$$12 \cdot 85,2 = 1022 \text{ kg (gäller för flaskor med } V = 80 \text{ liter)}$$

Massa rörsystem

$$8 \cdot 2 \cdot 1,58 + 15 \cdot 3,61 = 79,4 \text{ kg (gäller för SS 2352 dimensionerna } 26,9 \times 2,6 \text{ och } 48,3 \times 3,2 \text{ mm)}$$

Massa total

$$IG\ 541: \quad 252 + 1022 + 79 = 1352 \text{ kg}$$

$$IG\ 55: \quad 251 + 1022 + 79 = 1352 \text{ kg}$$

$$IG\ 100: \quad 208 + 1022 + 79 = 1309 \text{ kg}$$

$$IG\ 01: \quad 295 + 1022 + 79 = 1396 \text{ kg}$$

RESULTAT

Tabell B.1.8. Vikt för släckmedel och släcksystem.

	Vikt släckmedel [kg]	Viktindex släckmedel	Total vikt släcksystem [kg]	Viktindex total
IG 541	252	2,3	1352	5,1
IG 55	251	2,3	1352	5,0
IG 100	208	1,9	1309	4,9
IG 01	295	2,7	1396	5,2

PLATSANSPRÅK

Inertgasbehållarna placeras tillsammans utanför utrymmet och enligt det totala platsanspråket i två rader med sex flaskor i varje.

Tabell B.1.9. Platsanspråk för systemkomponenter.

Komponent	$B \times L \times H$ [mm] ($\phi \times H$) [mm]	Antal	$B \times L \times H$ [mm] Totalt
Flaskor	$300 \times 300 \times 2000$ (267×1725)	12	$600 \times 1800 \times 2000$

KOLDIOXID

REGELVERK

Släcksystem med koldioxid styrs av SjöFS 1985:24 /R/ regel 5 som gäller fasta anläggningar för brandsläckning med gas.

Enligt 5.2.2.2 /R/ skall systemet dimensioneras så att den fria volymen av koldioxid minst utgör 30 % av det skyddade maskinutrymmets bruttovolym. FMV har valt att dimensionera med 40 % av bruttovolymen. Detta benämns i rapporten som alternativ 2. Den fria koldioxidvolymen skall beräknas med $0,56 \text{ m}^3/\text{kg}$ enligt 5.2.3 /R/.

Tillämpningsbestämmelserna till 5.2 anger att mängden CO_2 i varje flaska får inte överstiga 45 kg och skall ha en maximala specifik fyllningsvikt på $0,67 \text{ kg}$ per liter flaskvolym.

FORMLER

Dimensionering av släckmedelsmängd för koldioxid enligt ISO 6183 sker med följande formel /V/:

$$m = V_R \cdot \rho_{gas} \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - S \cdot K_S}\right) \quad [4]$$

m = massa släckmedel [kg]

V_R = rummets volym [m^3]

ρ_{gas} = densiteten för släckgasen [kg/m^3]

S = säkerhetsfaktor

K_S = släckkoncentration

Formel [4] baseras på följande antaganden:

- temperaturen och trycket i rummet är konstanta under utströmningen
- släckmedlet som strömmar ut i rummet blandar sig omedelbart med luften till en homogen blandning
- vid varje tidpunkt så trycks en lika stor volym luft-släckmedelblandning ut ur rummet som den volym släckmedel som strömmar in i rummet

Ovanstående formel används i detta arbete med ändringen att $S \cdot K_S$ ersätts med den dimensionerande koncentration som anges för koldioxid i SjöFS 1985:24 /R/.

INDATA

Tabell B.1.10. Indata till viktberäkning.

	V_R [m^3]	$S \cdot K_S$	ρ_{gas} [kg/m^3]	$\rho_{fyllnad}$ [kg/m^3]
CO_2	272,20	0,30	1,79	670
alt. 2		0,40		

ANTAGANDE

För att erhålla en jämn fördelning av släckmedlet i utrymmet antas att det krävs åtta stycken munstycken. Till varje munstycke behövs två meter grenrör, inom utrymmet tio meter stamrör samt från behållarna in till utrymmet fem meter stamrör.

BERÄKNING

Massa släckmedel

$$m = 272,2 \cdot 1,79 \cdot \ln\left(\frac{1}{1-0,30}\right) = 174 \text{ kg}$$

$$m_{alt.2} = 272,2 \cdot 1,79 \cdot \ln\left(\frac{1}{1-0,40}\right) = 249 \text{ kg}$$

Antal släckmedelsbehållare

$$n = \frac{174}{45} = 3,9 \Rightarrow 4 \text{ st behållare á } 67,5 \text{ l (45 kg släckmedel)}$$

$$n_{alt.2} = \frac{249}{45} = 5,5 \Rightarrow 6 \text{ st behållare á } 67,5 \text{ l (45 kg släckmedel)}$$

Massa släckmedelsbehållare

$$4 \cdot 72 = 288 \text{ kg (gäller för flaskor med } V = 67,5 \text{ liter)}$$

$$6 \cdot 72 = 432 \text{ kg (gäller för flaskor med } V = 67,5 \text{ liter, alternativ 2)}$$

Massa rörsystem

$$8 \cdot 2 \cdot 1,58 + 15 \cdot 3,61 = 79,4 \text{ kg (gäller för SS 2352 dimensionerna } 26,9 \times 2,6 \text{ och } 48,3 \times 3,2 \text{ mm)}$$

Massa total

$$174 + 288 + 79 = 541 \text{ kg}$$

$$249 + 432 + 79 = 760 \text{ kg (alternativ 2)}$$

RESULTAT

Tabell B.1.11. Vikt för släckmedel och släcksystem.

	Vikt släckmedel [kg]	Viktindex Släckmedel	Total vikt släcksystem [kg]	Viktindex total
CO ₂	174	1,6	541	2,0
alt. 2	249	2,3	760	2,8

PLATSANSPRÅK

Koldioxidbehållarna placeras tillsammans utanför utrymmet och enligt det totala platsanspråket i en rad med fyra flaskor. För alternativ 2 en rad med sex flaskor.

Tabell B.1.12. Platsanspråk för systemkomponenter.

Komponent	$B \times L \times H$ [mm] ($\phi \times H$) [mm]	Antal	$B \times L \times H$ [mm] Totalt
Flaskor	300 × 300 × 2000 (267 × 1485)	4	300 × 1200 × 2000
Flaskor alt. 2	300 × 300 × 2000 (267 × 1485)	6	300 × 1800 × 2000

VATTENDIMMA**REGELVERK**

Vattenspridningsanläggningar styrs av regel 10 i SjöFS 1985:24.

Dessa föreskrifter är under pågående revidering. Nedanstående krav och regler är från de reviderade föreskrifterna och mindre förändringar kan därför komma att ske.

Vattendimsystem hör till alternativa vattenbaserade släcksystem. Systemets brandsläckningsförmåga skall verifieras genom att systemet testas i enlighet med uppställda kriterier i appendix B till MSC/Cirkulär.668 och MSC/Cirkulär.728. Systemet skall kunna leverera släckmedlet under minst 30 minuter. Tryckbehållare med färskvatten för en minuts åtgång vid utlöst system skall finnas.

FORMLER

$$m = \dot{V} \cdot \rho_{vatten} \cdot t \quad [5]$$

m = massa släckmedel [kg]

\dot{V} = volymflödet av vatten [l/min]

ρ_{vatten} = densiteten för släckmedlet [kg/l]

t = tid för färskvattendrift [min]

INDATA

Tabell B.1.13. Indata till viktberäkning.

	\dot{V} [l/s]	ρ_{vatten} [kg/l]	t [min]
Vattendimma	100	1,0	10

ANTAGANDE

HI-FOG använder sig av avjoniserat vatten. För att godkännas måste det dessutom vara uppkopplat till sjövattnen för att kunna erhålla kontinuerlig drift. Vid beräkning av släckmedelsvikt beräknas vattentanken för tio minuters drift, därefter kopplas sjövattnepumpen in. Systemet beräknas leverera 65-100 liter per minut och 100 liter per minut har använts vid beräkningarna.

BERÄKNING

Massa släckmedel

$$m = 100 \cdot (10 + 1) = 1100 \text{ kg (vatten i tank och i tryckflaskor)}$$

Massa vattentank

60 kg (antagit för vattentank 1000 l då vattentank för 2000 l väger 80 kg)

Massa systemkomponenter

1500 kg (inklusive pumpar, rör samt tryckflaskor för vatten och kvävgas)

Massa total

$$1100 + 60 + 1600 = 2660 \text{ kg}$$

Resultat

Tabell B.1.14. Vikt för släckmedel och släcksystem.

	Vikt släckmedel [kg]	Viktindex släckmedel	Total vikt släcksystem [kg]	Viktindex total
Vattendimma	1100	10	2660	9,9

PLATSANSPRÅK

Flaskorna till kvävgas och vatten placeras i en rad med fyra flaskor enligt det totala platsanspråket. Pumparna placeras ovanpå varandra.

Tabell B.1.15. Platsanspråk för systemkomponenter.

Komponent	$B \times L \times H$ [mm] ($\phi \times H$) [mm]	Antal	$B \times L \times H$ [mm] Totalt
Flaskor	$300 \times 300 \times 2000$ (267×1485) ³	4	$300 \times 1200 \times 2000$
Vattentank	(1100×1300) ⁴	1	$1100 \times 1100 \times 1300$
Pumpar	$800 \times 1500 \times 350$	2	$800 \times 1500 \times 700$

³ Gäller för flaskor med volymen 67,5 l.

⁴ Antagna dimensioner på vattentanken.

LÄTTSKUM**REGELVERK**

Regel 9 i SjöFS 1985:24 styr fasta anläggningar för brandsläckning med högexpanderat skum i maskinutrymmen.

Enligt 9.1.1 skall den tillgängliga mängden skumvätska vara tillräcklig för att framställa en skumvolym som är lika med 5 gånger volymen av det skyddade utrymmet. Skumtalet får inte vara högre än 1000 till 1. Enligt tillämpningsbestämmelserna till regel 9 skall en vattentank finnas med vatten i sådan mängd att ett fem meter tjockt skumlager kan produceras i det skyddade utrymmet. I de reviderade föreskrifterna till regel 10 /W/ finns dessutom särskilda regler för system med högexpanderat skum vid användandet av interna rökgaser. Dessa regler ställer högre krav på tillförselhastigheten men för beräkningarna nedan gäller samma krav som regel 9.

FORMLER

$$m_{\text{vatten}} = 5 \cdot A \cdot \rho_{\text{vatten}} \cdot \frac{1}{\text{skumtal}} \quad [6]$$

$$m_{\text{skumvätska}} = 5 \cdot V \cdot \rho_{\text{skumvätska}} \cdot \frac{S}{\text{skumtal}} \quad [7]$$

m = massa släckmedel [kg]

A = horisontella arean av nedre och övre maskinrummet [m^2]

V = utrymmets volym [m^3]

S = inblandningsandel skumvätska

INDATA

Tabell B.1.16. Indata till viktberäkning

	V [m^3]	A [m^2]	$\rho_{\text{vätska}}$ [kg/m^3]	S	Skumtal
Vatten	-	99,3	1000	-	660
Skumvätska	272,20	-	971	0,02	660

ANTAGANDE

För att erhålla den erforderade skumproduktionen krävs det sex stycken aggregat. Inom utrymmet antas 13 meter stamrör och in till utrymmet fem meter stamrör.

BERÄKNING

Som ett alternativ till regelverkets krav /J/ på vattentillgång så har även mängden vatten som åtgår vid förbrukning av skumvätskan valts att räkna på.

Massa släckmedel

$$m_{\text{vatten}} = 5 \cdot 89,3 \cdot 1000 \cdot \frac{1}{660} = 677 \text{ kg}$$

$$m_{\text{skumvätska}} = 5 \cdot 272,2 \cdot 971 \cdot \frac{0,02}{660} = 40 \text{ kg}$$

$$m_{\text{vatten,alternativ2}} = 5 \cdot 272,2 \cdot 1000 \cdot \frac{1}{660} = 2062 \text{ kg}$$

Massa släckmedelsbehållare

$5 + 80 = 85$ kg (gäller för skumväsketank 60 l och vattentank 2000 l)

Massa systemkomponenter

$70 + 5,5 + 5 \cdot 10 + 1 \cdot 5 = 131$ kg (inklusive pump, injektor och aggregat, fem HG 25 och ett HG 15)

Massa rörsystem

$18 \cdot 2,5 = 45$ kg (gäller för SS 2333 dimensionen $68 \times 1,5$)

Massa total

$(677 + 40) + 85 + 131 + 45 = 978$ kg

RESULTAT

Tabell B.1.17. Vikt för släckmedel och släcksystem.

	Vikt släckmedel [kg]	Viktindex släckmedel	Total vikt släcksystem [kg]	Viktindex total
Lättskum	717	6,6	978	3,6
alternativ 2	2102	19,3	2363	8,8

PLATSANSPRÅK

Tabell B.1.18. Platsanspråk för systemkomponenter.

Komponent	$B \times L \times H$ [mm] ($\phi \times H$) [mm]	Antal	$B \times L \times H$ [mm] Totalt
Skumväsketank	(450×500)	1	450×450×500
Vattentank	(1300×1850)	1	1300×1300×1850
Pumpar	1300×630×490	1	1300×630×490
Aggregat HG 25	770×1010×370	3	
HG 15	770×370×370	1	

TUNGSKUM

REGELVERK

Fasta anläggningar för brandsläckning med lågexpanderat skum i maskinutrymmen styrs av regel 8 SjöFS 1985:24.

Systemet skall inom fem minuter kunna avge en skummängd tillräcklig för att med ett 150 millimeter tjockt lager täcka den största enskilda ytan över vilket brännarolja kan tänkas sprida sig. Skumtalet skall inte överstiga 12 till 1. Enligt tillämpningsbestämmelserna till ovanstående regel får tungskumsanläggningen inte utgöra enda fasta brandsläckningssystemet i utrymmet. Alternativt kan ett tungskumssystem räknas till de alternativa vattenbaserade systemen och skall i det fallet klara de kriterier som ställs enligt appendix B till MSC/Cirkulär.668 och MSC/Cirkulär.728. Systemet som beskrivs nedan baseras på lokal applicering över maskinerna med en dimensionerande area för skumbegjutning som beräknas på summan av maskinens horisontella area och arean av en långsida av maskinen. Om denna applicering klarar ovanstående krav är osäkert vilket innebär att tungskumssystemet inte är ett alternativ som total ersättning till halonsystemen.

FORMLER

$$\dot{V} = A \cdot \dot{V}'' \quad [8]$$

$$m_{\text{skumvätska}} = \dot{V} \cdot \rho_{\text{skumvätska}} \cdot S \cdot t_1 \quad [9]$$

$$m_{\text{vatten}} = \dot{V} \cdot \rho_{\text{vatten}} \cdot t_2 \quad [10]$$

\dot{V} = dimensionerande volymflöde [l/min]

A = dimensionerande area [m²]

\dot{V}'' = rekommenderad täthet [l/m²min]

$m_{\text{skumvätska}}$ = skumvätskebehov [kg]

m_{vatten} = färskvattenbehov [kg]

S = inblandningsandel skumvätska

t_1 = minimitid för skumbegjutning [min]

t_2 = tid för färskvattendrift [min]

INDATA

Tabell B.1.19. Indata till viktberäkning.

	A [m ²]	\dot{V}'' [l/m ² min]	$\rho_{\text{vätska}}$ [kg/l]	S	t_1 [min]	t_2 [min]
Vatten	17	20	1,00	-	-	10
Skumvätska	17	20	1,03	0,03	30	-

ANTAGANDE

För att erhålla en jämn täthet av släckmedlet över maskinerna antas det att det krävs tio meter stamrör och 20 meter grenrör i utrymmet och fem meter stamrör från pump till utrymmet. Stamrör och grenrör antas vara av samma dimension.

BERÄKNING

Massa släckmedel

$$m_{skumvätska} = 340 \cdot 1,03 \cdot 0,03 \cdot 30 = 315 \text{ kg}$$

$$m_{vatten} = 340 \cdot 1,00 \cdot 10 = 3400 \text{ kg (gäller för tio minuters färskvattendrift)}$$

Massa släckmedelsbehållare

$$20 + 200 = 220 \text{ kg (gäller för skumvätsketank 300 l och vattentank 3500 l)}$$

Massa systemkomponenter

$$70 + 2,6 = 73 \text{ kg (pumpar och injektor)}$$

Massa rörsystem

$$35 \cdot 1,93 = 68 \text{ kg (gäller för SS 2343 dimensionen 53×1,5)}$$

Massa total

$$(315 + 3400) + 220 + 73 + 68 = 4076 \text{ kg}$$

RESULTAT

Tabell B.1.20. Vikt för släckmedel och släcksystem.

	Vikt släckmedel [kg]	Viktindex släckmedel	Total vikt släcksystem [kg]	Viktindex total
Tungskum	3715	34	4076	15,2

PLATSANSPRÅK

Tabell B.1.21. Platsanspråk för systemkomponenter.

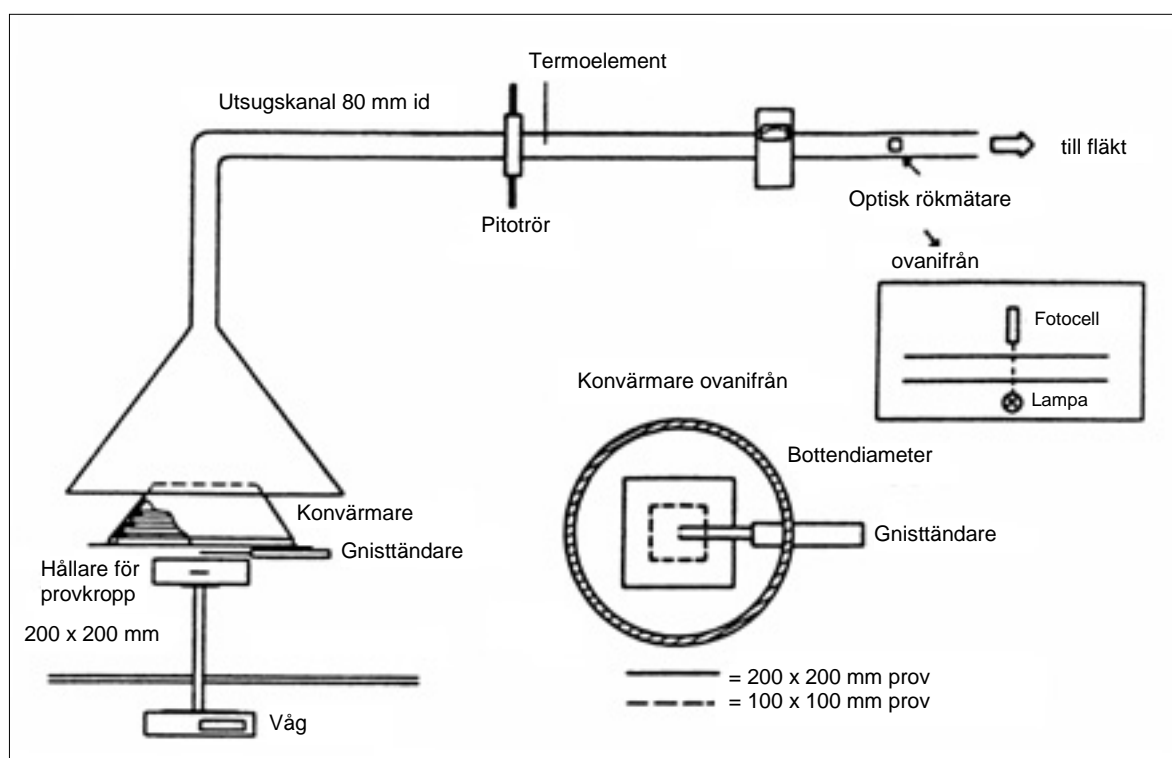
Komponent	$B \times L \times H$ [mm] ($\phi \times H$) [mm]	Antal	$B \times L \times H$ [mm] Totalt
Skumvätsketank	(640×1150)	1	640×640×1150
Vattentank	(1600×2100)	1	1600×1600×2100
Pumpar	1300×630×490	1	1300×630×490

BILAGA 2. VÄRMELEDNINGSTEST I KONKALORIMETER

För att erhålla värmeledningstalets beroende av temperaturen för brandskyddsfärgen och skrovmaterialiet har tester utförts med hjälp av en konkolorimeter. Temperaturförändringen i materialen mäts vid konstanta strålningsintensiteter under en viss tid.

FÖRSÖKSUPPSTÄLLNING

Försöksutrustningen /J/ består av en horisontell konvärmare som är placerad under en öppen huv som är ansluten till en kanal. I kanalen mäts gasflödet, gastemperaturen, syrgaskoncentrationen och tätheten av röken. Konvärmaren består av ett yttre och inre hölje med mellanliggande isoleringsmaterial. Värmen erhålls från tre värmeelement innanför det inre höljet. Effekten på värmeelementen kontrolleras med hjälp av ett termoelement. Provkroppen placeras i en hållare av rostfritt stål. Hållare och provkropp placeras på en platta som via en stång är monterad på en våg. Till utrustningen hör också en gnisttändare. Se figur B.2.1 nedan.



Figur B.2.1. Försöksuppställning för konkolorimetern, redigerade från /J/.

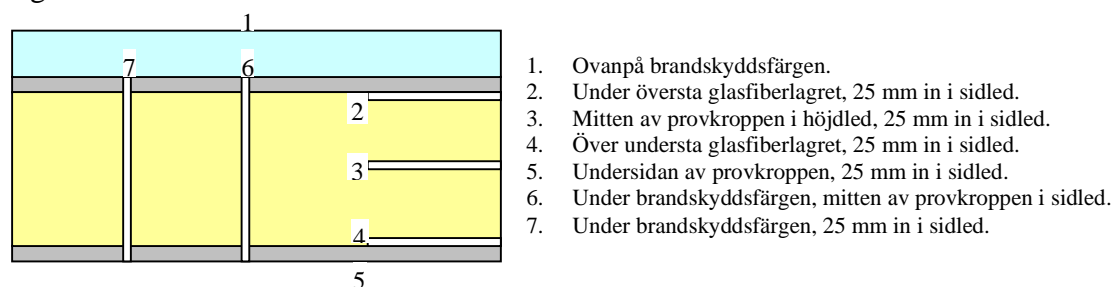
UTFÖRANDE

Försöken utfördes på provkroppar som var 100×100 mm. Under försöken användes inte alla de analysinstrument som finns vid konkolorimetern enligt ovan. De enda utdata som uppmättes och redovisas är temperaturerna för olika nivåer i provkropparna. Provkropparna isolerades runt om med mineralull så att de fyllde ut utrymmet i hållarna, se figur B.2.2.



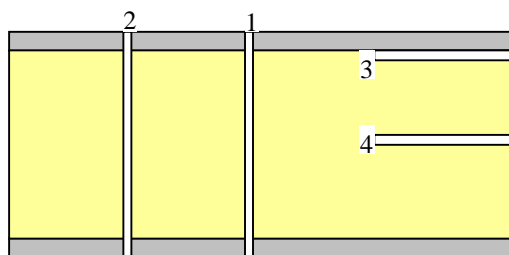
Figur B.2.2. Provkropp och mineralull i hållare.

Under konvärmaren placerades en vattenkyld värmesköld av rostfritt stål. Denna skyddar provkroppen från värmestrålning tills värmeskölden tas bort. Hållaren med provkroppen placerades under konvärmaren och samtidigt som värmeskölden togs bort startades registreringen av temperaturen hos de olika termoelementen. Tre försök med och fyra utan brandskyddsmålade provkroppar utfördes. Brandskyddsfärgen som provbitarna målades med var Novatherm 2FR från Hensoterm och mängden var 500g/m^2 . Varje enskilt test utfördes med konstant strålningspåverkan men den varierades från test till test. Strålningsintensiteten från konvärmaren kontrollerades genom att en ställa in en temperatur som registrerades av ett termoelement i utrustningen. En termostat kontrollerade sedan att denna temperatur hölls konstant. Temperaturen översattes sedan till strålningsintensitet via en kalibreringskurva framtagen av Fredäng, Hermansson, Löfgren-Ferraz, Wallin. Vid testerna av de brandskyddsmålade provkropparna uppmättes temperaturen på sju olika ställen, se figur B.2.3.



Figur B.2.3. Schematisk genomskärning av provkropp med expanderad brandskyddsfärg och termoelementens placering.

För de icke brandskyddsmålade provkropparna uppmättes temperaturen endast på fyra ställen, se figur B.2.4. Dessa försök utfördes två gånger för varje provkropp. Först utsattes provkroppen för en strålningsintensitet och fick därefter svalna till normal rumstemperatur. Sedan vändes provkroppen om så att den sidan som icke var exponerad för strålning vid första testet blev det vid det andra och vice versa. Vid testerna utan brandskyddsfärg skyddades termoelement ett och två med tejp för att inte utsättas för direkt strålning.



1. Ovanpå provkroppen, mitten i sidled.
2. Ovanpå provkroppen, 25 mm in i sidled.
3. Under översta glasfiberlagret, 25 mm in i sidled.
4. Mitten av provkroppen i höjled, 25 mm in i sidled.

Figur B.2.4. Schematisk genomskärning av provkropp och termoelementens placering.

Försöken utfördes i en serie om sju försök enligt tabell B.2.1.

Tabell B.2.1. Schema för konkolorimeterförsök.

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7
Provkropp	1	2	3	4	5	4	5
Brandskyddsfärg	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej	Nej
Temperatur [°C]	500	730	865	642	800	580	690
Strålningsintensitet [kW/m ²]	10	30	50	20	40	15	25
Varaktighet [min]	20	10	5	5	2	12	10
Antal termoelement	7	7	7	4	4	4	4

Provbitarna från testerna ett till tre sågades itu för att visuellt uppskatta skadorna som skett på provbitarna. Att uppskattningen av skadorna gjordes på delade provbitar beror på att i mitten av bitarna var inverkan av randeffekter som lägst.

OSÄKERHETER

Tester och försök är alltid behäftade med osäkerheter. Till de mer betydande osäkerheterna hör de randeffekter som erhöles på provbitarna. Trots att provkropparna isolerades med mineralull runt om så erhöles tydliga randeffekter.

Strålningsintensiteten är kraftigt beroende av avståndet från konvärmaren till provkroppen. Kalibreringskurvan som användes för att betstämna strålningen är framtagen för ett avstånd på 77 mm. Avståndet vid försöken kunde variera med ett par millimeter från de uppmätta vid kalibreringen.

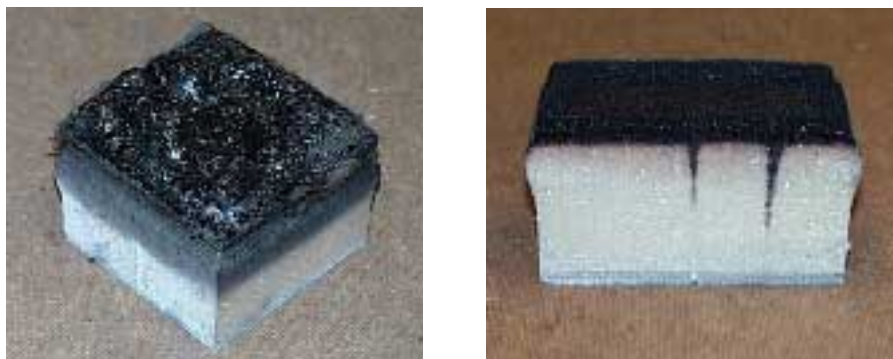
RESULTAT

Testerna visar att skrovmaterialiet isolerar mycket bra mot värme.

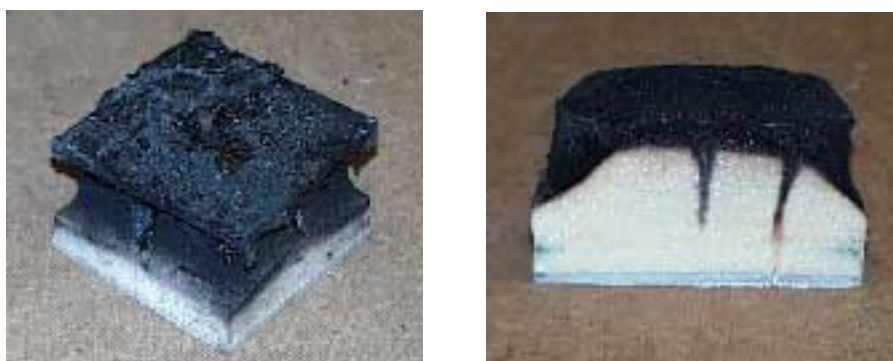
Temperaturökningen i mitten av kroppen var måttlig i försöken och på den icke brandutsatta sidan av konstruktionen erhöles endast en marginell ökning.

Glasfiberskiktet är mycket tåligt mot värme och deformeras inte. Kärnmaterialiet av expanderad PVC deformeras tydligt. Hållfastheten hos provkropparna har ej testats.

Dock kunde jag vid delning av provkropparna märka en klar tendens till att hållfastheten hos de förkolnade PVC-kärnorna hade minskat kraftigt mot de opåverkade delarna av kärnmaterialiet. Sprödheten var mycket större. Deformationens storlek och förkolningens inträngning var störst vid kanterna p.g.a. randeffekterna, se figur B.2.5-B.2.8.



Figur B.2.5-B.2.6. Provkropp hel och delad efter konkalorimetertest 1 (10 kW/m^2).



Figur B.2.7-B.2.8. Provkropp hel och delad efter konkalorimetertest 2 (30 kW/m^2).

Djupet på det förkolnade skiktet av kärnmaterialet var av varierande storlek. För att kunna simulera detta i HSLAB så behövdes förkolningens djup räknas om som om provkroppen var odeformerad enligt rad fyra tabell B.2.2

Tabell B.2.2. Skadedjup på provkropparna.

	Test 1	Test 2	Test 3
Deformation [mm]	3	7	5
Djup förkolning [mm]	10	11	5
Djup förkolning exkl. deformation [mm]	10,5	12,5	5,5

Nedan redovisas de temperaturer som erhöles vid testerna. De redovisade kurvorna i diagrammen för testerna med brandskyddsfärg betecknas som TC 2 till TC 7 och motsvarar termoelement 2 till 7 enligt figur B.2.3 ovan. Termoelement 1 redovisas inte då detta i alla tre försöken släppte från färgen i ett tidigt skede och gav därmed helt felaktiga värden för yttemperaturen hos brandskyddsfärgen.

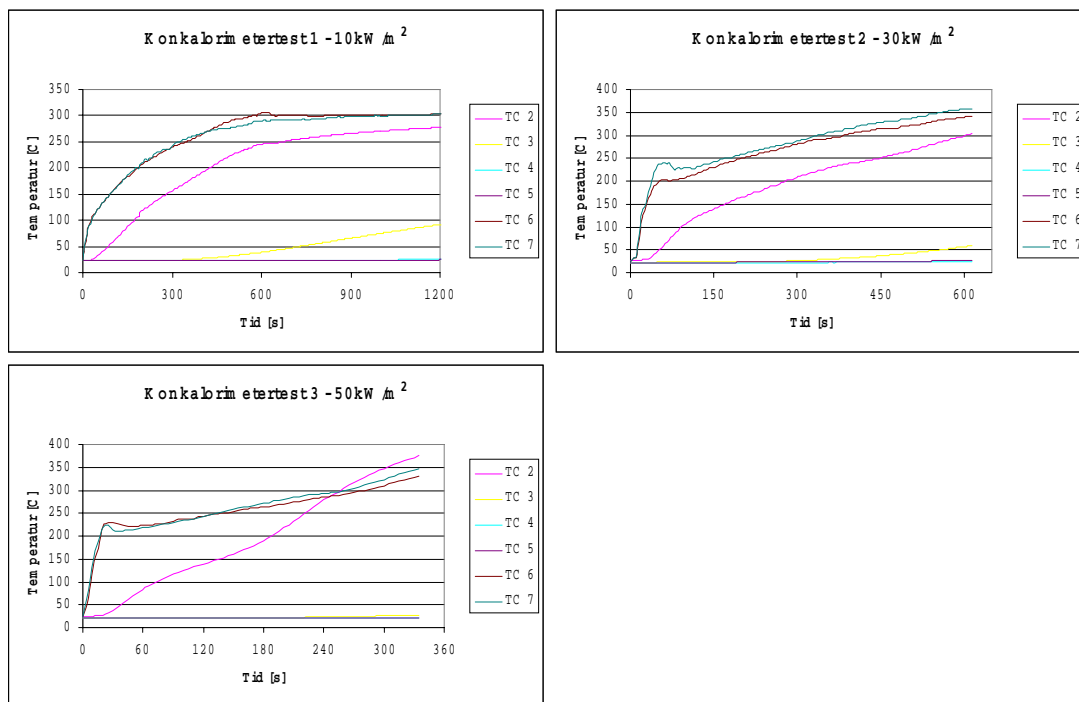


Diagram B.2.1-B.2.3. Temperaturkurvor från konkalorimetertest med brandskyddsmålade provkroppar.

Orsaken till att temperaturen för termoelement två blir högre än för termoelement sex och sju i test tre beror på att glasfiberskiktet släppte från PVC-kärnan när det började brinna i materialet. Därmed kunde värme ledas direkt via luften in under glasfiberplattan till termoelement två.

Nedan redovisas de temperaturer som erhöles vid testerna utan brandskyddsfärg. De redovisade kurvorna i diagrammen betecknas som TC 1 till TC 4 och motsvarar termoelement 1 till 4 enligt figur B.2.4 ovan.

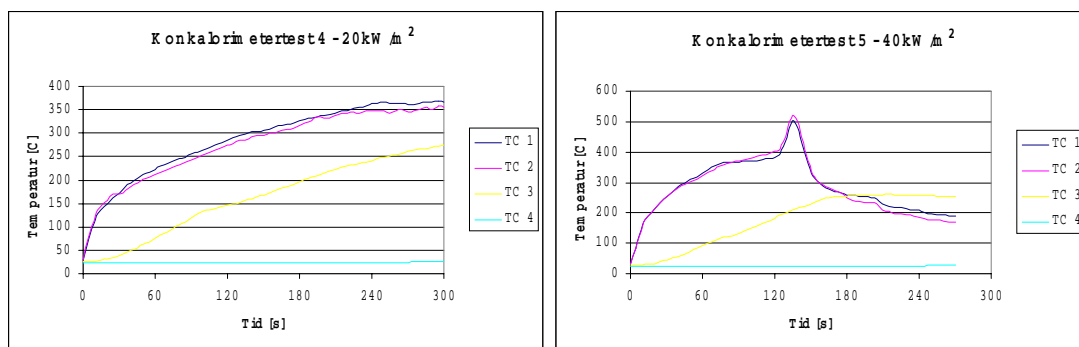


Diagram B.2.4-B.2.5. Temperaturkurvor från konkalorimetertest med provkroppar utan brandskyddsfärg.

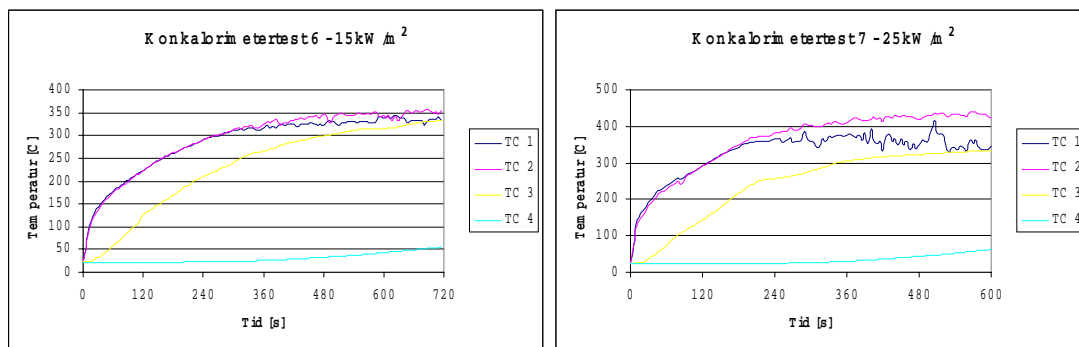


Diagram B.2.6-B.2.7. Temperaturkurvor från konkalorimetertest med provkroppar utan brandskyddsfärg.

För test fem är diagrammet endast giltigt fram till 120 sekunder för därefter avbröts testet då provkroppen brann. Det annorlunda utseendet av termoelement ett i test sju kan bero på att tejen som skyddade elementet delvis lossnade. Diagrammen visar att det är tiden som är viktigt om temperaturen skall öka längre in i kroppen. Test ett visar att temperaturen i mitten av kroppen har närmar sig 100°C efter 20 minuter och 10 kW/m² strålningsintensitet. Test tre med en strålningsintensitet på 50 kW/m² bör efter fyra minuter visa på ungefär 100°C i mitten av provkroppen om tiden och strålningsintensiteten skall ha samma betydelse. Test tre visar dock att temperaturen knappt har börjat stiga i mitten av provkroppen. Detta beror på att värmevågen fortfarande inte trängt fram dit, d.v.s. det finns en viss tröghet. Vilken strålningsbelastning som provkroppen utsätts för har också betydelse men det är framförallt för ytemperaturen och för temperaturen i kroppen efter en längre tid.

BILAGA 3 SIMULERING AV VÄRMELEDNING I HSLAB

Modellering av värmeledning via simuleringar i datamodeller är ett hjälpmedel vid framtagandet av värmeledningstal för material. I denna bilaga modelleras värmeledning i programmet HSLAB /F/.

DATORMODELL

Simulering av värmetransporten genom brandskyddsfärgen och skrov materialet har utförts i programmet HSLAB. Programmet kan hantera endimensionell värmeledning genom skivor med upp till tio olika materialskikt. Den numeriska lösningen av värmeledningsekvationen bygger på differential approximation enligt Crank Nicholson. Den teoretiska modellen för värmeledningen är endimensionell värmeledning d.v.s. att temperaturen beror endast av positionen x , $0 \leq x \leq L$, och tiden t , $t \geq t_0$. Värmeledningsekvationen är enligt följande:

$$\rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right)$$

ρ = densiteten [kg/m³]

c = specifika värmekapaciteten [J/kg °C]

λ = värmeledningstalet [W/m °C]

För att lösa ekvationen måste en mängd indata specificeras. Densiteten och värmekapaciteten för materialen anges som konstanter medan värmeledningstalet för respektive material kan anges som en funktion av temperaturen med en polygonkedja. Även randvillkoren för den simulerade skivan måste anges. Flera olika randvillkor finns att välja mellan t.ex. yttemperatur och strålning. För att programmet skall kunna lösa problemet numeriskt måste varje materialskikt delas in i tunnare delskikt. Längden av tidsstegen mellan lösningarna av ekvationen skall också definieras.

OSÄKERHETER OCH BEGRÄNSNINGAR

Programmet har en del inbyggda osäkerheter. En begränsning med programmet är att det förutsätter en endimensionell värmeledning. En annan är att den bygger på en numerisk lösning av en ekvation. Lösningens noggrannhet beror av längden på tidsstegen och av delskiktens tjocklek. Detta innebär att felen i beräkningarna är ungefär proportionella mot $(\Delta t)^2 + (\Delta x)^2 / X$. Ett sätt att kontrollera om resultaten är acceptabla är att utföra en andra simulering med mindre tidssteg och delskikt. Är resultaten av de två simuleringarna likvärdiga så är resultaten tillfredställande. Denna begränsning blir speciellt tydlig då programmet endast klarar att numeriskt lösa värmeledningsekvationen för vissa tjocklekar på skikten och vissa tidssteg. Programmet räknar endast med värmeledning enligt ekvationen ovan medan det i verkligheten finns en term som beror av den termiska nedbrytningen av materialet. Denna term kan både öka och minska värmeledningen igenom materialet. Programmet är utvecklat då stora begränsningar fanns i kapacitet hos processorer och minne. Detta medför att den stoppar simuleringar om det krävs för lång tid innan den numeriska lösningen konvergerar. Detta leder till stora begränsningar i utformning av problemet för att kunna erhålla en lösning från programmet.

SIMULERING

Simuleringarna utfördes i tre delmoment.

- Materialparametrar skulle bestämmas så att temperaturkurvorna efterliknade testerna. Troliga värden på ingångsvärden för materialparametrarna togs från liknande material via litteraturstudier.
- Temperaturen för gränsskiktet mellan skadat kärnmaterial och icke skadat skulle bestämmas. Skadekriteriet sattes till förkolnat kärnmaterial.
- Framtagandet av tid vid hög strålningspåverkan till skada samt strålningseffekt för evig påverkan utan skada.

För att kunna ta fram de okända parametrarna som styr värmeledningen in i skrovmaterialen under strålnings- och värmepåverkan så simulerades först situationen som överensstämde med test ett där strålningseffekten var 10 kW/m^2 och provkroppen var målad med brandskyddsfärg i konkalorimetern. Några indata var givna från testet och en del kunde tas fram genom mätningar och vägningar av provkropparna. Övriga indata fick antas och provas fram. Ett problem var att det inte gick att simulera att brandskyddsfärgen expanderade utan den fick ges ett konstant värde på tjockleken. För att kompensera detta fick värmeledningstalet varieras kraftigt för färgen. Ett flertal av de okända parametrarna ändrades i simuleringarna tills temperaturkurvorna stämde någorlunda med de som uppmätts i testet. Därefter utfördes samma simulering fast med 30 kW/m^2 och 50 kW/m^2 strålningspåverkan. Resultaten jämfördes med testresultaten från konkalorimetern. Sämre överensstämmelse med testresultaten erhöles för de högre strålningseffekterna och parametrarna fick återigen ändras. Till sist erhöles simuleringsresultat för 10 kW/m^2 som stämde väl överens med temperaturkurvorna från test ett, se diagram B.3.1.

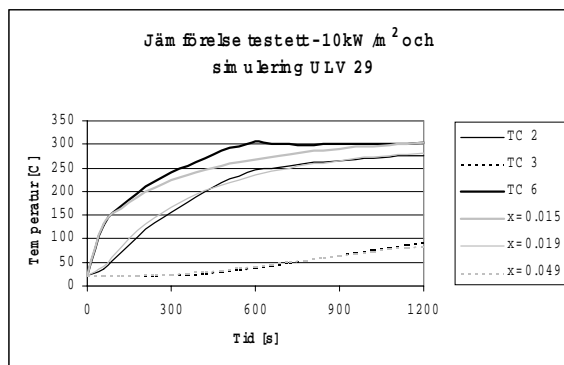


Diagram B.3.1. Jämförelse av temperaturkurvor från konkalorimetertest och simulering i HSLAB.

Tyvärr visade det sig att programmet inte klarade av att simulera de högre strålningseffekterna med dessa indata och parametrarna fick återigen ändras. Det visade sig också vara av stor betydelse vilka tidsteg som angavs för att programmet skulle klara av att lösa problemet. Efter många nya simuleringar erhöles ånyo temperaturkurvor som var representativa för testerna med de högre effekterna.

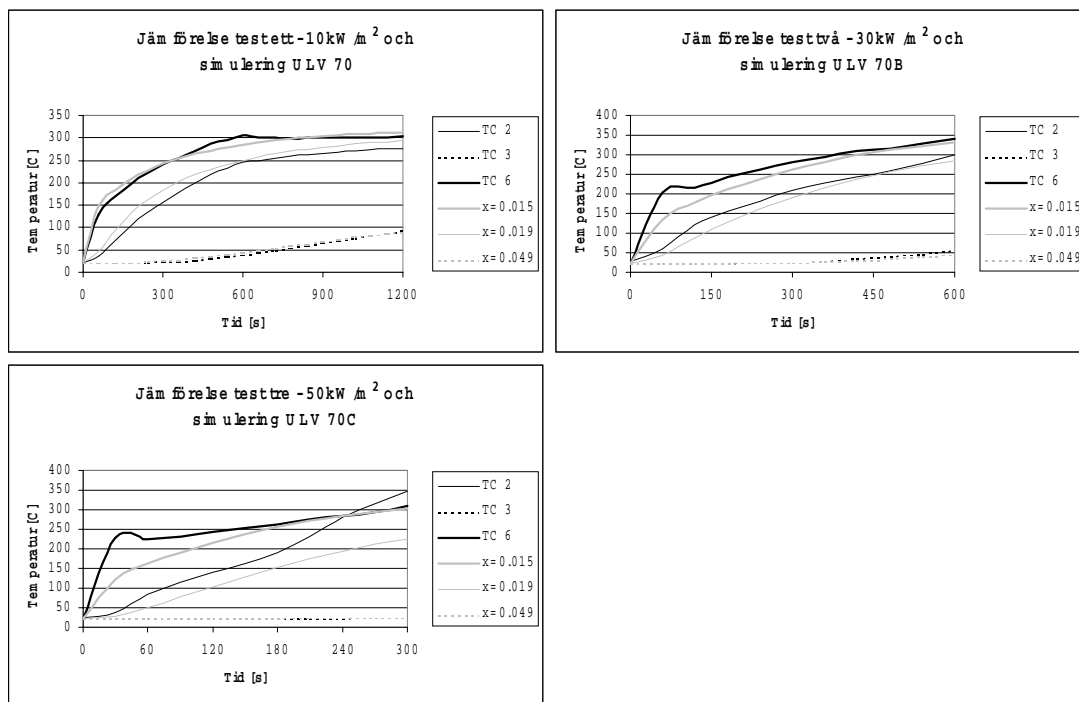


Diagram B.3.2-B.3.4. Jämförelse av temperaturkurvor från konkalorimetertest och simulering i HSLAB.

Visuella observationer av provkropparna från test ett till tre visade olika djup på förkolningen enligt tabell B.2.2 bilaga 2. För de omräknade djupen på förkolningen togs temperaturerna fram från simuleringarna som bäst stämde överens med testerna, ULV 70 (10kW/m²), ULV 70B (30 kW/m²) och ULV 70C (50 kW/m²). Tre olika temperaturer erhöles, 205°C, 128°C och 143°C för test ett, två respektive tre.

Temperaturerna vid gränsskiktet till skada är betydligt lägre vid de högre strålningseffekterna enligt simuleringarna. Detta beror troligtvis på att simuleringarna underpredikerar temperaturerna något för de högre strålningseffekterna. Vid test tre brann det dessutom i provkroppen vilket ledde till betydligt högre temperaturer under glasfiberskiktet än vad simuleringarna anger, se diagram B.3.4. Medeltemperaturen från simuleringarna av skadegränsen är 159°C, men då ovanstående fel är kända sätts temperaturen för skada i PVC-kärnan till det något högre värdet 180°C. Värdet på 180°C skall jämföras med data från /K/ som visar att termisk nedbrytning på PVC-material kan erhållas vid temperaturer från 83°C (356K) och att temperaturen för en procents nedbrytning är 184°C (457K). Nya simuleringar utfördes för att ta fram vilken strålning som skrov materialet kunde utstå under evig tid, i simuleringarna satt till 120 minuter. Strålningsnivån togs fram för när det blev skadlig temperatur på kärnmaterialet innanför den exponerade sidan av glasfiberskiktet och när det hade blivit det i halva kärnmaterialet. Dessa simuleringar utfördes enligt simulering ULV 90 och ULV 91 se tabell B.3.2. Därefter togs tiden för skada fram vid hög strålningspåverkan. Dessa simuleringar utfördes enligt ULV 90B och ULV 91B. Strålningspåverkan sattes till 50 kW/m² respektive 20 kW/m² för att programmet skulle klara av att lösa värmeledningen.

ANTAGANDEN

Testerna i konkalorimetern och simuleringarna i HSLAB utfördes på provkroppar med tunnare glasfiberskikt än vad materialet i väggarna till fartygets maskinrum är.

Det verkliga skrovmaterialiet har 8 mm tjocka glasfiberskikt på båda sidorna om den expanderade PVC-kärnan medan glasfiberskikten på provbitarna endast var 4 mm. Detta innebär att skrovmaterialiet i fartygen är tåligare mot värmepåverkan än vad testerna och simuleringarna i detta arbete visar. Någon hänsyn till detta tas inte vid beaktandet av resultaten men det gör att beräkningarna av skadorna hamnar på den säkra sidan d.v.s. skadorna blir inte värre än de framräknade. Vidare antas de indelningar i skiktjocklek som gjorts i simuleringarna vara tillräckligt tunna för att resultaten skall vara acceptabla. Att ingen känslighetsanalys har utförts beror på att programmet inte klarade av tunnare skikt än vad som har simulerats.

INDATA

Tabell B.3.1. Indata till simuleringar i HSLAB.

		ULV 70		ULV 70B		ULV 70C	
Brand- skydds- färg	Densitet [kg/m ³]	25		25		25	
	Värmekapacitet [J/kg K]	1000		1000		1000	
	Värmeledningstal [W/m K]	T	λ	T	λ	T	λ
		20	1	20	1	20	1
		200	0,7	200	0,7	200	0,7
		400	0,1	400	0,1	400	0,1
	500	0,04	500	0,04	500	0,04	
	Tjocklek [m]	0,015		0,015		0,015	
	Skiktjocklek [m]	0,0015		0,005		0,005	
Glas- fiber	Densitet [kg/m ³]	1450		1450		1450	
	Värmekapacitet [J/kg K]	1000		1000		1000	
	Värmeledningstal [W/m K]	0,1		0,1		0,1	
	Tjocklek [m]	0,004		0,004		0,004	
	Skiktjocklek [m]	0,001		0,001		0,001	
PVC	Densitet [kg/m ³]	140		140		140	
	Värmekapacitet [J/kg K]	800		800		800	
	Värmeledningstal [W/m K]	0,045		0,045		0,045	
	Tjocklek [m]	0,06		0,06		0,06	
	Skiktjocklek [m]	0,006		0,006		0,006	
	Initialtemperatur på provkropp [°C]	23		23		23	
Exp. sida	Gastemperatur [°C]	150		150		150	
	Strålningseffekt [W/m ²]	10000		30000		50000	
	Konvektiva värmeövergångstalet [W/m ² K]	15		15		15	
	Emissivitet	0,9		0,9		0,9	
Oexp. sida	Temperatur [°C]	23		23		23	
	Stopptid [s]	1200		600		300	
	Tidssteg [s]	10		5		5	

Tabell B.3.2. Indata till simuleringar i HSLAB.

		ULV 90		ULV 90B		ULV 91		ULV 91B	
Brand- skydds- färg	Densitet [kg/m ³]	25		25		25		25	
	Värmekapacitet [J/kg K]	1000		1000		1000		1000	
	Värmeledningstal [W/m K]	T	λ	T	λ	T	λ	T	λ
		20	1	20	1	20	1	20	1
		200	0,7	200	0,7	200	0,7	200	0,7
		400	0,1	400	0,1	400	0,1	400	0,1
	500	0,04	500	0,04	500	0,04	500	0,04	
	Tjocklek [m]	0,015		0,015		0,015		0,015	
	Skikt tjocklek [m]	0,003		0,003		0,005		0,0075	
Glas- fiber	Densitet [kg/m ³]	1450		1450		1450		1450	
	Värmekapacitet [J/kg K]	1000		1000		1000		1000	
	Värmeledningstal [W/m K]	0,1		0,1		0,1		0,1	
	Tjocklek [m]	0,004		0,004		0,004		0,004	
	Skikt tjocklek [m]	0,001		0,001		0,001		0,001	
PVC	Densitet [kg/m ³]	140		140		140		140	
	Värmekapacitet [J/kg K]	800		800		800		800	
	Värmeledningstal [W/m K]	0,045		0,045		0,045		0,045	
	Tjocklek [m]	0,06		0,06		0,06		0,06	
	Skikt tjocklek [m]	0,006		0,006		0,006		0,006	
	Initialtemperatur på provkropp [°C]	23		23		23		23	
Exp. sida	Gastemperatur [°C]	100		150		150		150	
	Strålningseffekt [W/m ²]	2500		50000		9000		20000	
	Konvektiva värmeövergångstalet [W/m ² K]	15		15		15		15	
	Emissivitet	0,9		0,9		0,9		0,9	
Oexp. sida	Gastemperatur [°C]	23		23		23		23	
	Konvektiva värmeövergångstalet [W/m ² K]	15		15		15		15	
	Emissivitet	0,9		0,9		0,9		0,9	
	Stoptid [s]	7200		200		7200		3600	
	Tidssteg [s]	20		5		20		20	

RESULTAT

Simuleringarna ULV 70, 70B och 70C visar att den kombination av indata som angivits ovan ger godtagbara resultat för värmeledningen i konstruktionen jämfört med testerna i konkalorimetern. Många av de angivna värdena på indata är antagna och framprovade tills bra resultat erhållits. Det är därför inte alls säkert att de indata på materialens värmeegenskaper är de riktiga och skall därför inte användas var och ett för sig. Detsamma gäller indata för gränsskikten till provkropparna.

Simuleringarna ULV 90 gav att vid en strålningsintensitet på $2,5 \text{ kW/m}^2$ steg aldrig temperaturen på undersidan av den exponerade glasfiberskiktet till mer än 180°C vilket satts som gräns för skada på PVC-materialet. ULV 90B visade att med en strålningsintensitet på 50 kW/m^2 så erhålls 180°C på samma ställe efter 200 sekunder. Mitten av kärnan d.v.s. 30 mm ner i det expanderade PVC-materialet erhöles inte 180°C vid strålningsintensitet på 9 kW/m^2 enligt simulering ULV 91 och men vid 20 kW/m^2 erhöles den temperaturen efter 50 minuter (3000 sekunder) enligt ULV 91B. Dessa resultat används sedan som lång- respektive kortidskriterier för skada på skrov materialet.

BILAGA 4 SIMULERING I DATORPROGRAMMET FREIA

Brandförloppet och brandgasernas spridning är simulerade i datorprogrammet FREIA /E/. Programmet simulerar och beräknar skadeverkan på komponenter som uppstår genom värmeledning och strålning från flamma och brandgaslager.

DATORMODELL BRANDFÖRLOPP

Programpaketet FREIA bygger på olika delprogram /Y/. Brandförloppet modelleras i FIRE SIMULATOR /Z/. Detta delprogram är hämtat från FPETOOL /M/. Modellen bygger på en s.k. tvåzonsmodell. Detta innebär att rummet delas in i två zoner, en övre varm zon med brandgaser och en nedre kall zon. Programmet löser ekvationerna för massa och energi för varje tidssteg och de båda zonerna. Av den energi som utvecklas av branden är det endast en del som ger en ökning av temperaturen i brandgaslagret. Den övriga delen är förluster genom strålning och konvektion. Andelen förluster av den totala effekten benämns förlustfaktor och används för att programmet skall kunna lösa differentialekvationerna för massa och temperatur. Förlustfaktorn beräknas enligt formel [1]

$$L_C = \frac{(q_r + q_c + q_f)}{q_p} \quad [1]$$

L_C = värmeförlustfaktor

q_r = strålningsförlust från brandgaslager

q_c = konvektiva värmeförluster från brandgaslagret till väggar och tak

q_f = strålningsförlust från flaman

q_p = effektutveckling från branden

Strålningen från flaman anges som en andel av brandens effekt medan strålningen från brandgaslagret beror av temperaturskillnaden mellan brandgaslagret och omgivande ytor. Även emissiviteten är temperaturberoende. Värmeöverföringen till väggar och tak är indelad i två tidregioner. Första delen är när materialet fortfarande lagrar energi och det andra när värmevågen har passerat igenom. Den resterande delen av energin bestämmer temperaturen på brandgaslagret. Energin som förloras från utströmmande varma brandgaser tas från brandgaslagret. Programmet använder Heskestads plymekvation för att beräkna massflödet genom plymen upp till den övre varma zonen.

OSÄKERHETER OCH BEGRÄNSNINGAR

- Endast ett rum i taget kan simuleras \Rightarrow programmet tar inte hänsyn till att ett brandgaslager kan byggas upp i ett intilliggande rum vilket påverkar inströmning av luft och utströmning av varma brandgaser.
- Öppningar i taket kan inte läggas in \Rightarrow öppningar måste simuleras med öppningar i översta delen av väggarna vilket också påverkar in- och utströmning enligt ovan.

KÄNSLIGHETSANALYS

Programmet kan endast hantera ett rum åt gången och detta har en stor inverkan på strömningen av luft och varma brandgaser vid vissa rumsupbyggnader.

Känslighetsanalys har utförts där öppningarnas storlek har varierats.

För att undersöka hur utrymmet bäst simuleras i FREIA vad det gäller dimensionerna på rummet och öppningarna har utrymmet också simulerats i Hazard. Detta program kan simulera flera utrymmen samtidigt och många öppningar kan läggas in som förbinder dessa. Modellering av branden har skett i CFAST 2.0 som är en del av ovanstående paket. Programmet bygger på en rad förenklingar och antaganden som är viktiga att ta hänsyn till:

- Branden ses som en källa till energi och massflöde vilket motsvarar temperatur och brandgaser
- Temperaturerna i det nedre lagret och i det övre brandgaslagret är homogena för vart och ett av lagerna

Den sista förenklingen innebär att även detta program bygger på en s.k. tvåzonsmodell. Varje rum delas in i två zoner, en övre varm zon med brandgaser och en nedre kall zon. Programmet löser ekvationerna för massa och energi för varje tidssteg och de båda zonerna. Viktiga indata till programmet är den simulerade geometrin samt effektutvecklingen för branden. Som ingångsvärde för brandens effektutveckling har den dimensionerande spraybranden enligt kapitel 7 valts. Geometrin läggs in som rum som förbinds med öppningar och som kan vara öppna mot omgivningen. I simuleringarna har maskinutrymmet efterliknats så noggrant som möjligt. Utrymmet har delats in i fyra mindre utrymmen, maskinkappen, övre maskinrum, nedre maskinrum och utrymmet i hålskeppet. Förbindelse mellan utrymmena har lagts in i väggarna motsvarande storleken på öppningarna som egentligen finns i golv och tak. Jämförelse mellan programmen har utförts för den dimensionerande spraybranden och att öppningar till utrymmet stängs till efter 150 sekunder d.v.s. att förberedelse görs för aktivering av släcksystem. I diagram B.4.1 nedan visas resultaten från simuleringarna i FREIA jämfört med simuleringen i Hazard. Simulering nummer 21 i FREIA är den som bäst stämmer överens med simuleringen i Hazard. Den underskrider temperaturen något jämfört med Hazard vilket inte är något negativt då Hazard har en tendens till att överprediktera temperaturen i brandgaslagret.

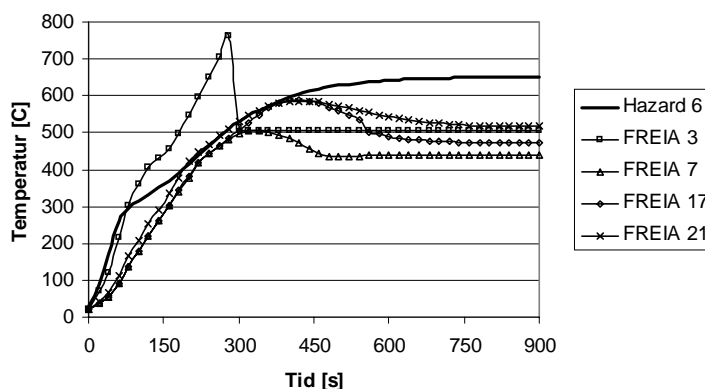
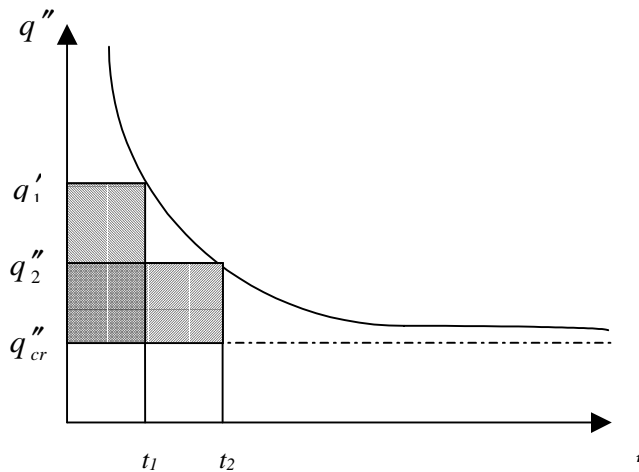


Diagram B.4.1. Jämförelse av brandgaslagrets temperatur mellan simuleringar i Hazard och FREIA vid dimensionerande spraybrand under 15 minuter och inget släcksystem.

DATORMODELL KOMPONENTSKADA

Resultaten från simuleringen i FIRE SIMULATOR används för att ta fram skadorna på komponenter. Modellen för komponentskador bygger på antagandet att över en konstant värmepåverkan så tål komponenterna endast en viss energidos, E_{cr} . Detta antagandet innebär att en komponent klarar en konstant värmepåverkan, q''_{cr} , under mycket lång tid. För en högre belastning q''_1 klarar sig dock komponenten bara en kort tid t_1 alternativt q''_2 och t_2 , se formel 2 och figur B.4.1.

$$(q''_1 - q''_{cr}) \cdot t_1 = (q''_2 - q''_{cr}) \cdot t_2 = E_{cr} \quad [2]$$



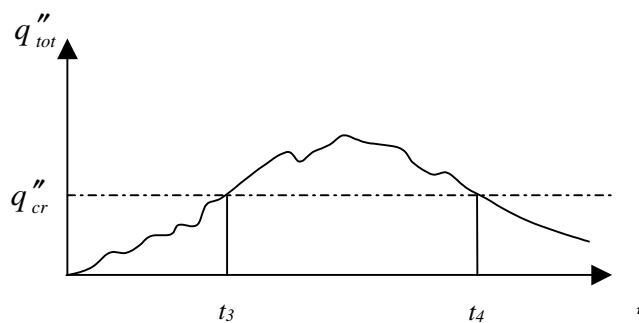
Figur B.4.1. Förhållandet mellan tid till skada och värmepåverkan.

Den kritiska energidosen, E_{cr} , skall jämföras med den erhållna energidosen, E_r , för komponenten ifråga. Modellen antar att energin kan erhållas från fyra källor:

- Strålning från brandgaslager
- Strålning från flamma
- Konvektiv värme via direktkontakt med brandgaslager
- Konvektiv värme via direktkontakt med flamma

Den erhållna energidosen kan beskrivas med formel 3 och figur B.4.2.

$$E_r = \int_{t_3}^{t_4} (q''_{tot} - q''_{cr}) dt \quad [3]$$



Figur B.4.2. Erhållen skadlig energidos.

Vid beräkning av den totala värmepåverkan görs några antaganden.

- Om komponenten är omsluten av brandgaslagret skyddas den från strålning från flaman.
- Yttemperaturen hos komponenten är hela tiden samma som begynnelsestemperaturen.
- Flaman modelleras som en cylinder vid strålningsberäkningar

SIMULERING

För att programmet skall kunna simulera branden krävs en mängd indata. Exempel på parametrar som påverkar brandförloppet är bränslets förbränningsvärme, syretillgång, rumsgeometri, öppningar och ventilation. För att ta fram skadorna på komponenterna behövs data om komponenternas känslighet för värme och strålning samt deras placering i förhållande till branden och brandgaslagret. Beräkningarna utförs i två omgångar. I den första omgången beräknas brandens utveckling samt brandgaslagrets höjd och temperatur. En del andra parametrar beräknas också t.ex. halterna av CO och CO₂. Därefter beräknas skadorna på de definierade komponenterna. Simuleringarna av brandförloppen och skadorna på skrovmaterial har skett enligt följande schema.

Tabell B.4.1 Schema över simuleringar i FREIA

Simulering	Brand	Släcksystem	Kommentar
1	Spray	Inget	Fram till 15 minuter
2	Pöl	Inget	Fram till 15 minuter
3	Spray	Halon, HFC-gaser	
4	Spray	CO ₂ , Inertgaser	
5	Spray	Vattendimma	
6	Spray	Lättskum	
7	Spray	Tungskum	
8	Pöl	Halon, HFC-gaser	
9	Pöl	CO ₂ , Inertgaser	
10	Pöl	Vattendimma	
11	Pöl	Lättskum	
12	Pöl	Tungskum	
13	Spray	Halon, HFC-gaser	Känslighetsanalys, 5 minuters aktiveringstid istället för tre
14	Pöl	Halon, HFC-gaser	Känslighetsanalys, 5 minuters aktiveringstid istället för tre
15	Spray	CO ₂ , Inertgaser	Känslighetsanalys, 5 minuters aktiveringstid istället för tre
16	Pöl	CO ₂ , Inertgaser	Känslighetsanalys, 5 minuters aktiveringstid istället för tre

ANTAGANDEN

Den dimensionerande spraybranden antas vara placerad i hörnet fast två meter ut från de två väggarna och dessutom en meter ovan golvet d.v.s. 2,2,1 (x,y,z). Den dimensionerande pölbranden antas däremot endast vara en meter från då två väggarna och placerad i golvnivå d.v.s. 1,1,0 (x,y,z). Branden antas begränsas till den dimensionerande trots att övertändning kan ske. Det finns dock inte så mycket annat brännbart material i maskinrummet förutom det utströmmande bränslet.

INDATA

I de olika simuleringarna har brandförloppen lagts in enligt simuleringsschemat ovan. Brandförloppens konstruktion är enligt kapitel 7. Övriga indata som använts vid simulering i FREIA var enligt följande.

- Rumsdimensioner: $9 \times 6,1 \times 4,4$ m ($L \times B \times H$) enligt FREIA 21
- Öppning fram till 150 sekunder: $1,4 \times 0,7$ m ($B \times H$) placerad 0,1 m under takkant och neråt
- Öppning efter 150 sekunder: $0,05 \times 4,3$ m ($B \times H$) placerad från golv och uppåt
- Syrebegränsningar och CO/CO₂ förhållande enligt programmet
- Maximala värmeförluster enligt programmet
- Strålningsandel 0,35 enligt programmet
- Förbränningsvärme 30,1kJ/kg
- Ingen mekanisk ventilation eller tryckavlastning
- Tak och väggmaterial: $\lambda = 0,038$ W/m K, $c_p = 835$ J/kg K, $\rho = 32$ kg/m³, $\varepsilon = 0,9$, tjocklek = 90mm enligt Glassfb2 i CFAST 2.0 fast tjockare
- Övertändningstemperatur 1500°C, detta för att undvika att detta skulle uppnås och för att branden skulle begränsas till den dimensionerande, se antaganden.

För att kunna ta fram skador på skrovmaterialet så måste det simuleras som komponenter. Materialet simulerades som fyra olika linjekomponenter som placerades på ett sådant sätt att de var så nära branden som möjligt. Detta för att de värsta skadorna inte skulle missas. Komponenterna var därför placerade på olika sätt beroende på om det var spraybrand eller pölbrand då dessa har olika placering. Skrovmaterialet delades upp i fyra komponenter enligt följande:

Vägg 1: Komponenten skadas samtidigt som PVC-kärnan i mitten av konstruktionen uppnår 180°C vilket innebär skada för halva materialet. Den är placerad lodrätt längs en vägg.

Vägg 2: Komponenten skadas samtidigt som PVC-kärnan precis under det exponerade glasfiberskiktet uppnår 180°C vilket innebär skada för materialet. Den är placerad lodrätt längs en vägg.

Tak 1: Komponenten skadas samtidigt som PVC-kärnan i mitten av konstruktionen uppnår 180°C vilket innebär skada för halva materialet. Den är placerad i taket och passerar rakt ovanför branden.

Tak 2: Komponenten skadas samtidigt som PVC-kärnan precis under det exponerade glasfiberskiktet uppnår 180°C vilket innebär skada för materialet. Den är placerad i taket och passerar rakt ovanför branden.

Komponenternas koordinatangivelser samt skadekriterierna för dem finns i tabell B.4.2 nedan. Skadekriterierna är framtagna via konkalorimeterstest samt simuleringar i HSLAB. Förkortningen L.T.S. står för långtidsstrålning vilket är den strålning som komponenten anses klara utan skada under evig tid. K.T.S. står för korttidsstrålning. Vid denna konstanta strålningsintensitet anses komponenten erhålla skador efter den tid som presenteras bredvid.

Tabell B.4.2. Indata för komponentskada i FREIA.

Spraybrand									
Komponent	Startpunkt			Ändpunkt			Skadekriterier		
	X	Y	Z	X	Y	Z	L.T.S. [kW/m ²]	K.T.S. [kW/m ²]	Tid [s]
Vägg 2	0	2	0	0	2	4,4	2,5	50	200
Vägg 1	0	2	0	0	2	4,4	9	20	3000
Tak 2	0	2	4,4	9	2	4,4	2,5	50	200
Tak 1	0	2	4,4	9	2	4,4	9	20	3000
Pölbrand									
Komponent	Startpunkt			Ändpunkt			Skadekriterier		
	X	Y	Z	X	Y	Z	L.T.S. [kW/m ²]	K.T.S. [kW/m ²]	Tid [s]
Vägg 2	0	1	0	0	1	4,4	2,5	50	200
Vägg 1	0	1	0	0	1	4,4	9	20	3000
Tak 2	0	1	4,4	9	1	4,4	2,5	50	200
Tak 1	0	1	4,4	9	1	4,4	9	20	3000

RESULTAT

Simuleringarna visar att de slutliga temperaturerna blir högre för de långsammare släckmedlen vilket beror på att branden tillåts pågå under en längre tid i dessa simuleringar. De visade också att i det flesta fall är temperaturen så hög i brandgaslagret att det inte går att utesluta att rummet är övertänt. Detta innebär att allt brännbart i rummet brinner se diagram B.4.2-B.4.9.

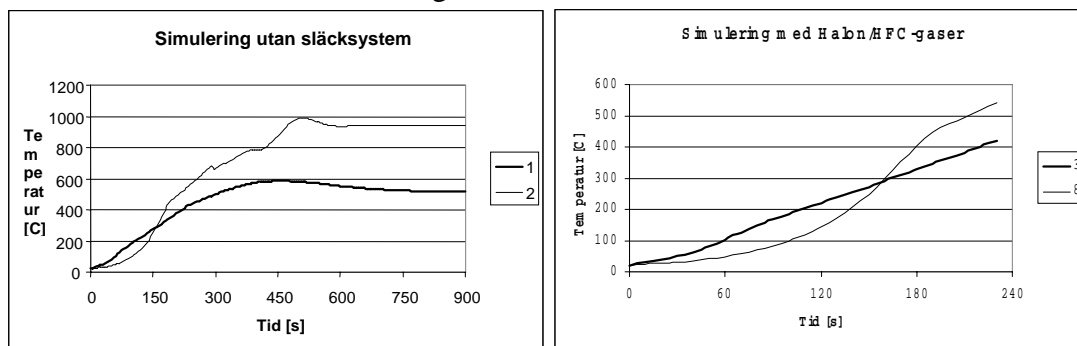


Diagram B.4.2-B.4.3. Brandgaslagrets temperaturer, 1 & 3 spraybrand och 2 & 8 pölbrand.

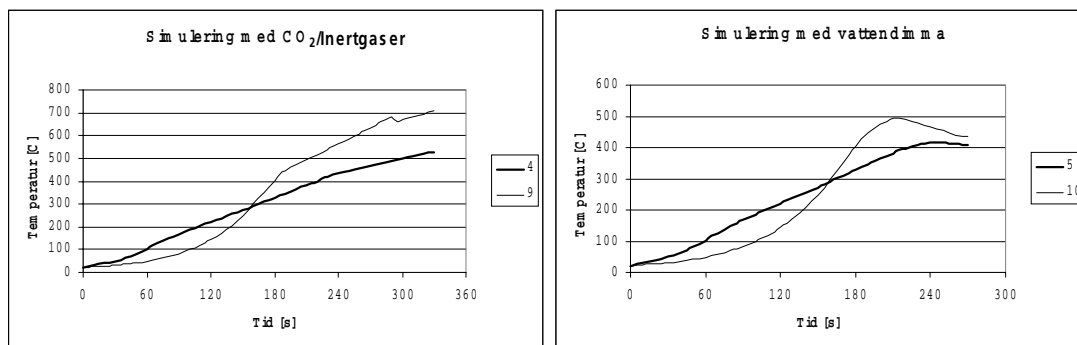


Diagram B.4.4-B.4.5. Brandgaslagrets temperaturer, 4 & 5 spraybrand och 9 & 10 pölbrand.

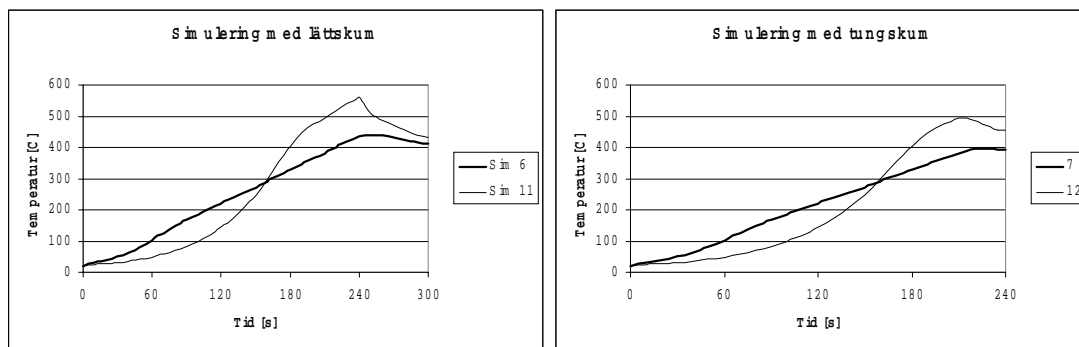


Diagram B.4.6-B.4.7. Brandgaslagrets temperaturer, 6 & 7 spraybrand och 11 & 12 pölbrand.

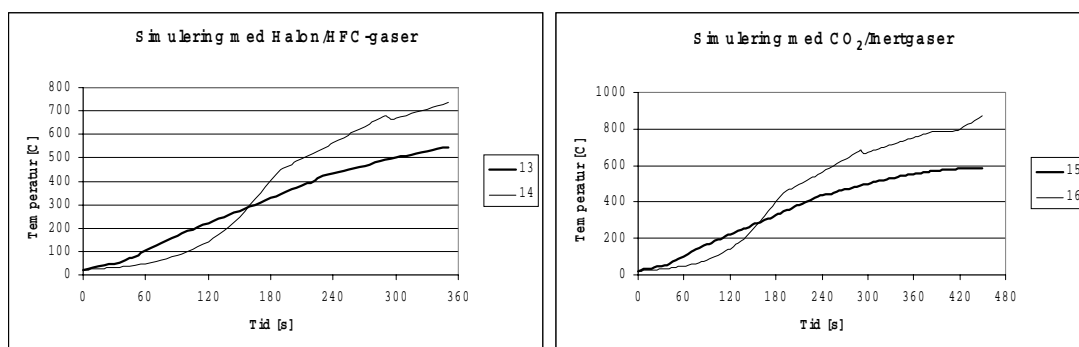


Diagram B.4.8-B.4.9. Brandgaslagrets temperaturer vid fem minuters aktiveringstid istället för tre, 13 & 15 spraybrand och 14 & 16 pölbrand.

Simuleringarna av komponentskador visar att skadorna uppkommer först i taket. Orsaken till detta är förstås det varma brandgaslagret som leder stor mängd värme till omgivande ytor. De visar också att om de dimensionerande bränderna tillåts pågå under 15 minuter så kommer helt klart PVC-materialet erhålla skador se diagram B.4.10 och B.4.11. Men trots att bränderna tillåts pågå under sådan lång tid så visar de också att materialet inte kommer att skadas så långt in som i mitten av konstruktionen. Diagrammet nedan skall utläsas så att y-axeln är förhållandet mellan den erhållna värmemängden hos komponenten och den mängd värme som krävs för att skada komponenten. Detta innebär att över ett är skadat och under ett bör inte vara skadat. Till detta skall det dock läggas att zonmodellen jämnar ut temperaturen i hela brandgaslagret medan det i det verkliga fallet kan vara betydligt varmare rakt ovanför branden där plymen stiger upp. Därför bör en faktor på upptill två läggas till skadevärdet. Trots denna faktor kommer inte skadlig temperatur att uppkomma i mitten av konstruktionen enligt simuleringarna med de olika släckmedlen. Det tydligaste resultatet anses vara att konstruktionen är tåligt mot brandpåverkan. Dock ska det beaktas att ingen kontroll av hållfasthet har utförts vilket kan vara det som är avgörande. Dessutom förutsätter dessa simuleringar att värmen inte kan komma åt från några andra håll via t.ex. oisolerade genomföringar. Det är också viktigt att beakta att programmet avbryter simuleringarna när brandeffekten upphör. Efter det att branden har slocknat kan en stor mängd värme vara kvar i brandgaslagret som fortsätter att utsätta materialet för påverkningar. Denna del är speciellt stor för de gasformiga släckmedlen som inte bidrar till någon större kylning. Något större skador kan alltså uppkomma p.g.a. den värme som finns kvar. För de vattenbaserade släckmedlen är denna del inte alls lika stor då vattnet fort kyler omgivande ytor. Känslighetsanalysen med att låta aktiveringstiden vara fem minuter istället för tre i

simuleringarna 13 till 16 visar på förhöjda erhållna värmemängder. Detta leder till att den erhållna värmemängden överstiger den för skada i simulering 15 och 16. Tiden fram till aktiverat släcksystem har alltså stor betydelse.

Skadescenario spraybrand

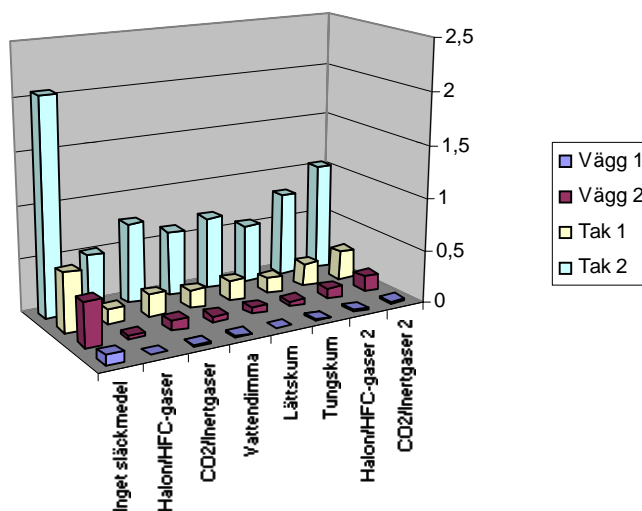


Diagram B.4.10. Skadeverkan på skrovmaterialen som förhållandet mellan erhållen värmemängd och skadlig värmemängd. Simuleringar med en 2:a i namnet är känslighetsanalyser med fem minuters aktiveringstid mot normala tre.

Skadescenario pölbrand

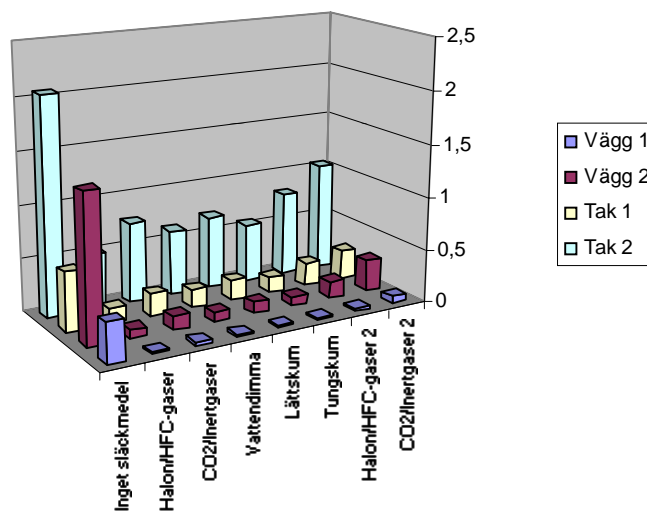


Diagram B.4.11. Skadeverkan på skrovmaterialen som förhållandet mellan erhållen värmemängd och skadlig värmemängd. Simuleringar med en 2:a i namnet är känslighetsanalyser med fem minuters aktiveringstid mot normala tre.