

# Brandskydd ombord fartyg i Victoriaklassen

*Kristoffer Björkman*

*Filip Nilsson*

---

Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet

Fire Safety Engineering  
Lund University  
Sweden

Rapport 5538, Lund 2017  
Examensarbete på brandingenjörsutbildningen



# Brandskydd ombord fartyg i Victoriaklassen

Kristoffer Björkman  
Filip Nilsson

Lund 2017

**Titel**

Brandskydd ombord fartyg i Victoriaklassen

**Title**

Fire protection on board vessels in Victoria-class

**Authors**

Kristoffer Björkman

Filip Nilsson

**Report**

5538

**ISRN**

LUTVDG/TVBB-5538-SE

**Number of pages**

61

**Keywords**

PGA, Pyrotechnically generated aerosols, Ship, Engine room

**Sökord**

PGA, Pyrotekniskt genererade aerosoler, Fartyg, Maskinrum

**Abstract**

In this report the fire safety on board vessels in the so called Victoria-class has been evaluated. A series of tests were conducted in a container at Revinge with the purpose to analyze the self-activation temperature and extinguishing effects of pyrotechnically generated aerosol (PGA) devices. The ventilations influence on the fire behavior and how the hull material is affected by fire were also assessed. Results showed that self-activation should not be used as an activation method in the engine room on board Victoria-class. Tests also showed that the ventilation conditions has great influence on both the behavior of the fire and the ability to achieve required concentration of the extinguishing agent. Regarding the hull material results showed that critical temperatures were reached within a few minutes.

## Förord

Följande personer har bidragit till detta arbete och förtjänar ett stort tack.

Stefan Svensson – Handledare, Lunds tekniska högskola

Marie-Louise Dahlberg – Sjöräddningssällskapet

Thore Hagman – Sjöräddningssällskapet

Anders Bagge och de frivilliga sjöräddarna på RS Kåringön

Richard Qvarfell – X-Fire

Christian Oscarsson – Swede Ship Marine

Kristoffer Björkman och Filip Nilsson

Lund, 2017

---

Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
221 00 Lund

[www.brand.lth.se](http://www.brand.lth.se)

Telefon: 046 - 222 73 60

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

[www.brand.lth.se](http://www.brand.lth.se)

Telephone: +46 46 222 73 60

## Akronymer

IMO - International Maritime Organization

IDLH - Immediately Dangerous to Life or Health

LTH – Lunds tekniska högskola

MCA - Maritime and Coastguard Agency

MSB – Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

PGA - Pyrotechnically Generated Aerosols

SOLAS - the International Convention for the Safety of Life at Sea

SP - Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

SSRS – Sjöräddningssällskapet (Svenska Sällskapet för Räddning af Skeppsbrutne)

SVC - Small Commercial Vessel and Pilot Boat (SVC) Code

## Summary

Sjöräddningssällskapet (SSRS) is a voluntary search and rescue organization, involved in a majority of the sea rescue operations in Swedish waters. Their fleet consists of approximately 200 vessels. A majority of these vessels are not covered by any regulations regarding fire protection. Although the ships in the so-called Victoria-class are not subject to any regulations, SSRS has the ambition to meet the requirements for classed vessels. However, it is difficult to determine which parts of the existing regulations that are reasonable to meet as the regulations scope are for significantly larger vessels. A new performance-based framework is under development and will be launched in 2017. This framework will probably be better suited to vessels equivalent to the Victoria-class.

The purpose of this report is to examine the existing fire protection on board ships in the Victoria-class. These vessels have great engine power, are technologically advanced and designed to withstand harsh weather conditions. The material used for the hull is a fibre-reinforced plastic (FRP), which is a strong lightweight material, suitable for ship construction in several aspects. A significant difference to traditional materials, such as steel, is that FRPs are combustible. The majority of fires occurring on board vessels starts in the engine room. On board the Victoria-class the engine room is protected by a fixed fire extinguishing system consisting of pyrotechnically generated aerosols (PGA).

Experiments were conducted to examine the self-activation temperature and extinguishing effects of the PGA devices. The ventilations influence on the fire behavior and how the FRP is affected by fire was also assessed. The purpose of the experiments was to identify weaknesses in the existing fire protection system. Based on the results from conducted experiments the following conclusions can be made.

- Self-activation of the extinguishing substance as an activation method in the engine room is not recommended.
- Ventilation conditions has great influence on both the behavior of the fire and the ability to achieve required concentration of the extinguishing agent.
- An engine room fire can cause critical temperatures in the hull material within a few minutes.





## Sammanfattning

Sjöräddningssällskapet (SSRS) är en frivilligorganisation som utför merparten av sjöräddningsinsatserna i svenska farvatten. I dagsläget utgörs SSRS flotta av omkring 200 fartyg som de själva är engagerade i att utveckla och producera. Merparten av dessa omfattas inte av något regelverk kring konstruktion eller utrustning såsom brandskydd. Även om fartygen i den så kallade Victoriaklassen inte omfattas av något regelverk är det SSRS ambition att i så stor utsträckning som möjligt uppfylla de krav som gäller för klassade fartyg. Det är dock svårt att avgöra vad i befintligt regelverk som är rimligt att uppfylla då det syftar till betydligt större fartyg. Ett nytt funktionsbaserat regelverk är under utveckling och ska lanseras under 2017. Det nya regelverket kommer troligen vara mer anpassat till fartyg motsvarande de i Victoriaklassen.

Detta arbete syftar till att undersöka det befintliga brandskyddet ombord fartyg i Victoriaklassen. Dessa fartyg är tekniskt avancerade, har stor maskinstyrka och konstruerade för att klara hårda väderförhållanden. De byggs i sandwichkomposit vilket är ett starkt lättviktsmaterial som lämpar sig väl för fartygskonstruktion i flera avseenden. En väsentlig skillnad mot stål som fartyg traditionellt byggts av, är att sandwichkomposit är brännbart. Merparten av de bränder som uppstår ombord fartyg inträffar i maskinrummet. Ombord Victoriaklassen skyddas detta utrymme av ett släcksystem bestående av pyrotekniskt genererade aerosoler (PGA).

Totalt genomfördes nio försök för att undersöka självaktiveringstemperatur, släckverkan, ventilationens inverkan på brandförloppet samt hur skrovmaterialiet påverkas vid brand. Syftet med försöken var att identifiera svagheter i det befintliga brandskyddet. Efter försöken kunde följande slutsatser dras:

- Automatisk aktivering av släckmedelssubstansen bör inte användas som aktiveringsmetod i ett maskinrum ombord Victoriaklassen.
- Ventilationsförhållanden har stor inverkan på både brandförloppet och möjligheten att uppnå erforderlig släckmedelskoncentration.
- Vid brand i maskinrummet riskerar skrovmaterialiet att ta skada redan efter ett fåtal minuter.



## Innehållsförteckning

1	Inledning .....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte .....	1
1.3	Mål .....	1
1.4	Metod .....	1
1.5	Avgränsningar .....	2
1.6	Begränsningar.....	2
2	Sjöräddning och Victoriaklassen .....	3
2.1	Sjöräddning i Sverige.....	3
2.2	Sjöräddningssällskapet .....	3
2.3	Victoriaklassen .....	3
3	Regelverk.....	7
3.1	Internationella överenskommelser.....	7
3.2	Dräktighet och fartområde.....	7
3.3	Egenambition.....	7
4	Pyrotekniskt Genererade Aerosoler.....	9
4.1	Allmän beskrivning.....	9
4.2	Tidigare forskning.....	10
4.3	Dimensionering av släcksystem.....	12
4.4	Riktlinjer från IMO .....	12
5	Försök.....	13
5.1	Geometri.....	13
5.2	Ventilation .....	14
5.3	Mätutrustning.....	14
5.4	Dimensionering av brand.....	14
5.5	Anpassningar av försöksuppställning.....	15
5.6	Genomförande.....	18
6	Resultat och analys.....	19
6.1	Aktiveringstemperatur .....	19
6.2	Släckverkan .....	22
6.3	Ventilation .....	26
6.4	Skrovmaterial.....	27
7	Diskussion.....	33
8	Slutsatser.....	35
	Referenser .....	37
	Bilaga A – Försök .....	39
	Bilaga B – Teknisk data för FP500 och FP1200.....	49



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Det är stor skillnad att bekämpa en brand till havs jämfört med på land. Möjligheten att evakuera är begränsad och ventilationsförhållandena är ofta mer komplexa än i byggnader. Dessutom är det inte möjligt att få förstärkning med manskap eller materiel i samma utsträckning som på land. Därför är det av största vikt att fartyget är konstruerat på ett sätt som begränsar brand och att besättningen är utbildad för att snabbt kunna hantera en sådan situation samt har tillgång till lämplig utrustning. Därför regleras detta noggrant genom internationella konventioner (IMO, 2016). Mindre fartyg som inte används i kommersiellt syfte omfattas dock inte av dessa regelverk.

Sjöräddningssällskapet (SSRS) har flertalet enheter som inte omfattas av dessa regelverk, däribland fartygen i den så kallade Victoriaklassen. Således finns inga krav på hur brandskyddet ombord skall vara utformat. SSRS ambition är att hålla en hög säkerhetsnivå ombord vilket bland annat resulterat i att maskinrummet ombord fartygen i Victoriaklassen är försedda med ett fast släcksystem.

I dagsläget utgörs detta av ett fast släcksystem med pyrotekniskt genererade aerosoler (PGA), vilket är ett släckmedel som utvecklades som en ersättning till halon (Kangedal, Hertzberg och Arvidson, 2001). PGA har flera fördelar, bland annat upptar systemet liten plats och kräver varken trycksättning eller större underhåll. Dessutom har PGA goda släckegenskaper för bränslen som är typiska i ett maskinrum.

Fartygen byggs i sandwichkomposit vilket är ett förhållandevis nytt konstruktionsmaterial (Oscarsson, 2016). Sandwichkomposit är brännbart till skillnad från stål som fartyg traditionellt byggts av (Hertzberg, 2009). Befintliga regelverk utgår dessutom från att främst stål används som konstruktionsmaterial (Sjöfartsverket, 1970).

SSRS har under de senaste åren upplevt vissa komplikationer med släcksystemet (Dahlberg and Hagman, 2016). Bland annat har de värmedetektionskablar som installerats vittrat sönder då de inte klarat förhållandena i ett maskinrum. På vissa enheter har fel aktiveringsmekanism installerats vilket lett till att släcksystemen inte löst ut då de av misstag aktiverats i samband med service. Detta har föranlett en diskussion om brandskyddet i stort vilket även är utgångspunkten för detta examensarbete.

## 1.2 Syfte

Syftet med rapporten är att undersöka det befintliga brandskyddet ombord Sjöräddningssällskapets fartyg i Victoriaklassen och identifiera eventuella svagheter samt om möjligt ge förslag på förbättringar.

## 1.3 Mål

Det huvudsakliga målet med arbetet är att identifiera brister i det befintliga brandskyddet.

För att uppnå detta skall följande frågeställningar undersökas och om möjligt besvaras:

- Självaktiverar släcksystemet vid en temperatur på 300 °C?
- Hur påverkar olika ventilationsförhållanden en brand i maskinrummet?
- Hur påverkas skrovmaterial av brand?

## 1.4 Metod

Största delen av arbetet baseras på försök som genomfördes på MSBs övningsfält i Revinge.

Inför försöken genomfördes en litteraturstudie för att skapa en överblick över tidigare studier och försök med PGA och sandwichkomposit. Dessutom studerades regelverk kring fartygsbrandskydd.

Ett flertal platsbesök genomfördes för att inhämta ytterligare information kring fartygen och släcksystemet. Räddningsstationen på Karingön besöktes för att dokumentera brandskyddet och nödrutiner samt mäta maskinrummet. Sten A Olsson som är det senast byggda fartyget i Victoriaklassen användes som referensfartyg. Även besök på Swede Ship Composite, det varv där fartygen byggs, såväl som besök hos X-

Fire, leverantören av släcksystemet, genomfördes. Ett flertal besök har även gjorts till SSRS teknikavdelning på huvudkontoret i Göteborg.

Fyra olika försöksupställningar undersöktes för att besvara arbetets frågeställningar. Därefter tolkades och diskuterades resultaten från försöken vilket ledde fram till de slutsatser som presenteras i rapporten.

### 1.5 Avgränsningar

Under arbetet har endast fartyg i Victoriaklassen behandlats. En ytterligare avgränsning som gjordes var att endast undersöka brandskyddet i maskinrummet. Avgränsningen gjordes efter att ha inventerat ett fartyg i Victoriaklassen och konstaterat att uppkomst av brand i övriga utrymmen inte ansågs sannolikt. Även statistik från Det Norske Veritas (2000) låg till grund för avgränsningen. I statistiken framgår det att bränder ombord fartyg oftast uppstår i maskinrummet samt att det är bränsleläckage som är den vanligaste orsaken.

### 1.6 Begränsningar

Till försöken har endast två varianter av PGA-enheter funnits tillgängliga. En av modell FP500 och en av modell FP1200 vilka båda är tillverkade av FirePro. Detta medförde att endast ett försök kunde utföras med respektive släcksystem. Två stycken FP1200 är installerade i ett maskinrum ombord fartyg i Victoriaklassen. Eftersom endast en fanns att tillgå genomfördes försöken i ett utrymme motsvarande halva volymen för ett maskinrum. Detta gjordes för att erhålla motsvarande släckmedelskoncentration.

## 2 Sjöräddning och Victoriaklassen

Detta kapitel syftar till att förklara vilken lagstiftning som styr sjöräddning i Sverige samt vilka myndigheter som förväntas delta i en räddningsinsats till sjöss. Dessutom presenteras Sjöräddningssällskapet och den aktuella fartygstypen beskrivs närmare. Fartygstypen har producerats sedan 1997 och flera förändringar och uppdateringar har gjorts genom åren. Under platsbesök hos räddningsstationen på Karingön dokumenterades den senast byggda båten, Sten A Olsson, som är nummer 36 i serien.

### 2.1 Sjöräddning i Sverige

Sjöfartsverket är den myndighet som enligt lagen (2003:778) om skydd mot olyckor ansvarar för sjöräddning utmed Sveriges kuster samt i de större sjöarna. Som medlem i IMO (International Maritime Organization) är Sverige ålagda att följa de internationella konventioner som tagits fram och reglerar hur en sjöräddningsorganisation skall vara uppbyggd och fungera. Dessa innefattar bland annat infrastruktur, ledningsorganisation, metod och resurser. (Sjöfartsverket.se, 2016)

Utöver Sjöfartsverkets egna enheter som lotsbåtar och räddningshelikoptrar deltar vid insats i förstahand enheter från Sjöräddningssällskapet, Kustbevakningen, Polisen och Försvarmakten (Sjöfartsverket.se, 2016). Under 2015 deltog Sjöräddningssällskapet i omkring hälften av de insatser som sjöfartsverket klassat som sjöräddning. Sett till antal enheter från olika organisationer var denna andel ännu större, omkring 65 % (Sjöfartsverket, 2016).

### 2.2 Sjöräddningssällskapet

Sjöräddningssällskapet är en ideell förening vars huvudsakliga uppgift är att rädda liv till sjöss. Föreningen bildades 1907 och har som ändamål att:

- Öka intresset för sjöräddning
- Föreslå åtgärder i syfte att utveckla och effektivisera sjöräddning
- Tillhandahålla sjöräddning inom svenskt sjöräddningsområde

Sjöräddningssällskapet deltar också i annan humanitär hjälpverksamhet till sjöss, så länge det inte äventyrar de tre huvudändamålen. (Sjöräddningssällskapet, 2016)

Verksamheten finansieras av medlemsavgifter och donationer. Under 2016 fanns det sjöräddningsstationer på 69 platser i landet. Besättningarna utgörs av frivilliga som håller beredskap under ledighet eller enligt överenskommelse med arbetsgivare. Målsättningen är att räddningsenheterna skall kunna lämna kaj inom 15 minuter. Sjöräddningen har flera olika fartyg som lämpar sig för olika användningsområden. Totalt består flottan av drygt 200 olika enheter med allt från mindre öppna båtar och svävare till stora stålkrussare som kan bryta is. (Sjöräddningssällskapet, 2016)

### 2.3 Victoriaklassen

Victoriaklassen utvecklades under mitten av 90-talet. Konstruktionen är ett samarbete mellan Sjöräddningssällskapet och båtkonstruktören Rolf Eliasson. Ett av syftena var att skapa ett tryggt och stabilt fartyg med stora fartresurser. Det första fartyget döptes efter kronprinsessan Victoria och gav även namn till klassen. Victoriaklassen är konstruerad för att vara självratande och har tack vare dubbla vattenjetaggregat mycket god manöverförmåga. (Trossen Nr 4, 2014)

Fartygen består huvudsakligen av tre större utrymmen som utgörs av styrhytt, transportutrymme och maskinrum. I Figur 2.1 nedan är utrymmenas placering ombord Victoriaklassen markerade. Grönt markerar styrhyttens placering, blått visar transportutrymmet och rött markerar var maskinrummet är placerat. I styrhytten finns fyra säten för besättning och en trappa till transportutrymmet som främst används till förvaring och sjuktransport. Maskinrummet nås endast via en lucka på akterdäck och löper under hela styrhytten fram till skottet som separerar det från transportutrymmet.

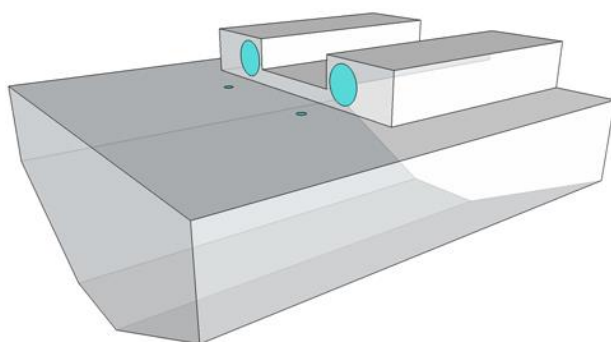


Figur 2.1. Ett fartyg i Victoriaklassen med de tre större utrymmena markerade. Grönt markerar styrhytten, blått markerar transportutrymmet och rött markerar maskinrummets placering. Bild tagen från SSRS grafiska guidelines.

### 2.3.1 Brandskydd

I var och ett av de tre större utrymmena sitter en detektor i taket. Detektorn i maskinrummet detekterar både brandgaser och värme (Bagge, 2016). I transportutrymmet finns ytterligare två detekterade utrymmen där stor del av elektroniken ombord är monterad. I styrhytten finns en sexkilos pulverbrandsläckare och en brandfilt. I främre delen av transportutrymmet finns ytterligare en pulverbrandsläckare i samma storlek. Denna utrustning är i första hand till för egensäkerhet. I ett skåp på akterdäck finns en större länspump som kan användas till brandbekämpning. Det finns även möjlighet att använda en av motorerna som länspump eller brandpump via ett internt system.

Maskinrummet är försett med ett släcksystem bestående av två PGA-generatorer. Vid detektion av brand stannar de fläktar som förser maskinrummet med tilluft automatiskt och det finns även möjlighet att stänga ventilationen till utrymmet. Från styrhytten kan maskinrummet övervakas via två kameror. I Figur 2.2 presenteras en skiss över maskinrummet med ventilationsöppningarna markerade samt en bild på babord maskin. Diametern på ventilationsöppningarna är 0,32 meter för de stora och 0,08 meter för de mindre. I ventilationskanalerna till de större öppningarna finns fläktar, brandgasspjäll samt avfuktninganordningar vilket begränsar den totala öppningsarean.



Figur 2.2. Skiss över maskinrummet med ventilationsöppningar och en bild på babord maskin.



### 2.3.2 Nödrutiner

Enligt Sjöräddningssällskapets handbok skall det finnas nödrutiner ombord varje enhet. Under platsbesöket dokumenterades det tänkta förfarandet vid brand i maskinrummet.

Vid konstaterad brand skall maskinerna nödstoppas. Därefter stängs all ventilation till maskinrummet och släcksystemet aktiveras från ett utrymme på akterdäck, se Figur 2.3. Maskinrummet skall därefter förbli stängt och bränsletillförseln stängs manuellt med ventiler på bränsletankarna som nås från transportutrymmet. Förfarandet förutsätter att ingen befinner sig i maskinrummet.



Figur 2.3. Förvaringsutrymmet på akterdäck och anordningar för att stänga ventilationen och aktivera släcksystemet.

På bilden längst till vänster syns utrymmet varifrån brandgasspjäll och aktivering av släcksystemet sköts. Mittenbilden visar de handtag som stänger brandgasspjällen. I det mindre skåpet sitter ytterligare två handtag som aktiverar PGA-generatorerna. De två skenor som syns på mittenbilden skall placeras över spjällen på den högra bilden för att stänga den naturliga ventilationen. Skåpet med aktivering av släcksystemet är larmat vilket leder till att sirener börjar ljuda i styrhytten och maskinrummet om det öppnas. I maskinrummet börjar även ett varsel ljus blinka.

### 2.3.3 Material

Båtarna i Victoriaklassen byggs i sandwichkomposit bestående av en Divinycell-kärna som förstärks med glasfiberlaminat på båda sidor, se Figur 2.4. Skrov och överbygge gjuts var för sig i formar för att minimera det totala antalet skarvar och på så sätt öka stryktåligheten och stabiliteten i konstruktionen. Kärnan och laminatet sammanfogas genom att vinylester injiceras i formarna under vakuum, vilket leder till ett jämnt fördelat lager bindemedel över hela ytan som gjuts. (Oscarsson, 2016)



Figur 2.4. Sandwichkomposit bestående av en Divinycell-kärna med glasfiberlaminat på vardera sidan.

Sandwichkomposit kan utformas på olika sätt beroende på användningsområde. Vanligtvis består kärnan av skumplast eller balsaträ och laminatet av glas- eller kolfiber, dessa sammanfogas med någon form av plast (Evegren, 2010). Till skillnad från stål som fartyg vanligtvis byggs av är sandwichkomposit brännbart. Försök med kolfiberlaminat visade på antändning vid 530 °C oberoende av laminatets tjocklek (Carlsén och Winkler, 2000). När sandwichkomposit brinner genereras en effektutveckling mellan 100 och 250 kW/m<sup>2</sup> beroende på tjocklek och sammansättning (Carlsén och Winkler, 2000; Hertzberg, 2009). Trots detta finns det stora fördelar att konstruera fartyg i sandwichkomposit istället för i stål. Vikten minskar markant vilket leder till lägre bränsleförbrukning och behovet av underhåll minskar (Hertzberg, 2009). Även vid brand finns fördelar då värmeledningen i sandwichkompositen är avsevärt mycket lägre än i stål (Carlsén och Winkler, 2000).

Den kritiska punkten i sandwichkomposit har vid försök visat sig vara sammanfogningen mellan laminatet och kärnan på den brandutsatta sidan. Redan vid temperaturer omkring 100 °C kan vidhäftningen börja släppa. Vid temperaturer på 130-140 °C börjar kärnan deformeras vilket leder till försämrade strukturella förmåga. På grund av den låga värmeledningsförmågan skulle denna yta begränsas till den del av sandwichkompositen som utsätts för värme. (Hertzberg, 2009)

## 3 Regelverk

Följande kapitel syftar till att skapa en överblick över de lagar och förordningar som reglerar brandskyddet på fartyg i nationell och internationell trafik.

### 3.1 Internationella överenskommelser

The International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) är den internationella konvention som ligger till grund för reglering av säkerhet till sjöss. Den kom till som en följd av Titanics förlisning 1912 och första utgåvan antogs år 1914. Numera hanteras SOLAS av IMO som är ett FN-organ med 171 medlemsstater vars syfte är att utveckla sjöfarten. SOLAS är mycket omfattande och reglerar bland annat brandskydd ombord på fartyg med bruttodräktighet över 500 samt passagerarfartyg i internationell fart. (IMO, 2016)

Även fartyg i nationell fart regleras av lagar och regelverk som grundar sig på SOLAS. I Sverige sker det genom Sjölagen (1994:1009), Fartygssäkerhetslagen (2003:364), föreskrifter samt allmänna råd från Sjöfartsverket och Transportstyrelsen.

### 3.2 Dräktighet och fartområde

Den säkerhetsnivå som ska uppnås på ett fartyg i nationell fart styrs i första hand av hur stort fartyget är, vilka områden det trafikerar samt antal passagerare. Fartygets storlek ges i termen bruttodräktighet som är ett enhetslöst mått på den totala inneslutande volymen. Vilka vatten som fartyget är avsett att trafikera regleras nationellt i fartområden. Fartområdena anger hur långt från land fartyget får befinna sig samt hur grov sjö det kan förväntas behöva utstå, dessa definieras i Fartygssäkerhetslagen. I Fartygssäkerhetslagen framgår också att ett fartyg med fler än tolv passagerare skall vara klassat som ett passagerarfartyg. (Transportstyrelsen, 2016)

Då fartyg i Victoriaklassen har en bruttodräktighet under 20 och inte tar fler än tolv passagerare omfattas de inte av några krav på certifikat från Transportstyrelsen. För klassade fartyg utfärdas ett fartcertifikat som intygar att fartyget anses sjövärdigt innan det tas i drift, vilket bland annat innefattar brandskydd ombord. Fartyg i Victoriaklassen räknas till kategorin fritidsfartyg, vilket innebär att de inte får användas i kommersiellt syfte. (Transportstyrelsen, 2016)

Alla fartyg, oavsett storlek, omfattas av Sjölagen och Fartygssäkerhetslagen. Det finns inga detaljerade krav på brandskydd i någon av dessa. Fartyget skall dock alltid vara sjövärdigt och det är upp till befälhavaren att så är fallet innan det lämnar kaj. (Transportstyrelsen, 2016)

Utifrån de lagar som studerats och nämns ovan dras slutsatsen att det inte är helt klart vad som gäller angående brandskydd ombord fartyg motsvarande Victoriaklassen. Eftersom de lagar som omfattar samtliga fartyg och fartområden inte innefattar några detaljerade krav angående brandskyddet blir det upp till befälhavaren att avgöra om fartyget är sjövärdigt eller inte.

### 3.3 Egenambition

SSRS egenambition är att uppfylla de krav kring brandskydd som ställs på klassade fartyg med en bruttodräktighet över 20 (Dahlberg, 2016). Detta regleras i SJÖFS 1970:A13 som sedan 2009 hanteras av Transportstyrelsen (Transportstyrelsen, 2016). Första utgåvan från 1970 bygger på den internationella konventionen från 1960. Nedan följer en sammanställning i punktform av kapitel 3 som reglerar brandskydd på fartyg med bruttodräktighet 20-300 och som inte tar fler än tolv passagerare (Sjöfartsverket, 1970).

- Annat material än stål kan användas i konstruktionen förutsatt att det anses ”betryggande från brandsäkerhetssynpunkt”.
- Fartyget skall vara försett med brandpump och slangar.
- Maskinrum som inte är bemannade skall vara försedda med fast släcksystem.
- Ventilation till maskinrum skall gå att stänga från plats utanför detta och fläktar skall kunna stoppas från styrplats.

- Handbrandsläckare skall finnas i tillräcklig utsträckning.
- Brandskyddsutrustning för rökdykning samt ficklampa och yxa skall finnas ombord.

Det framgår tydligt att detta regelverk avser betydligt större fartyg och är framtaget utifrån att stål används som konstruktionsmaterial. Bristen på ett anpassat regelverk för mindre fartyg uppmärksammas även i en rapport av Lindahl (2006). Enligt Transportstyrelsen (2016) pågår ett utvecklingsarbete med syfte att ta fram ett modernt funktionsbaserat regelverk för nationell sjöfart. Detta regelverk kommer även gälla mindre fartyg som idag inte omfattas av krav på certifikat. Troligen kommer detta underlätta dimensionering av brandskydd på fartyg motsvarande Victoriaklassen.

För att få en uppfattning om vad som skulle kunna vara en rimlig nivå på brandskydd i ett mindre fartyg studerades även Nordisk båtstandard för yrkessjöfart, CE-handboken om fritidsbåtdirektivets tillämpningar och Small Commercial Vessel and Pilot Boat (SVC) Code som är framtagen av brittiska Maritime and Coastguard Agency (MCA). I samtliga dessa ställs krav på fast släcksystem i maskinrummet för ett fartyg med längd eller maskinstyrka motsvarande Victoriaklassen. MCA har även tagit fram riktlinjer och en testmetod för alternativa skrovmaterial som sandwichkomposit. (Furustam et al., n.d.); Maritime and Coastguard Agency, 2004; Transportstyrelsen, 1990)

## 4 Pyrotekniskt Genererade Aerosoler

Nedan följer en beskrivning av PGAs egenskaper, tidigare forskning i ämnet, dimensionering av släcksystem samt riktlinjer från IMO. I Figur 4.1 nedan visas de två modeller som undersöktes i arbetet samt en sprängskiss av den mindre enheten.



Figur 4.1. FP1200 till vänster, FP500 i mitten och en sprängskiss till höger.

Den större enheten till vänster är av modell FP1200 och den mindre i mitten är av modell FP500. I rapporten kommer FP1200 även benämnas PGA-generator och FP500 även benämnas PGA-granat. De tekniska specifikationerna för FP500 och FP1200 presenteras i Bilaga B – Teknisk data för FP500 och FP1200.

### 4.1 Allmän beskrivning

Aerosoler är små partiklar, i fast eller vätskeform, som är fördelade i en gas. Aerosolerna är i storleksordningen nanometer till mikrometer och fördelas genom antingen kondensation eller dispersion. Partiklarnas storlek har stor inverkan på hur släckmedlet sprids och dess släckförmåga. Eftersom det aktuella släcksystemet använder kondensationsmetoden kommer dispersionsmetoden inte beskrivas närmare. (Ekström et al., 2008)

Kondensationsmetoden innebär att en fast substans förångas genom upphettning, därefter kyls ångan ner vilket leder till att den kondenserar och aerosoler bildas. Detta kallas även pyrotekniskt genererade aerosoler. (Kangedal, Hertzberg och Arvidson, 2001)

Släcksystem som bygger på kondensationsmetoden är även fördelaktiga när det gäller platsanspråk eftersom systemet varken behöver rör, munstycken eller tryckbehållare. De är därför lämpliga att använda i utrymmen med begränsad plats, exempelvis maskinrum ombord fartyg. (Ekström et al., 2008)

Eftersom generering av aerosoler sker genom en exoterm reaktion och därmed avger mycket värme används i de flesta släcksystem ett kylsystem som aerosolerna passerar innan de lämnar generatoren, se Figur 4.1. Dessa aerosoler benämns då som kylda medan de aerosoler som inte passerar ett kylsystem benämns som varma.

Kylning av aerosolerna i de aktuella PGA-enheterna sker genom att de passerar en sektion av små kulor i ett material med hög värmekonduktivitet och smältpunkt. Mindre kulor gör att den totala ytan som kan uppta värme från aerosolerna blir stor i förhållande till volymen. Är kulorna för små och därmed för kompakt packade kan det dock leda till tryckfall och minska kastlängden på släckmedlet. (Kangedal, Hertzberg och Arvidson, 2001)

Sammanställningen av släckmedlet varierar mellan olika tillverkare. I produkter från den aktuella tillverkaren består släckmedlet av de komponenter som presenteras i Tabell 4.1 nedan.

Tabell 4.1. De komponenter som den aktuella släckmedelssubstanten består av.

<b>Komponent</b>	<b>Viktprocent [%]</b>
Kaliumnitrat	77
Kaliumkarbonat	4
Magnesium	<1
Epoxiharts polymer (FirePro, 2015)	18

Aerosolernas släckverkan fungerar främst genom heterogen katalys, vilket innebär att de kaliumradikaler som bildas neutraliserar syre-, väte- och hydroxidradikalerna som då avbryter förbränningsreaktionerna i flaman. Dessutom har aerosolerna en inerterande och kylande effekt. (Kangedal, Hertzberg och Arvidson, 2001)

Med mindre aerosolpartiklar ökar effektiviteten av släckegenskaperna. Mindre partiklar ger större yta per massenhet vilket leder till en snabbare värmeabsorption. Även den kemiska släckverkan ökar med minskad partikelstorlek eftersom nedbrytningen av partikeln då sker snabbare. (Ekström et al., 2008)

Fler fördelar med mycket små partiklar är att de håller sig svävande under en längre tid vilket ger ett bra återantändningsskydd. En kaliumsaltpartikel med diametern tio mikrometer har en ungefärlig fallhastighet på 5 mm/s. (Kangedal, Hertzberg och Arvidson, 2001)

Då de små aerosolpartiklarna håller sig svävande under en längre tid kan de även följa med luftströmmarna vilket ökar möjligheten att nå bränder placerade bakom och under skrymmande objekt. Det kan även vara en nackdel om luftströmmar som inte är gynnsamma för släckningen leder bort aerosolpartiklarna från branden, vilket kan vara fallet i ett utrymme med från- och tilluftsventilation. (Ekström et al., 2008)

För att initiera den exoterma reaktion som krävs för att den fasta släcksubstanten ska förångas används olika varianter av aktivering. Aktiveringsmetoderna består oftast av en tändsats eller ett elektriskt motstånd som genererar tillräckligt med värme för att starta förbränningen av släckmedelssubstanten. (Kangedal, Hertzberg och Arvidson, 2001)

I marina applikationer är det vanligast med elektronisk aktivering (Qvarfell, 2016). Samtliga produkter från FirePro innehåller den släckmedelssubstant som presenteras i Tabell 4.1 ovan. Förbränning av substanten skall enligt FirePro (2015) starta automatiskt om den utsätts för en temperatur på omkring 300 °C.

## 4.2 Tidigare forskning

Under andra halvan av 90-talet genomfördes ett flertal studier i olika projekt med syfte att ta fram ett ersättningsläckmedel till halon. Vid LTH har ett antal examensarbeten genomförts, främst med fokus på hur PGA påverkar elektronik och hälsa. Nedan presenteras resultat från tidigare studier. Det bör påpekas att några av studierna genomförts med produkter från andra tillverkare än FirePro.

### 4.2.1 Aktiveringsmetod

Vid tester som genomfördes av den amerikanska kustbevakningen användes elektronisk aktivering. Trots att leverantörerna var med och installerade systemen, bestående av åtta generatorer, felfungerade minst en generator i varje försök. I försöken användes generatorer från tre olika tillverkare varav FirePro var en. (Back et al., 2008)

Släckmedelssubstanten skall aktivera automatiskt vid en temperatur på 300 °C (FirePro, 2015). I ett utrymme som skyddas av flera PGA-generatorer skulle detta kunna leda till att de inte aktiverar samtidigt, vilket leder till att erforderlig släckmedelskoncentration inte uppnås (Kangedal, Hertzberg och Arvidson, 2001).

#### 4.2.2 Spridning av släckmedel

Fullskaleförsök visar att kraftiga bränder skapar turbulens vilket hjälper till att sprida aerosolen och på så sätt bidra till effektivare släckning (Back et al., 2008).

2013 genomfördes ett examensarbete vid LTH där syftet var att undersöka om PGA-granater kan användas för att släcka kabelbränder i elskåp. I försöken placerades ett elskåp i en 20 fots container och två granater placerades utanför elskåpet för att undersöka om släckmedlet sprids i tillräcklig utsträckning för att släcka branden. Resultatet visade att spridningen var mycket god och redan ett fåtal sekunder efter aktivering hade sikten försämrats avsevärt i elskåpet. Totalt genomfördes fyra försök där branden släcktes i samtliga fall. Värt att notera är att i två av fyra försök aktiverade endast en av granaterna. Trots att detta gav en halvering av släckmedelskoncentrationen noterades ingen skillnad i tid till släckning. Vid försöken användes en PGA-granat som genererar varma aerosoler. (de Pedis och Jonsson, 2013)

Sheehan (2013) genomförde tillsammans med den kanadensiska marinen försök där handhållna PGA-granater undersöktes. Försöken genomfördes i en 20 m<sup>3</sup> stor container med ett 0,82 m<sup>2</sup> stort bränslebål. I tre av fyra försök släcktes branden då granaterna kastades in i utrymmet trots att dörren till utrymmet förblev öppen med en glipa på 30 cm. När dessa försök upprepades med ett hinder liknade en motor över bålet släcktes inte branden i något av försöken.

#### 4.2.3 Släckegenskaper

Den amerikanska kustbevakningen genomförde under 2005 ett flertal fullskaleförsök med PGA-generatorer från olika tillverkare i ett 500 m<sup>3</sup> stort maskinrum enligt teststandard från IMO. Försöken visade mycket goda släckegenskaper vid brand i vätskor (klass B-brand). Samtliga system hade svårigheter att släcka bränder i fasta material (klass A-brand) som utgjordes av trästaplar. Endast i ett av 14 försök lyckades systemet släcka branden helt. (Back et al., 2008)

Även andra försök visar på svårigheter att släcka klass A-bränder med PGA. Öppna lågor slås snabbt ner men provkropparna fortsätter glöda och öppna lågor uppstår igen vid kontakt med syre. (Jacobson, 1996)

#### 4.2.4 Tryck

Tidigare försök vid LTH visade på mycket liten tryckökning vid aktivering av PGA i slutna utrymmen (Ekström et al., 2008). Även de fullskaleförsök som den amerikanska kustbevakningen genomförde visade på en marginell tryckökning (Back et al., 2008).

Vid försök med handhållna PGA-granater som genererar varma aerosoler uppmättes övertryck på 4,5 kPa (de Pedis och Jonsson, 2013). Varma aerosoler kan nå en temperatur på 400 °C en meter från utloppet medan en kyld aerosol på samma avstånd inte överstiger 75 °C (FirePro, 2015).

#### 4.2.5 Skador på elektronik och korrosion

I försök som genomfördes tillsammans med den kanadensiska marinen undersöktes påverkan på material som ansågs relevanta för ett utrymme ombord marinens fartyg. Bland annat undersöktes kretskort, CD-skivor och provbitar av koppar och stål. Provkropparna utsattes för aerosoler från två olika modeller av handhållna släckgranater. Generellt var påverkan större då aerosolen varit i kontakt med brand. Ett år efter försöken visade samtliga datorkomponenter tecken på korrosion eller missfärgning. (Topic, 2015)

Innehållet i en stationär dator utsattes i försök på LTH för 80 g/m<sup>3</sup> släckmedel i en sluten volym. Åtta månader senare fungerade datorn felfritt. I rapporten ges förslag på vidare studier kring hur fukthalten i försöksvolymen skulle påverka korrosionstesterna. (Ekström et al., 2008)

#### 4.2.6 Hälsoaspekter

Analys av de gaser som bildas vid aktivering av PGA, utan inverkan från brand, visade ammoniakhalter som var dubbelt så höga som IDLH-värden (Immediately Dangerous to Life or Health) från amerikanska arbetsmiljöverket (Ekström et al., 2008). Även kritiska nivåer av koncentrationen kolmonoxid har uppmätts vid försök med PGA (Ekström et al., 2008; Topic, 2015).

Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP) sammanställde i en rapport flera toxikologiska studier som utförts av den amerikanska marinen och bland annat innehåller djurförsök på råttor. Resultaten visade att effekterna av PGA var marginell. De effekter som kunde påvisas var minskad syretransport i blodet och lungödem. (Kangedal, Hertzberg och Arvidson, 2001)

Försök med PGA-släcksystem visar att sikten i ett slutet utrymme blir i stort sett obefintlig inom loppet av sekunder, vilket gör att utrymning försvåras avsevärt (de Pedis och Jonsson, 2013; Ekström et al., 2008).

### 4.3 Dimensionering av släcksystem

Vid dimensionering av PGA-släcksystem behöver hänsyn tas till flertalet faktorer. Det aktuella utrymmets geometri, typ av bränder, eventuella öppningar och förlust av släckmedel. Geometrin kan påverka spridningen av aerosoler och släckmedlet kan även följa med luftströmmar ut ur utrymmet genom öppningar, vilket ger en lägre släckmedelskoncentration. (Kangedal, Hertzberg och Arvidson, 2001)

Förlust av släckmedel sker även i PGA-generatorn. Försök visar att ungefär 20 % av släckmedlet inte bildar aerosoler och att ytterligare 15-20 % fastnar i generatorn. (Vitali, Kibert och Akers, 1996)

För att ta hänsyn till de faktorer som påverkar vilken mängd släckmedel som krävs för att ge erforderlig släckmedelskoncentration används säkerhetsfaktorer vid beräkning av dimensionerande koncentration (Kangedal, Hertzberg och Arvidson, 2001).

I Tabell 4.2 nedan presenteras både den erforderliga släckmedelskoncentrationen för respektive brandklass samt dimensionerande släckmedelskoncentration för produkter från FirePro.

Tabell 4.2. Erforderlig släckmedelskoncentration och dimensionerande släckmedelskoncentration för olika brandklasser.

<b>Brandklass</b>	<b>Erforderlig släckmedelskoncentration [g/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Dimensionerande släckmedelskoncentration [g/m<sup>3</sup>]</b>
A	76,4	99,32
B	55,4	72,02
C	49,8	64,74

(FirePro, 2015)

### 4.4 Riktlinjer från IMO

IMO (2008) har sedan 2001 haft riktlinjer för godkännande av fasta aerosolsystem i maskinutrymmen. 2008 antogs den senast utgåvan, MSC.1/Circ.1270. I riktlinjerna anges att koncentrationen släckmedel skall bestämmas genom fullskaleförsök. Den totala tömningstiden för systemet får inte överstiga 120 sekunder. Systemet får inte självaktivera vid en temperatur lägre än 250 °C. Dessutom skall systemet klara av att släcka en mängd olika bränder.

Försöken genomförs i ett utrymme som motsvarar maskinrummet på ett större fartyg, där golvytan är 100 m<sup>2</sup> och takhöjden fem meter vilket ger en volym på 500 m<sup>3</sup>. Olika bränslen och placeringar av bränder undersöks samt kombinationer av dessa. Bränder med effektutveckling på några få kilowatt upptill 6 MW testas i form av pölbrand, spraybrand och brand i fibröst material. För att godkännas skall brand i flytande bränsle vara släckt 30 sekunder efter att släcksystemet tömts. Det ställs även krav på att pöl- och spraybränder inte återantänds. För brand i fibrösa material skall viktminskningen i procent inte överstiga ett visst värde beroende på hur lång förbrinntid de utsatts för. (IMO, 2008)

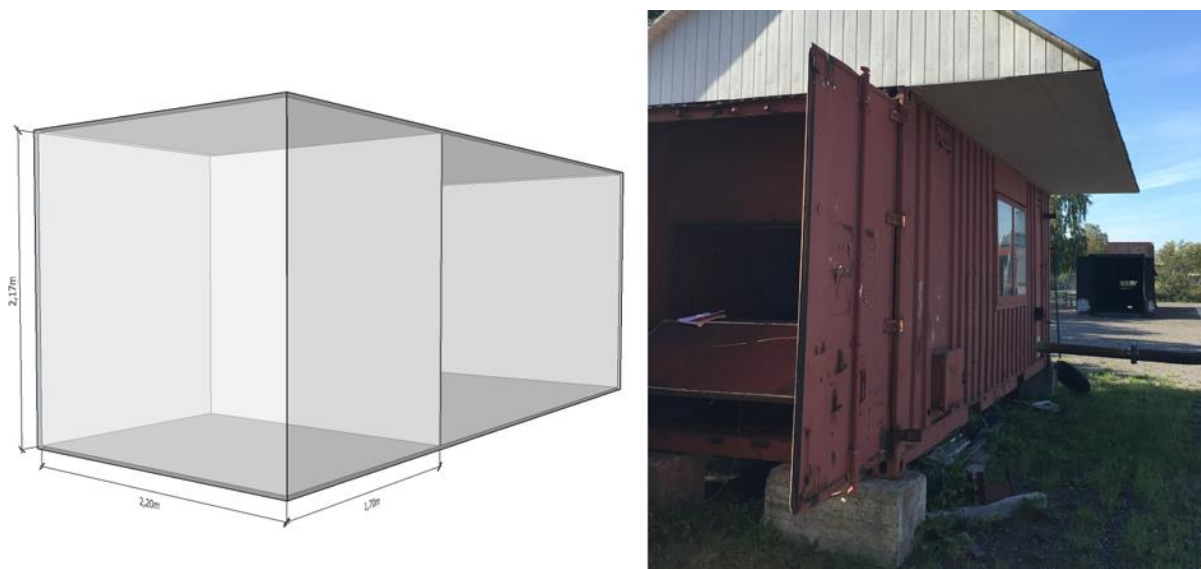


## 5 Försök

Nedan följer en beskrivning av den försökupställning som användes samt de anpassningar som gjordes. Samtliga försök genomfördes i en container på MSBs övningsområde i Revinge. Totalt genomfördes nio försök i syfte att undersöka aktiveringstemperatur, släckverkan, ventilationens inverkan på brandförloppet samt brandens påverkan på skrovmaterialiet. Under de tre försöksdagarna var det mycket lite vind och temperaturen varierade mellan några få minusgrader till några få plusgrader.

### 5.1 Geometri

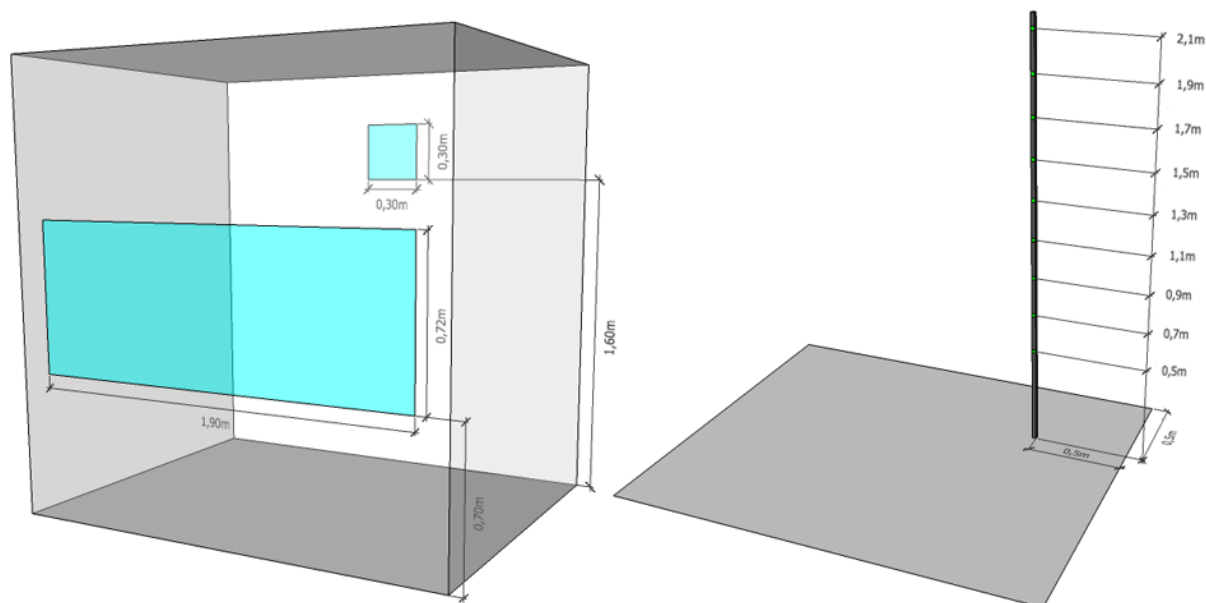
Under platsbesök på Kåringön uppmättes och dokumenterades maskinrummet ombord Sten A Olsson. Mätningarna gav en total volym av maskinrummet på  $16 \text{ m}^3$ , ingen hänsyn togs till den volym som maskinerna upptog. För att återskapa halva volymen byggdes en vägg i containern, se Figur 5.1. Syftet med att genomföra försöken i halvskala var att återskapa släckmedelskoncentrationen per volymenhet med endast en PGA-generator. Detta påverkade främst försöken kring släckverkan. Försöksvolymen ansågs lämplig att använda även till övriga försök, främst då det underlättade jämförelser mellan resultaten. Bredden i containern var 2,20 meter och höjden 2,17 meter, därför placerades väggen 1,70 meter in i containern vilket gav en försöksvolym på ungefär  $8 \text{ m}^3$ . Väggen byggdes av träreglar och gipsskivor. I övrigt bestod väggar och tak av stål och golvet utgjordes av betongplattor.



Figur 5.1. Skiss över utrymmet som byggdes i containern för att återskapa halva maskinrumsvolymen.

## 5.2 Ventilation

För att kunna undersöka ventilationens inverkan gjordes öppningar enligt Figur 5.2. Båda öppningarna var försedda med luckor och gick att stänga.



Figur 5.2. Stora och lilla ventilationsöppningen samt skiss över termoträdet.

Den stora öppningen utgjordes av en befintlig lucka som var 1,90 meter bred och 0,72 meter hög, centrerad på ena kortsidan 0,70 meter från golvnivån. Luckan användes för att motsvara tilluftfläktarnas inverkan på brandförloppet i de försök detta ansågs relevant. I de försök där ventilationen inte hade någon inverkan hölls luckan öppen.

Den lilla öppningen utgjordes av en kvadrat med sidorna 0,30 meter mitt på gipsväggen och 1,6 meter över golvet. Öppningen motsvarade halva tilluftsarean i maskinrummet. Det togs ingen hänsyn till eventuella hinder i ventilationskanalen. Öppningen placerades högt i volymen för att motsvara placeringen i maskinrummet. Stängning av luckan syftar till att motsvara stängning av brandgasspjällen.

## 5.3 Mätutrustning

Termoelement användes för att registrera temperaturer i försöksvolymen. Den grunduppställning som användes i samtliga försök presenteras i Figur 5.2. Ett termoträd placerades 0,5 meter in från väggarna enligt Figur 5.2 ovan. I trädet placerades termoelement med 0,2 meters mellanrum från 0,5 upp till 2,1 meters höjd över golvet. Ett termoelement placerades även över bålet för att registrera temperaturen på flammorna.

Termoelementen som användes var av typ K med en diameter på 0,5 millimeter. Dessa anslöts till en logger av modell dataTaker DT85 som registrerade temperaturen varje sekund.

Försöken dokumenterades även med foto och video för att komplettera och underlätta tolkning av insamlad data.

## 5.4 Dimensionering av brand

För att underlätta jämförelser mellan försöken var det önskvärt att en bålstorlek kunde användas i samtliga försök. Det dimensionerande försöket ansågs vara aktiveringsförsöket där en temperatur på minst 300 °C krävdes.

För att få en uppfattning om vilka temperaturer som uppnåddes med olika bålstorlekar genomfördes simuleringar i Argos. Argos är en tvåzonsmodell som bland annat beräknar medeltemperaturen i brandgaslagret. Försöksvolymen, vägg- och takmaterial samt den stora öppningen återskapades i

programmet och simuleringar utfördes. Resultaten från simuleringarna visade att ett bål med arean  $0,3 \text{ m}^2$  (diameter  $0,6$  meter) gav en medeltemperatur i brandgaslagret på över  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ .

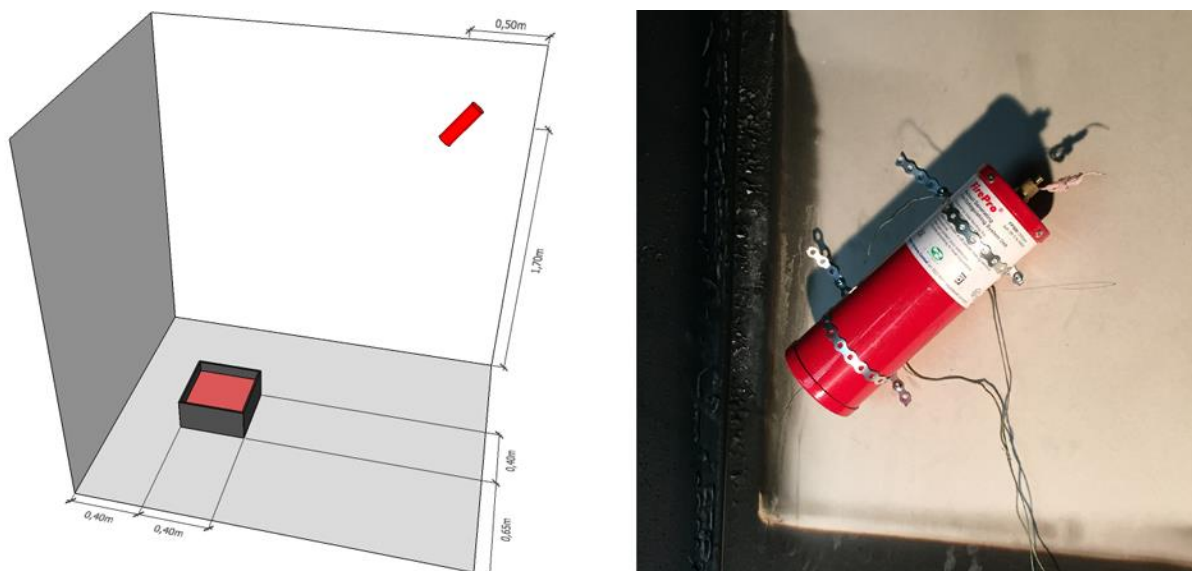
Vid maxfart förbrukar Sten A Olsson ungefär  $90$  liter diesel per maskin och timme (Bagge, 2016). Ett läckage skulle därför snabbt kunna leda till att en bränslepöl ansamlas. En pöl med diameter  $0,6$  meter anses även rimlig med avseende på utformningen av durken i maskinrummet. I försöken användes heptan som bränsle då dess egenskaper är väldefinierade och liknar de för diesel, eftersom både består av kolväten (Drysdale, 1998). Även i IMOs riktlinjer för testning av aerosolsläcksystem utgör heptan det vanligaste bränslet (IMO, 2008). Brand i trästaplar ingår också i riktlinjerna men ansågs inte relevant att undersöka då inga fibrösa material förekom i maskinrummet. Kabelbrand och spraybrand är möjliga scenarion som skulle kunna förekomma men undersöktes inte då en spraybrand ansågs svår att återskapa. En kabelbrand skulle kräva lång tillväxtfas, dessutom har PGA visat mycket god släckförmåga mot brand i kablar och undersöktes därför inte (de Pedis och Jonsson, 2013).

## 5.5 Anpassningar av försöksuppställning

Nedan presenteras de Anpassningar som gjordes för att undersöka specifika parametrar i de olika försöken.

### 5.5.1 Aktiveringstemperatur

Utöver grunduppställningen placerades även ett termoelement vid PGA-granaten, se Figur 5.3. För tekniska specifikationer för FP500 se Bilaga B – Teknisk data för FP500 och FP1200. För att undersöka när aktivering sker samt granatens tömningstid, placerades ytterligare ett termoelement framför utloppet på granaten.



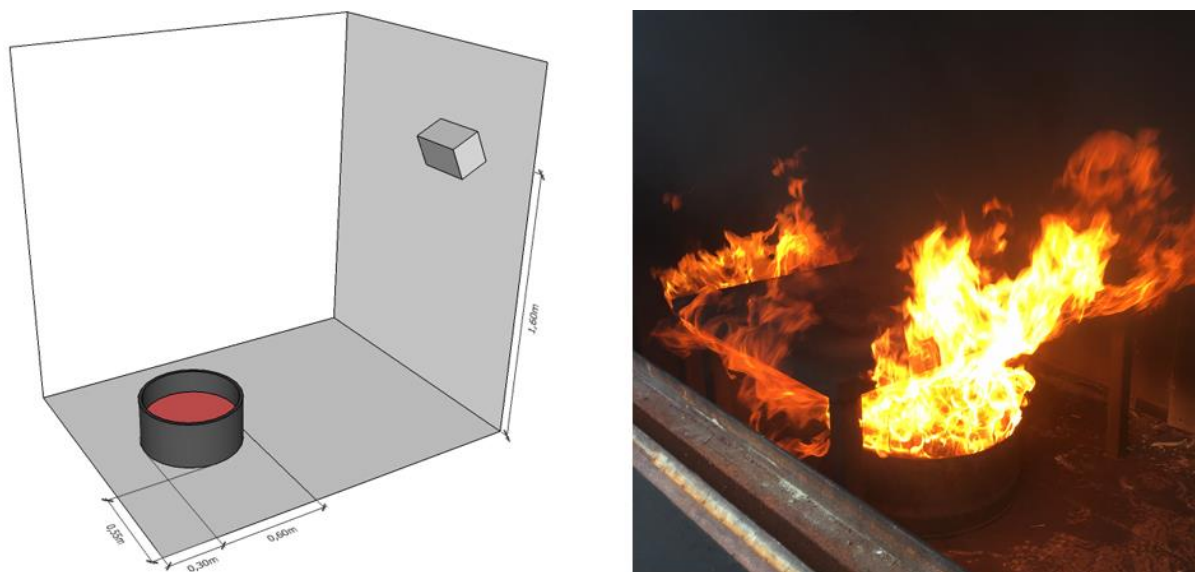
Figur 5.3. Placering av PGA-granaten och bränslebålet samt en bild på granaten med termoelement.

Bålet med arean  $0,3 \text{ m}^2$  visade sig ge en för kraftig brand, därför användes istället ett mindre kvadratisk bål med arean  $0,16 \text{ m}^2$ . Bålet placerades  $0,65$  meter från försöksrummets långsida och  $0,4$  meter från dess kortsida. I försöket då aktiveringstemperaturen undersöktes placerades PGA-granaten på höjden  $1,7$  meter från golvet utifrån resultat i 6.1 Aktiveringstemperatur. Syftet med placeringen var att granaten skulle utsättas för jämn temperatur och brandgaser med så låg hastighet som möjligt. Granaten monterades parallellt med väggen och med mynningen riktad snett nedåt enligt Figur 5.3.

### 5.5.2 Släckverkan

PGA-generatorn placerades på motsatt sida bränslebålet och vinklades snett nedåt för att efterlikna placeringen i maskinrummet, se Figur 5.4 nedan. För tekniska specifikationer för FP500 se Bilaga B – Teknisk data för FP500 och FP1200. Termoelement placerades framför utloppet på generatorn för att registrera när aktivering sker samt tömningstiden. För att möjliggöra manuell aktivering anslöts ett 12-

voltsbatteri med strömbrytare till generatorm. Termoelement placerades även runt generatorm för att registrera temperaturen om den skulle aktivera innan manuell aktivering sker.



Figur 5.4. Placering av bränslebål och PGA-generatorm samt en bild på det hinder som placerades över bålet för att försvåra spridning av släckmedel.

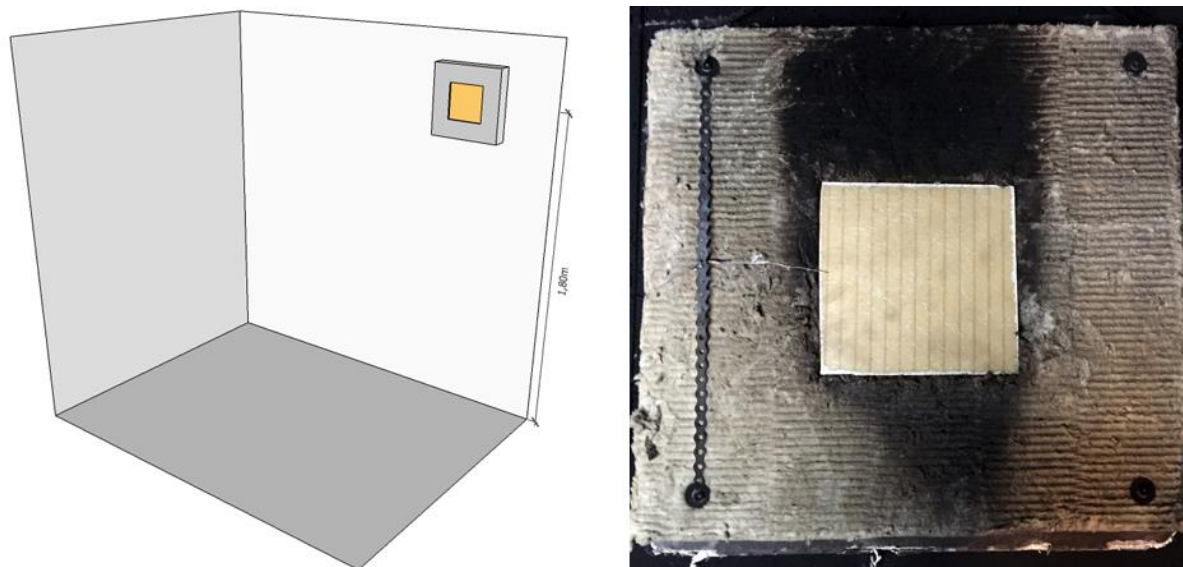
Det 0,3 m<sup>2</sup> stora bränslebålet placerades 0,55 meter från försöksrummets långsida och 0,30 meter från kortsidan. Dessutom placerades ett hinder över bålet för att efterlikna förhållandena i maskinrummet och försvåra spridning av släckmedel. Hindret utgjordes av ett bord i metall. Ingen hänsyn togs till den volym en motor skulle uppta. Avståndet mellan bränsleytan och bordets undersida var 0,4 meter.

### 5.5.3 Ventilation

I försöken som genomfördes för att undersöka olika öppningskonfigurationers inverkan på brandförloppet användes endast grunduppställningen som presenterats tidigare. Den mindre öppningen fördubblades på bredden till 0,6 istället för 0,3 meter i ett avslutande försök.

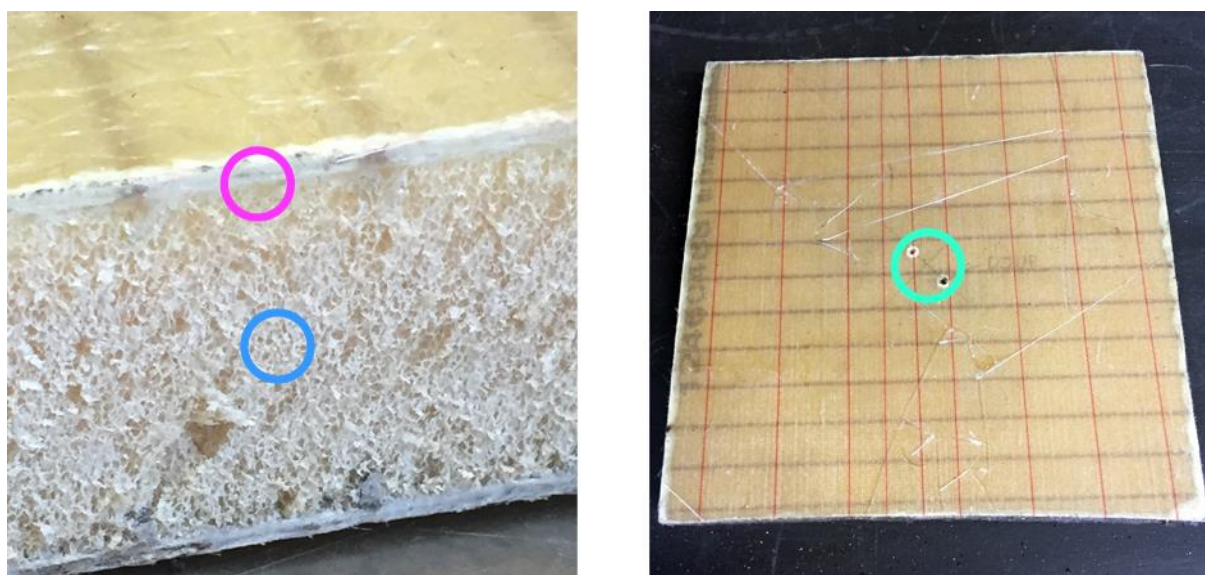
#### 5.5.4 Skrovmaterial

Utöver grunduppställningen användes en ram av isolering i vilken provbitar av skrovmaterial monterades. Provbitarna var kvadratiska med sidan 0,2 meter och placerades så att isoleringen minimerade påverkan förutom på den exponerade ytan, se Figur 5.5. Provbitarnas tjocklek var 28 millimeter varav laminatet utgjorde 1,7 millimeter på vardera sidan om kärnan.



Figur 5.5. Placering av isoleringsramen och provbiten samt en bild på densamma. Olika bål användes och presenteras därför inte på skissen.

Ramen hängdes på gipsväggen så materialprovets centrum hamnade på 1,8 meters höjd från golvet och 0,5 meter från kortsidan. Framför materialprovet monterades ett termoelement för att mäta temperaturen som materialprovet utsattes för, se Figur 5.5 ovan. Två hål borrades från baksidan av materialproven för att mäta temperaturen på olika djup i materialet, se Figur 5.6 nedan.



Figur 5.6. Bilden till vänster visar placeringen av termoelementen i provmaterial. Bilden till höger visar hål i mitten av materialprovet.

Cirklarna i den vänstra bilden visar placeringen av termoelementen. Ett termoelement placerades i skiktet mellan kärnan av Divinycell och det lager laminat som exponerades för brand. Det andra termoelementet placerades i mitten av Divinycell-kärnan. Båda hålen gjordes nära mitten av materialproven för att minimera påverkan av randeffekt.

## 5.6 Genomförande

Försök 1 till 3 genomfördes i syfte att undersöka PGA-granatens aktiveringstemperatur. Det första försöket syftade till att verifiera simulering i Argos och ge en uppfattning om på vilken höjd granaten skulle placeras på. Det andra försöket genomfördes i samma syfte fast med ett mindre bränslebål. I båda dessa försök testades även skrovmaterialiet. Försök 3 genomfördes med PGA-granaten.

Försök 4 till 6 genomfördes i syfte att undersöka PGA-generatorns släckverkan. I samtliga dessa försök stängdes den stora öppningen efter 30 sekunder och efter ytterligare 60 sekunder stängdes den lilla öppningen. Tiden 30 sekunder syftade till att motsvara tiden till detektion av brand vilket leder till att tilluftsfläktarna stannar. De efterföljande 60 sekunderna syftade till att motsvara den tid det tar att stänga all ventilation till maskinrummet. Tiden uppskattades vid platsbesök och syftar till att motsvara ett brandscenario ombord då besättningen följer de nödrutiner som presenterats tidigare. Försök 4 och 5 genomfördes för att undersöka vilken bålstorlek som skulle användas i försöket med PGA-generatorn. I försök 6 aktiverades generatorn i samband med att den mindre öppningen stängdes efter 90 sekunder. Även skrovmaterialiet testades i detta försök.

Försök 7 genomfördes i syfte att undersöka påverkan på skrovmaterialiet utan inverkan från släckmedel. I övrigt var detta försök identiskt med försök 6.

Försök 8 och 9 genomfördes i syfte att undersöka den lilla öppningens inverkan på brandförloppet. Försöken utfördes för att undersöka vilka temperaturer som uppnås om brandgasspjällen förblir öppna. I försök 9 fördubblades öppningsarean.

Samtliga försök sammanfattas i Tabell 5.1 nedan.

Tabell 5.1. Översikt över de försök som genomfördes.

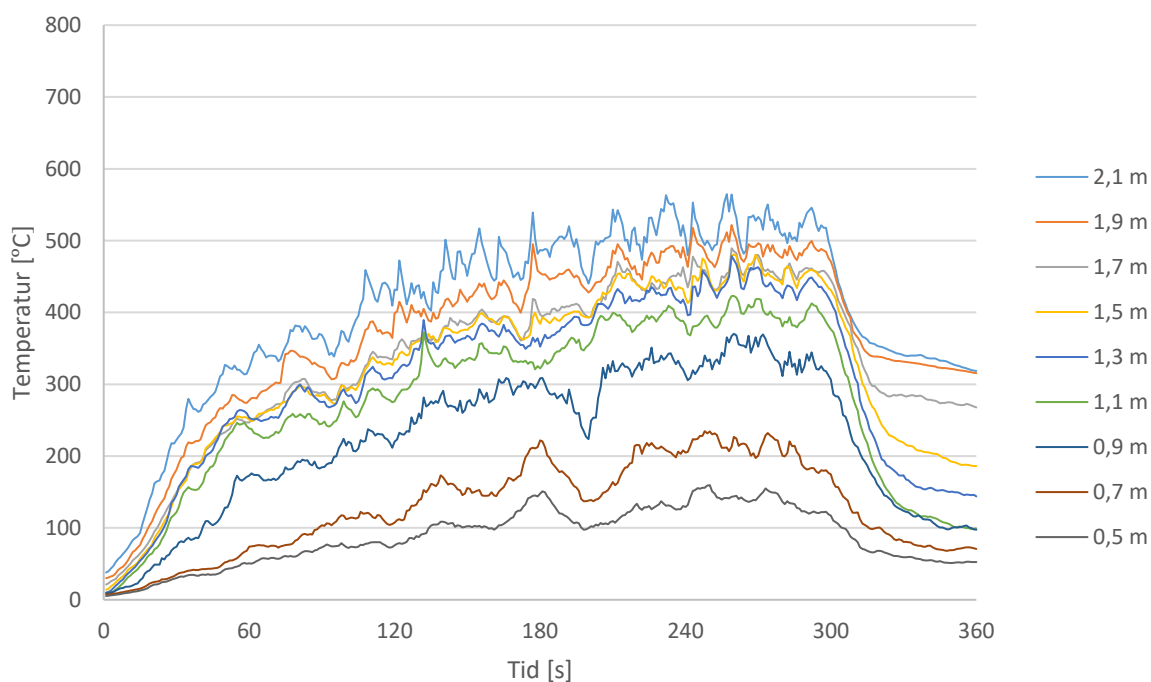
Försök	Bränslebål [m <sup>2</sup> ]	Stora öppningen	Lilla öppningen	Undersökt parameter
1	0,3	Öppen	Stängd	Aktiveringstemperatur, Material, Ventilation
2	0,16	Öppen	Stängd	Aktiveringstemperatur, Material
3	0,16	Öppen	Stängd	Aktiveringstemperatur
4	0,16	Stängdes efter 30	Stängdes efter 90	Släckverkan
5	0,3	Stängdes efter 30	Stängdes efter 90	Släckverkan, Ventilation
6	0,3	Stängdes efter 30	Stängdes efter 90	Släckverkan, Material
7	0,3	Stängdes efter 30	Stängdes efter 90	Material
8	0,3	Stängd	Öppen	Ventilation
9	0,3	Stängd	Öppen (30 x 60)	Ventilation

## 6 Resultat och analys

Nedan presenteras resultat och analys av de genomförda försöken.

### 6.1 Aktiveringstemperatur

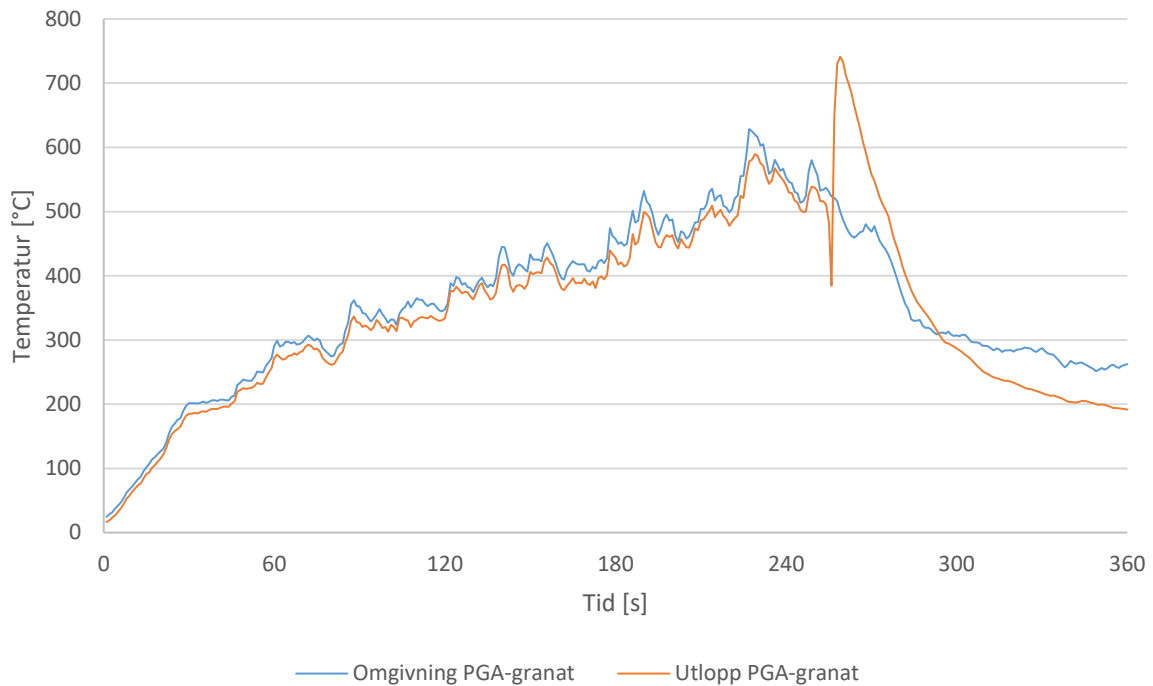
I försök 1 användes ett 0,3 m<sup>2</sup> stort bål vilket gav en kraftig brand och mycket turbulenta förhållanden. Flamhöjden blev högre än takhöjden i utrymmet vilket resulterade i att flammor nådde den tänkta placeringen av PGA-granaten. Ytterligare ett inledande försök, försök 2, genomfördes med ett 0,16 m<sup>2</sup> stort bål, temperaturerna som uppmättes presenteras i Figur 6.1 nedan.



Figur 6.1. Resultat från försök 2 med ett 0,16 m<sup>2</sup> stort bål.

Utifrån resultatet valdes placeringen av PGA-granaten till 1,7 meter över golvet.

Resultat från försök 3 visar de temperaturer som uppmättes framför utloppet och vid PGA-granaten, dessa presenteras i Figur 6.2 nedan.



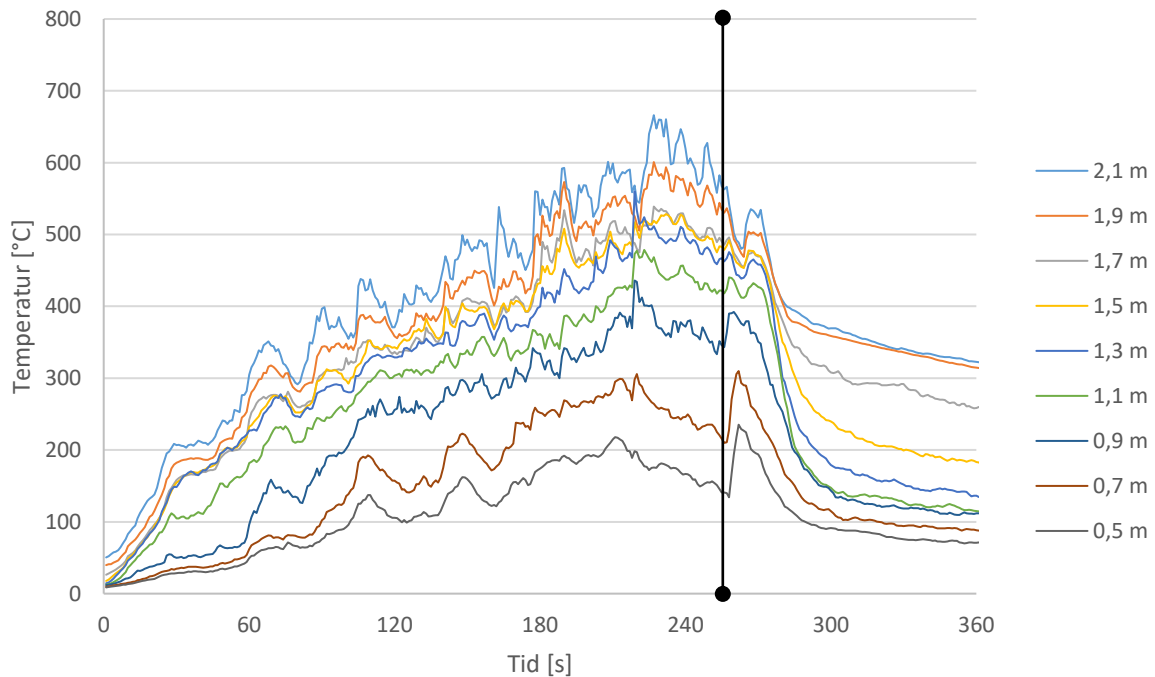
Figur 6.2. Temperaturer framför utloppet och vid PGA-granaten från försök 3.

Det framgår tydligt att granaten aktiverade strax efter fyra minuter. Den exakta tiden för aktivering är 255 sekunder och tömningen pågick i cirka fem sekunder. Detta verifierades även genom filmupptagning. Under tömningen uppmättes temperaturer på över 700 °C precis framför utloppet på granaten. Redan efter en minut tangerar temperaturen vid granaten 300 °C. Efter ytterligare en halv minut är temperaturen konstant högre än 300 °C och ökar till över 600 °C innan aktivering sker. Då aktivering sker är temperaturen drygt 500 °C och termoelementet vid granaten har registrerat en temperatur över 300 °C i nästan tre minuter.

Släckmedelssubstansen är designad för att självaktivera när temperaturen uppnår 300 °C men trots det kunde PGA-granaten utsättas för högre temperaturer i nästan tre minuter innan den aktiverade. I försöket nåddes temperaturer över 600 °C utan att granaten aktiverade. Hade istället temperaturen stabiliserats närmare 300 °C hade troligtvis tiden till aktivering blivit längre, detta då större temperaturskillnad bidrar till en snabbare värmeöverföring. Släckgranaten var begagnad vilket möjligen kan ha påverkat dess funktion.



I Figur 6.3 presenteras de temperaturer som uppmättes i utrymmet under försök 3. Den svarta linjen markerar 255 sekunder, tiden då PGA-granaten aktiverade.



Figur 6.3. Uppmätta temperaturer på olika höjder i utrymmet under försök 3. Den svarta vertikala linjen visar när PGA-granaten aktiverade.

Då granaten aktiveras sjunker temperaturen något i den övre delen av utrymmet, trots att branden inte släcks. I den nedre delen, och speciellt i de två lägsta mätpunkterna, stiger däremot temperaturen efter aktivering. Detta beror troligen på den turbulens som uppstår då granaten aktiveras. Ungefär tio sekunder efter aktivering stiger temperaturen något och stabiliseras i den övre delen av utrymmet. Strax därefter tar bränslet slut och temperaturen sjunker i hela utrymmet.

I Figur 6.4 presenteras en bildserie över aktiveringsförloppet filmat genom den stora öppningen.



Figur 6.4. Bilder tagna före, under och efter aktivering av PGA-granaten i försök 3. Bilden till vänster är tagen tio sekunder innan aktivering, bilden i mitten under aktivering och den högra tio sekunder efter aktivering.

Innan aktivering flödar mörka brandgaser ut genom öppningen. På filmupptagningen framgår tydligt hur aktivering av PGA-granaten skapar stor turbulens i utrymmet. Mittenbilden visar hur släckmedlet, den ljusa röken, ventileras ut. Tio sekunder efter aktivering är flödet av rök jämnare och har en ljusare färg än innan aktivering. Detta beror troligen på inblandning av släckmedel i brandgaserna. Efter ytterligare tio sekunder har brandgaserna återfått samma färg som innan aktivering.

Den turbulens som skapades vid aktivering bidrog till effektiv spridning av släckmedlet i utrymmet. Men då den stora ventilationsöppningen hölls öppen ventilerades en stor del av släckmedlet ut direkt vid aktivering. Om öppningen varit mindre och en större andel släckmedel blivit kvar i utrymmet hade branden troligen släckts.

I Tabell 6.1 presenteras PGA-granatens vikt före och efter aktivering.

Tabell 6.1. PGA-granatens viktminskning och koncentration släckmedel.

Vikt innan	Vikt efter	Frigjord mängd släckmedel	Koncentration
2,696 kg	2,184 kg	0,512 kg	63 g/m <sup>3</sup>

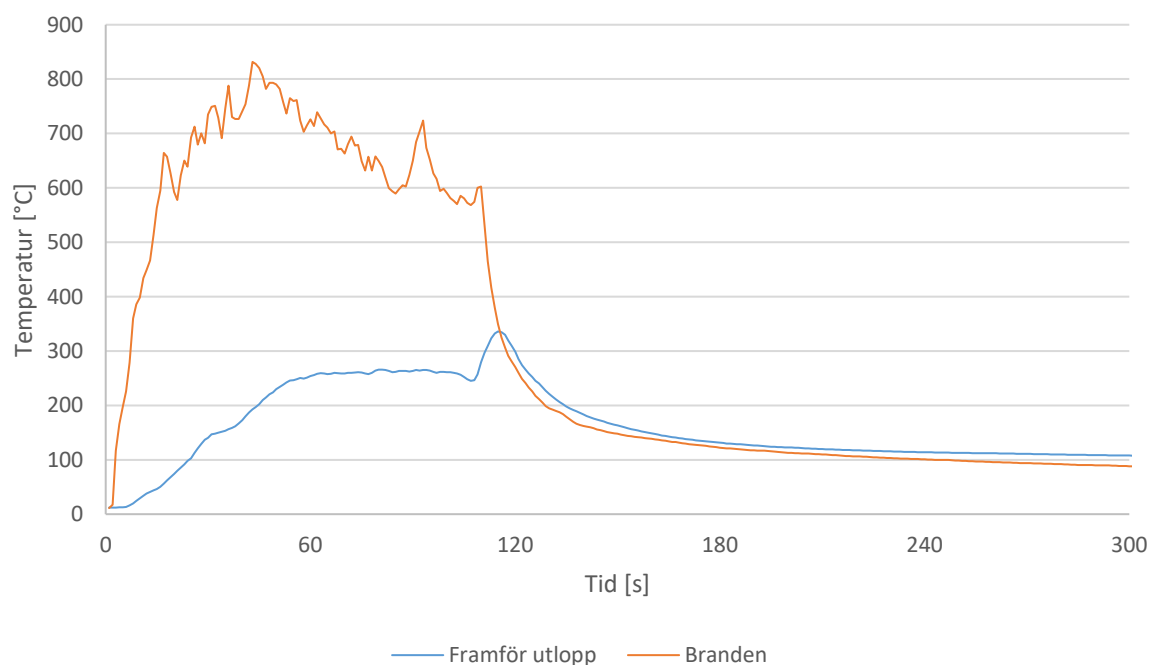
Den mängd släckmedel som frigjordes när PGA-granaten aktiverade skulle gett en släckmedelskoncentration på 63 g/m<sup>3</sup> om utrymmet var tillslutet. Vilket, enligt tillverkaren, är tillräckligt för att släcka klass B-brand.

Försökupställningen syftade till att granaten inte skulle placeras i brandgasplymen utan istället utsättas för en så jämn temperatur och så låg hastighet som möjligt. Då den stora ventilationsöppningen hölls öppen under hela försöket hade brandgaserna en högre hastighet än vad som troligen skulle vara fallet i ett maskinrum. Dessutom begränsades inte förbränningen av tillgång på syre. Båda dessa aspekter hade med största sannolikhet lett till en längre aktiveringstid.

Om fler PGA-granater hade funnits att tillgå skulle ytterligare försök kunnat genomföras för att vidare undersöka aktiveringstemperaturen. Försök där granaten inte utsätts för strålning från flammorna samt förhållanden med mindre turbulenta brandgaser skulle vara intressanta att genomföra.

## 6.2 Släckverkan

Två inledande försök genomfördes då öppningarna stängdes enligt tidigare presenterad nödrutin. Detta resulterade i att det 0,3 m<sup>2</sup> stora bålet användes till försök 6 då PGA-generatorn aktiverades. I Figur 6.5 nedan presenteras den temperatur som uppmättes framför utloppet på PGA-generatorn samt över branden.

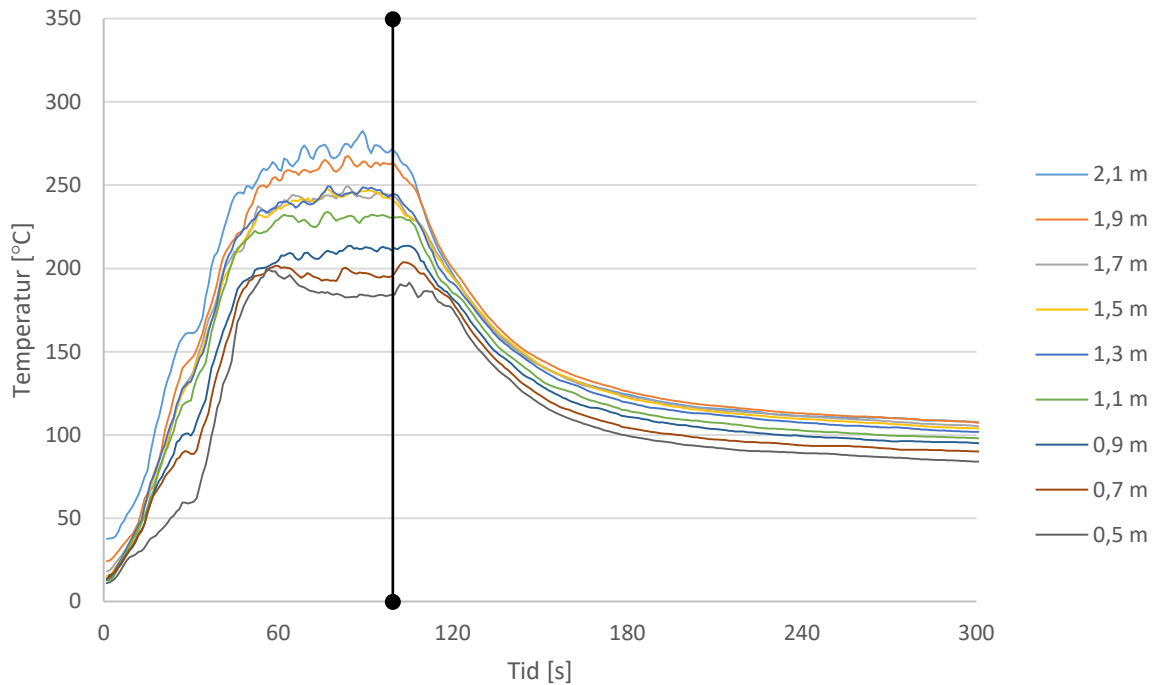


Figur 6.5. Uppmätt temperatur framför utloppet på PGA-generator samt över branden i försök 6.

Ur grafen kan det utläsas att aktivering av PGA-generatorn skedde strax efter en och en halv minut. Exakt tid för aktivering var 105 sekunder och tömningen varade i tolv sekunder. Detta bekräftades även via filmupptagning. Under försöket uppmättes temperaturer på nästan 350 °C precis framför utloppet på

generatorm. Det syns tydligt i grafen att branden slocknar strax efter att generatorm aktiverat. Tiden från det att generatorm aktiverade till det att branden släcktes var fem sekunder.

I Figur 6.6 nedan presenteras de temperaturer som uppmättes i utrymmet. Den svarta linjen markerar när aktivering av generatorm skedde.



Figur 6.6. Uppmätta temperaturer på olika höjder i utrymmet under försök 6. Den svarta vertikala linjen visar när PGA-generatorm aktiverade.

Det framgår tydligt hur temperaturen i hela utrymmet sjunker efter aktivering av PGA-generatorm. Precis efter aktivering registrerades en marginell temperaturökning vid de två termoelementen närmast golvet, vilket troligen berodde på att det uppstod turbulens i utrymmet då släckmedlet strömmade ut ur generatorm.

Innan PGA-generatorm aktiverades läckte mörka brandgaser ut ur otätheter i försöksvolymen. Efter aktivering var färgen på de utströmmande gaserna istället ljusgrå vilket kom av att det läckte ut släckmedel, se Figur 6.7 nedan.

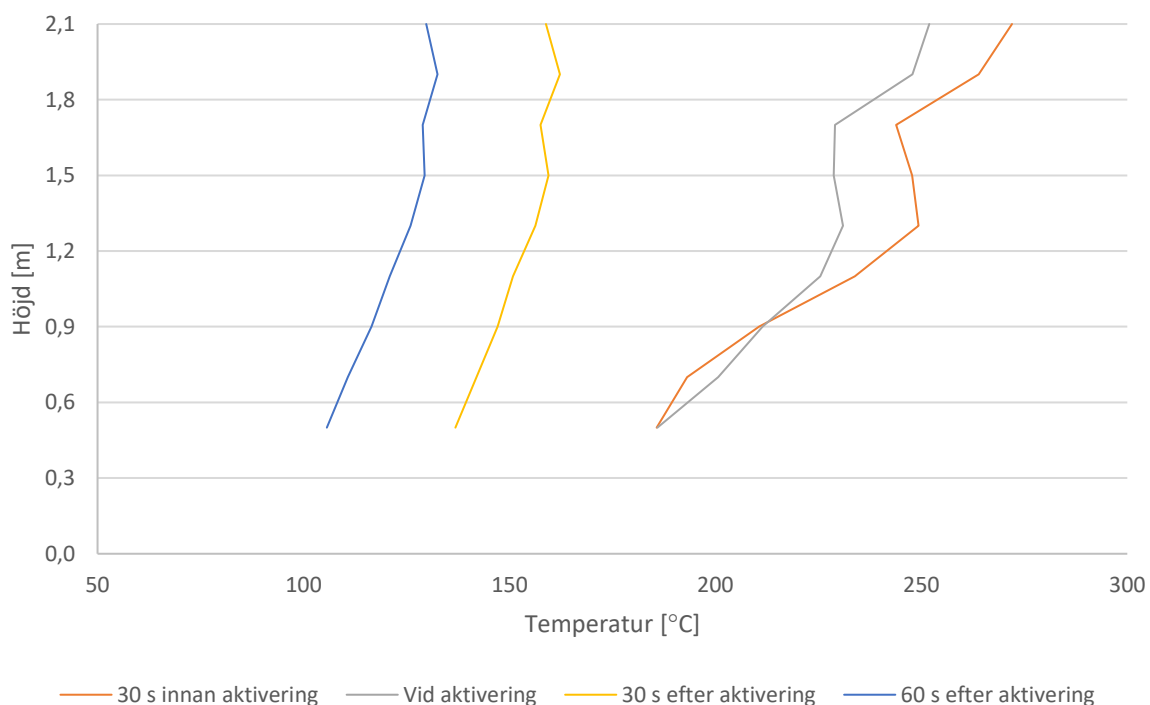


Figur 6.7. Utströmning av släckmedel från containern under försök 6.

Läckaget av släckmedel fortsatte under lång tid. Flödet som framgår på den högra bilden pågick i drygt tio minuter. På den vänstra bilden syns hur det har bildats ett moln av släckmedel kring containern.

Temperaturförändringarna i rummet efter aktivering av PGA-generatorn jämfördes med ett försök där uppställningen var densamma men branden istället sloknade på grund av syrebrist. I figuren nedan presenteras temperaturprofilen för utrymmet vid olika tidpunkter i de båda försöken.

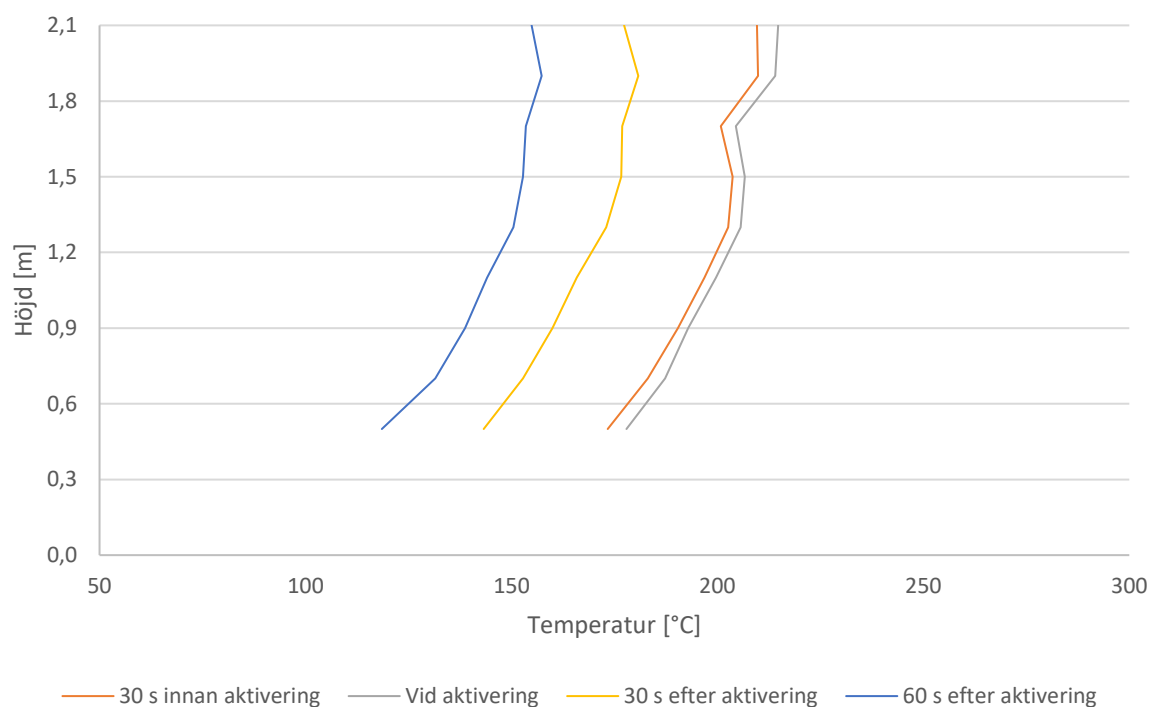
I Figur 6.8 nedan presenteras temperaturen 30 sekunder innan aktivering av PGA-generatorn, vid aktivering samt 30 och 60 sekunder efter aktivering.



Figur 6.8. Temperaturprofil i utrymmet över tid för släckförsöket med PGA-generator, försök 6.

Temperaturen i utrymmet varierar mellan cirka 180-270 °C 30 sekunder innan aktivering. 30 sekunder efter aktivering har temperaturen sjunkit och utrymmet har en jämnare temperaturprofil. Ytterligare 30 sekunder senare har temperaturen i utrymmet sjunkit till ungefär 100-130 °C.

I Figur 6.9 nedan presenteras temperaturen 30 sekunder innan branden slocknar, när branden slocknat, samt 30 och 60 sekunder efter att branden slocknat.



Figur 6.9. Temperaturprofil i utrymmet över tid för försök 5 där branden självslocknade.

Temperaturen i utrymmet 30 sekunder innan branden slocknar varierar mellan 170-210 °C. 30 sekunder efter att branden slocknat har temperaturen minskat med ungefär 30 °C. Ytterligare 30 sekunder senare har temperaturen i utrymmet minskat till ungefär 120-160 °C. Till skillnad från försöket med PGA-generatoren fortgår branden under tre och en halv minut innan den slocknar efter att den lilla öppningen stängts.

Vid jämförelse av avsvälningen kunde en liten skillnad i temperaturminskning observeras. Dock så var temperaturen i utrymmet högre då generatoren aktiverade än då branden självslocknade. Dessutom pågick bränderna olika länge och starttemperaturen varierade något vilket påverkade temperaturen i omslutande material. Om det är konstruktionen eller släckmedlet som utgör skillnaden i avsvälning kan inte avgöras.

Temperaturprofilen i utrymmet var även jämnare i försöket med PGA-generatoren, vilket troligtvis berodde på den turbulens som skapades vid aktivering. Även läckage av släckmedel ur utrymmet observerades på olika höjder vilket tyder på god omblandning. Detta anses vara positivt i avseendet att nå bränder i svåråtkomliga delar av maskinrummet.

I Tabell 6.2 presenteras PGA-generators vikt före och efter aktivering.

Tabell 6.2. PGA-generatoren viktminskning och koncentration släckmedel.

Vikt innan	Vikt efter	Frigjord mängd släckmedel	Koncentration
10,558 kg	9,815 kg	0,743 kg	92 g/m <sup>3</sup>

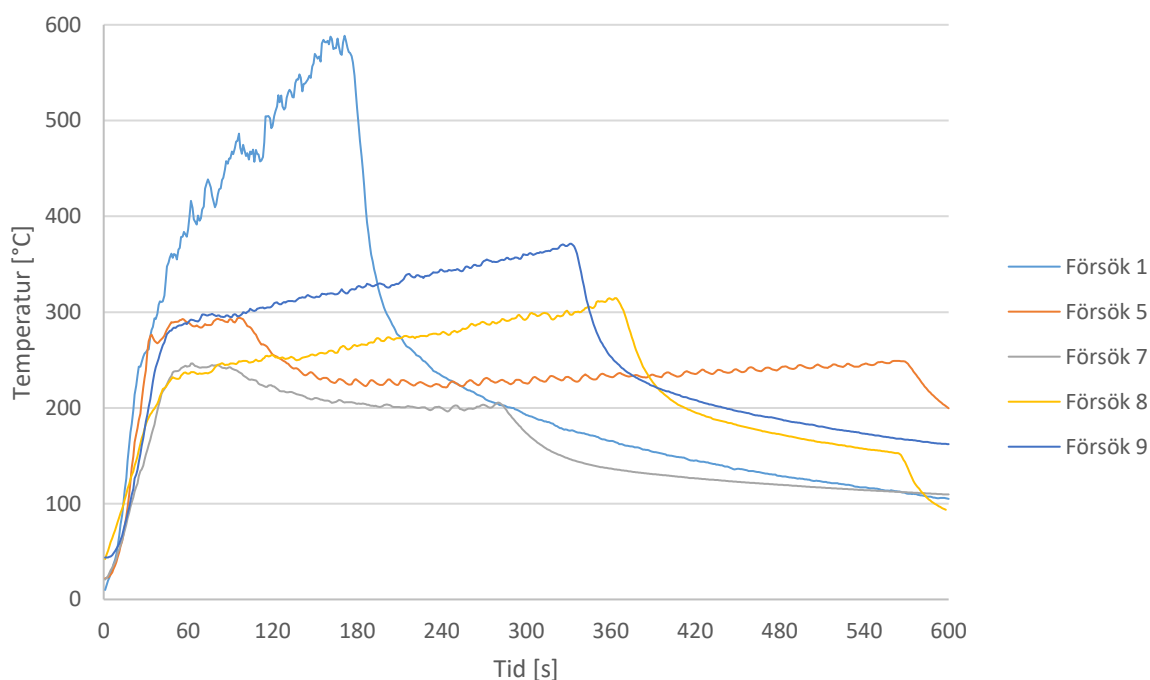
Den koncentration släckmedel som frigjordes i försöket var 70 % högre än erforderlig släckmedelskoncentration för klass B-bränder. För att efterlikna förhållandena i maskinrummet placerades ett hinder över bränsleålet. Detta gjordes för att försvåra spridningen av släckmedlet. Hade hänsyn tagits

till den volym som upptas av motorn hade en högre släckmedelskoncentration uppnåtts. Hindret över bränslebålet påverkade även flammhöjd och effektutveckling då återstrålning av flammor mot bålet minskade.

Ursprungligen var det tänkt att även återantändningsskydd skulle undersökas i samband med släckförsöket. Detta kunde inte genomföras då utrustning för att antända bålet när båda luckor var stängda saknades. Även hur återantändningsskyddet påverkas av ventilationen hade varit intressant att undersöka men då hade en tätare försöksvolym krävts.

### 6.3 Ventilation

I Figur 6.10 presenteras de temperaturer som uppmättes i utrymmet för olika öppningskonfigurationer. Temperaturen presenteras som medeltemperatur från samtliga termoelement i termoträdet. Då tilluften begränsades i flera av försöken blev temperaturskillnaden mellan nedersta och översta termoelementet relativt liten. Temperaturer från samtliga termoelement för respektive försök återfinns i Bilaga A – Försök.



Figur 6.10. Medeltemperatur som uppmättes i utrymmet vid olika öppningskonfigurationer.

I försök 1 begränsades inte tilluften vilket gav en mycket kraftig brand. Medeltemperaturen från detta försök var betydligt högre än i övriga försök. Efter drygt två och en halv minut, strax innan bränslet tog slut, stabiliserades temperaturen kring 600 °C.

Begränsning av tilluft jämfördes mellan försök 8 och 9. I försök 8 pågick branden i sex minuter innan en medeltemperatur på 300 °C uppnåddes. I försök 9 fördubblades den mindre öppningen på bredden vilket gav en medeltemperatur som var konstant omkring 25 % högre än i försök 8 och 300 °C överskreds efter två minuter.

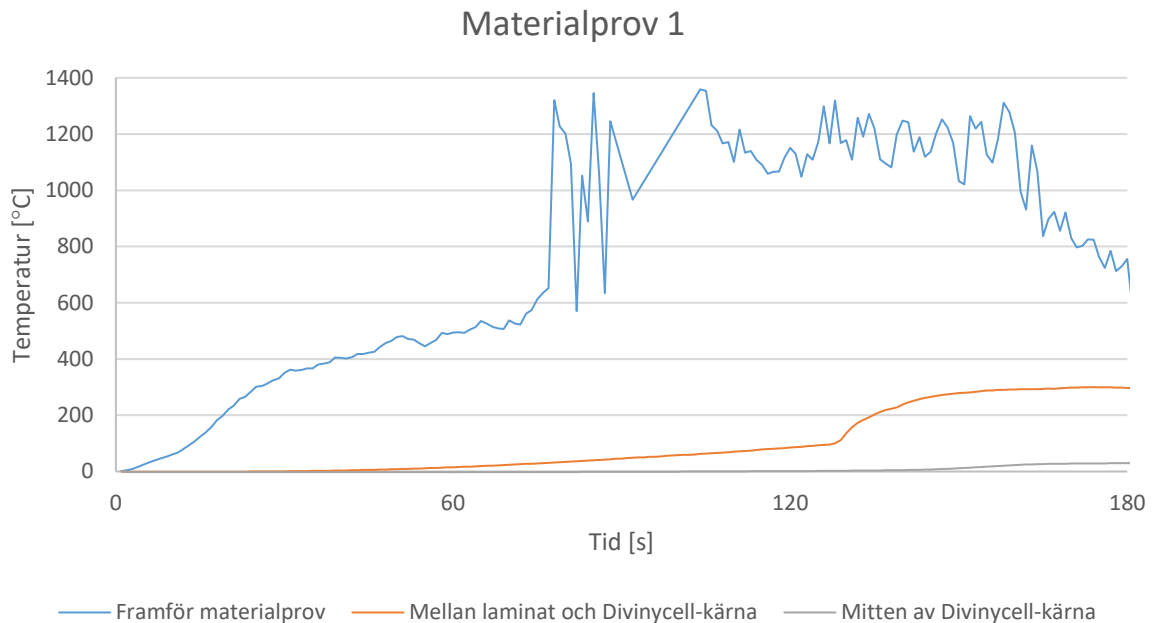
Storleken på ventilationsöppningarna hade stor inverkan på vilka temperaturer som uppnåddes i utrymmet. I det bränslekontrollerade försöket uppnåddes nästan dubbelt så höga temperaturer som i de försök där tilluften begränsades. Detta berodde främst på att effektutvecklingen blev högre då ventilationen inte begränsade branden. Det anses inte troligt att en sådan brand skulle kunna uppstå och pågå en längre tid i maskinrummet eftersom ventilationen där är begränsad. Även strålning från flammor och container påverkade de uppmätta temperaturerna.

I grafen syns hur temperaturen i försök 5 sjönk något strax efter 90 sekunder då båda öppningarna stängts. Efter drygt två minuter blev branden ventilationskontrollerad vilket framgår av det sågtandade mönstret i

grafen, men trots det pågick branden i nästan tio minuter innan bränslet tog slut. Detta berodde troligen på mindre öppningar och otätheter i containern. I försök 7 upprepades detta försök utan att lika höga temperaturer uppnåddes och branden sloknade efter fem minuter trots att det fanns bränsle kvar i bålet. Detta berodde troligen på att containern hade en lägre temperatur då försök 7 genomfördes vilket gav en större värmetransport in i materialet och således en lägre temperatur i utrymmet.

#### 6.4 Skrovmaterial

I Figur 6.11 nedan presenteras de temperaturer som uppmättes för materialprovet i försök 1. Vissa intervall kring 90 sekunder klarade mätutrustningen inte av att registrera, dessa intervall har sammanbundits linjärt med nästa uppmätta värde.



Figur 6.11. Temperaturer som uppmättes framför och på två olika djup i materialprovet under försök 1.

Branden blev mycket kraftig och flammor nådde den plats där materialprovet var placerat. Detta gjorde att materialprovet började brinna vilket även framgår i grafen då temperaturen hastigt steg från 600 °C till över 1200 °C. Temperaturen i skiktet mellan laminatet och kärnan steg till 85 °C under de första två minuterna. Efter drygt två minuter ökade temperaturen mycket snabbt och stabiliserades kring 300 °C. I mitten av Divinycell-kärnan steg temperaturen långsamt under hela förloppet och var efter tre minuter cirka 30 °C.

Bilder på materialprovet från försök 1 presenteras i Figur 6.12 nedan.

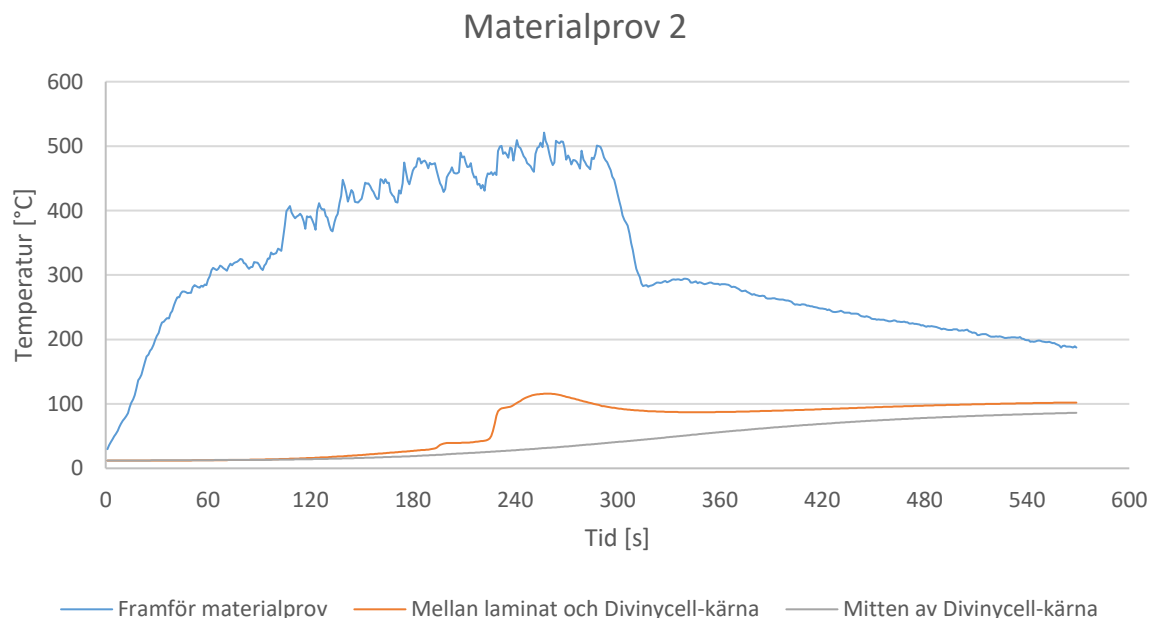


Figur 6.12. På den vänstra bilden syns hur laminatet släppt från kärnan och de olika skikten i laminatet fallit isär. På den högra bilden syns förkolning av Divinycell-kärnan.

Sammanfogningen mellan laminatet och kärnan har släppt och Divinycell-kärnan har förkolnats kraftigt. Dessutom har de olika lagren av glasfiber släppt från varandra i laminatet på den brandutsatta sidan.

Materialprovet började brinna efter knappt en och en halv minut. Värt att notera är att temperaturen framför materialprovet vid denna tidpunkt stämde mycket väl överens med den temperatur som i tidigare studier lett till användning av sandwichkomposit med kolfiberlaminat.

Det andra materialprovet undersöktes i försök 2, uppmätta temperaturerna presenteras i Figur 6.13 nedan.



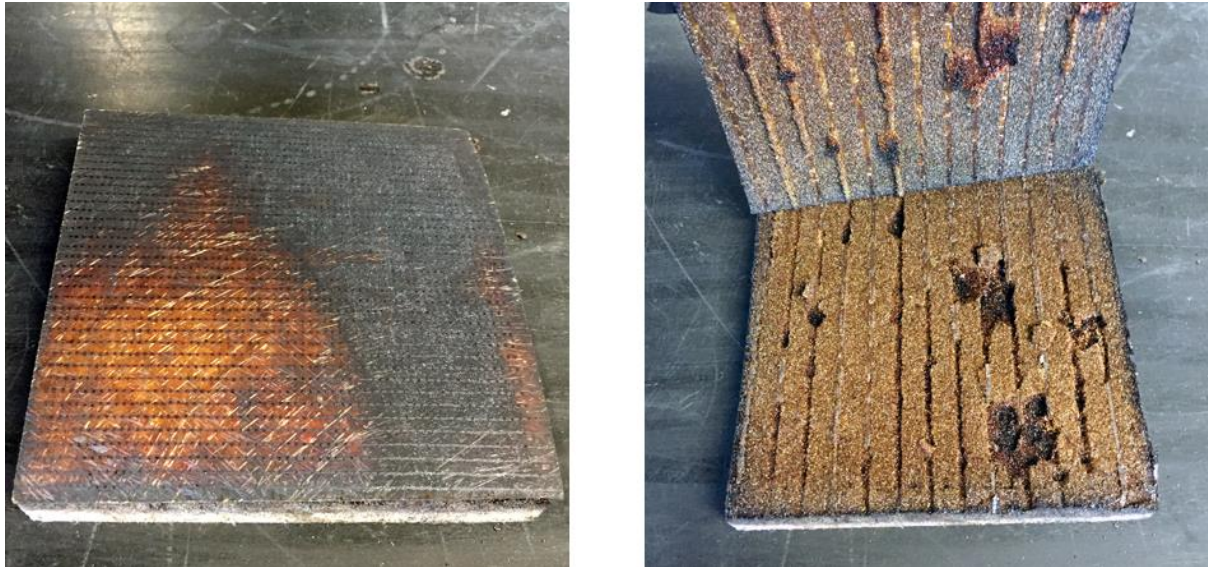
Figur 6.13. Temperaturer som uppmättes framför och på två olika djup i materialprovet under försök 2.

Temperaturen som uppmättes framför provkroppen steg under första minuten till omkring 300 °C. Därefter avtog temperaturökningen och stabiliserades mellan 400 och 500 °C efter drygt två minuter. Bränslet tog slut efter fem minuter vilket ledde till att temperaturen minskade till 300 °C, därefter sjönk



temperaturen till 200 °C på drygt fyra minuter. Temperaturen mellan laminatet och kärnan ökade långsamt till strax innan fyra minuter då den hastigt steg till omkring 100 °C. Temperaturen förblev i stort sett konstant i ytterligare fem minuter innan mätningarna avbröts. När mätningen avslutades var temperaturen i mitten av Divinycell-kärnan nästan 90 °C och fortsatte enligt lutningen på kurvan i grafen att öka långsamt. Troligen har en högre temperatur uppnåtts i materialprovets båda mätpunkter då omgivningstemperaturen var högre.

Bilder på materialprovet från försök 2 presenteras i Figur 6.14 nedan.

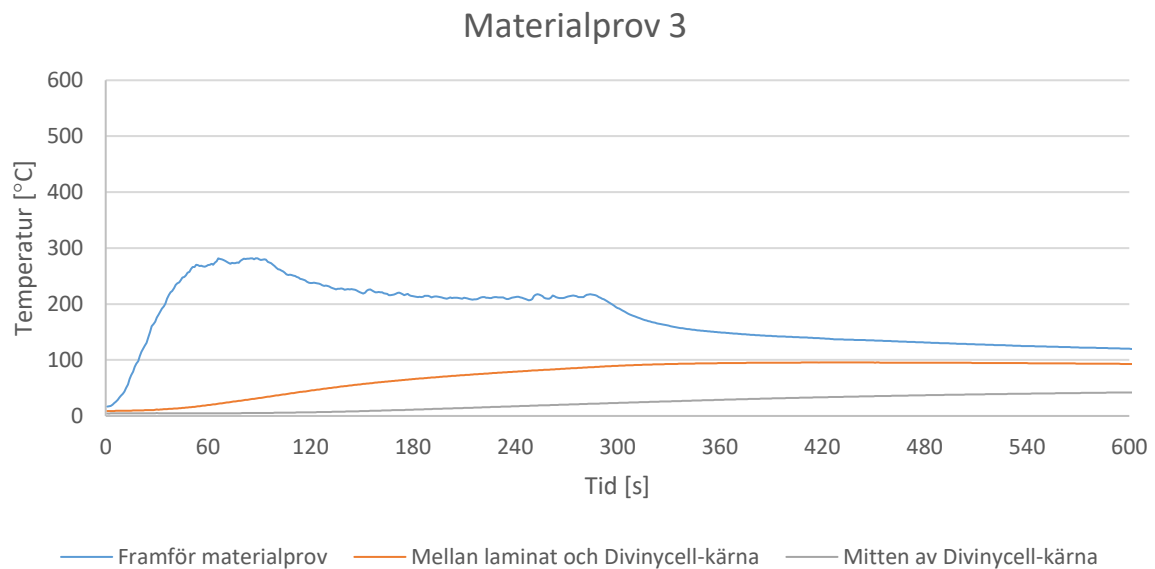


Figur 6.14. På den vänstra bilden syns hur det yttersta skiktet på laminatet börjat förkolnas. På den högra bilden framgår att laminatet har släppt från Divinycell-kärnan.

Skiktet mellan laminatet och Divinycell-kärnan släppte över hela provkroppen och den brandutsatta ytan har förkolnat något. Kärnan har förkolnat till ungefär halva djupet.

I försöken med både materialprov 1 och 2 uppmättes temperaturer över 100 °C i skiktet mellan laminatet och Divinycell-kärnan. Det var även på dessa materialprov som laminatet släppte från kärnan vilket stämmer väl överens med vad tidigare studier visat.

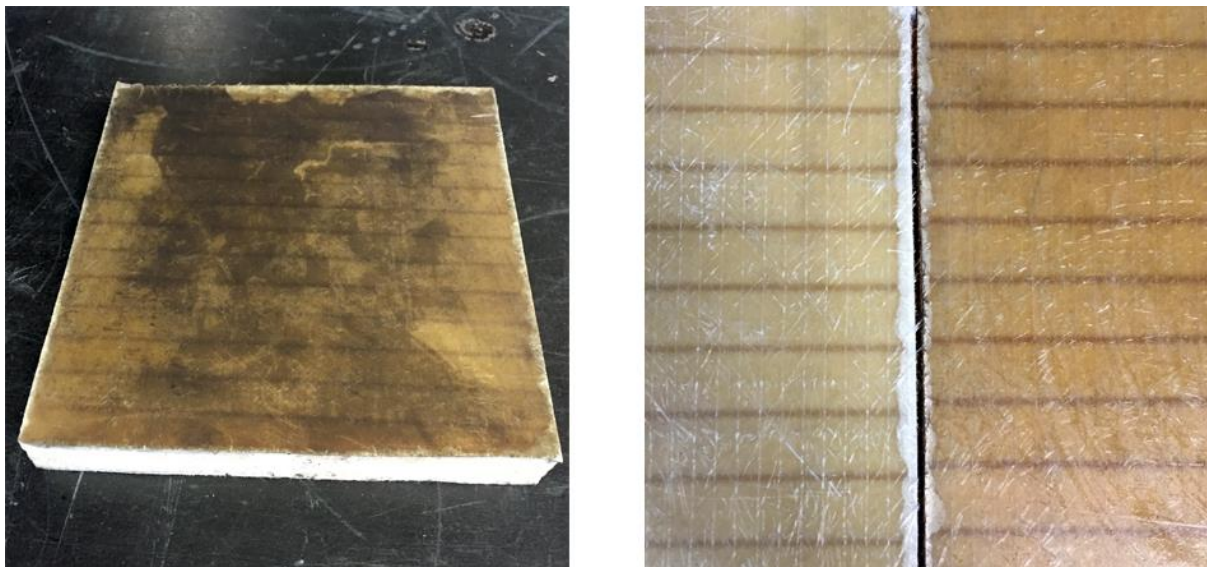
Det tredje materialprovet undersöktes i försök 6. De uppmätta temperaturerna presenteras i Figur 6.15 nedan.



Figur 6.15. Temperaturer som uppmättes framför och på två olika djup i materialprovet under försök 6.

Temperaturen steg linjärt under den första minuten och stabiliserades därefter på mellan 250 och 300 °C. Då tilluften begränsades sjönk temperaturen och stabiliserades kring 200 °C till dess att bränslet tog slut efter fem minuter. Därefter avtog temperaturen med omkring 100 °C under fem minuter. Temperaturen mellan laminatet och kärnan steg under de första sex minuterna och nådde knappt 100 °C innan den började avta. I mitten av kärnan steg temperaturen långsamt under hela försöket och hade efter tio minuter nått cirka 40 °C.

Bilder på det tredje materialprovet som undersöktes i försök 6 presenteras i Figur 6.16 nedan.

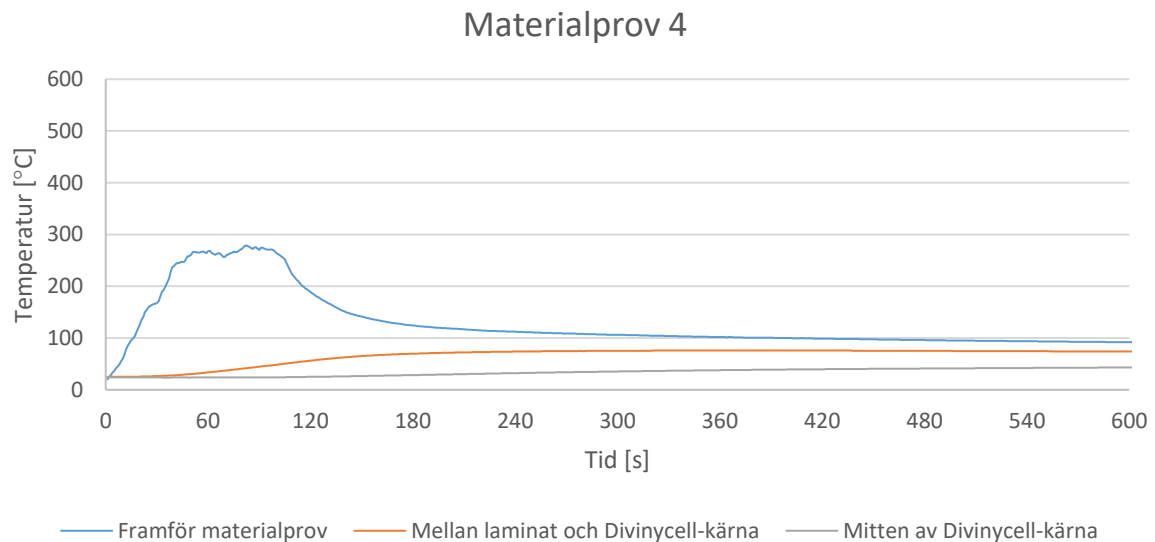


Figur 6.16. På den vänstra bilden syns materialprovet innan det torkats av. På bilden till höger jämförs materialprovet (höger) med en provbit som inte utsatts för brand (vänster).

Utöver det sot som deponerades på den brandutsatta ytan syntes ingen påverkan. Trots att temperaturer på strax under 100 °C uppmättes i skiktet mellan laminatet och kärnan observerades inga tecken på att de

börjat släppa från varandra. Efter att materialprovet torkats av med en fuktig trasa kunde ingen större skillnad mot ett referensprov som inte utsatts för brand observeras.

Det fjärde materialprovet undersöktes i försök 7. De temperaturer som uppmättes presenteras i Figur 6.17 nedan.



Figur 6.17. Temperaturer som uppmättes framför och på två olika djup i materialprovet under försök 7.

Temperaturen framför materialprovet steg med cirka 250 grader under den första minuten. Därefter stabiliserades temperaturen mellan 250 och 300 °C under knappt en minut innan den började avta till dess att mätningarna avslutades. Temperaturen i skiktet mellan laminatet och kärnan steg under de första fyra minuterna och stabiliserades därefter kring 75 °C. I mitten av Divinycell-kärnan ökade temperaturen långsamt under hela mätningen och nådde drygt 40 °C efter tio minuter. Materialprovet såg i stort sett identisk ut mot materialprov 3 som presenterats tidigare. Aningen mindre mängd sot hade deponerats på materialprov 4.

För samtliga materialprov uppmättes en marginell temperaturökning i mitten av Divinycell-kärnan vilket inte är förvånande då sandwichkomposit enligt tidigare studier har låg värmeledningsförmåga.



## 7 Diskussion

I detta avsnitt diskuteras skillnader mellan försökutrymmet och maskinrummet samt hur de skulle kunna påverka brandförloppet. Det görs även jämförelser mellan de olika försöken och hur resultaten inverkar på brandskyddet.

Inför försöken diskuterades anpassningar av försöksvolymen för att bättre återskapa höjden i maskinrummet. Detta frångicks då det ansågs svårt att få konstruktionen tillräckligt tät och tålig. Skillnaden i höjd mellan försökutrymmet och maskinrummet var omkring 0,8 meter. Denna skillnad hade troligen resulterat i att flammans brutits av, vilket i sin tur lett till att strålningen från flammorna mot bränsleytan hade ökat. Mer strålning mot bränsleytan hade resulterat i snabbare avbrinning, högre effektutveckling och högre temperaturer.

Försöken genomfördes i halvskala då detta krävdes för att uppnå motsvarande koncentration släckmedel med endast en FP1200. För att underlätta jämförelser mellan försöken utfördes även övriga försök i halvskala. Om försöken istället hade genomförts i fullskala skulle förbränningen kunna fortgå med en hög effektutveckling under längre tid då en större mängd syre hade funnits tillgängligt. Detta skulle kunna leda till en högre temperatur i utrymmet. Dock blir den totala värmeledningen till omslutande väggar och tak större då omslutande area ökar. Detta tillsammans med en större volym luft som kan uppta värme skulle leda till en lägre temperatur i utrymmet. Vilka temperaturer som hade uppnåtts om försöken genomförts i fullskala är svårt att uppskatta, troligen hade skillnaden varit marginell i det inledande skedet av ett brandförlopp.

Sandwichkomposit har lägre värmeledningsförmåga än stål vilket också hade påverkat temperaturen i utrymmet då mindre värme skulle ledas bort från försöksvolymen. Försöken pågick under kort tid, de flesta endast ett fåtal minuter, vilket ledde till att värmeledningens inverkan på temperaturen begränsades.

I ett försök där ventilationens inverkan undersöktes slocknade branden efter att båda tilluftsöppningarna stängts. Maskinrummet bedöms vara betydligt tätare än containern som försöken genomfördes i. Därför skulle brand i maskinrummet antagligen bli ventilationskontrollerad och självslockna tidigare förutsatt att det är möjligt att helt tillsluta volymen. I försöket med PGA-generatorn FP1200 observerades ett stort flöde av släckmedel genom containerns otätheter under de 15 minuter försöket genomfördes. Detta har troligen stor inverkan på återantändningsskyddet och därför är det även viktigt i det hänseendet att utrymmet går att tillsluta.

Släckmedelssubstansen är designad för att självaktivera vid 300 °C vilket undersöktes med en FP500 PGA-granat. I vilken utsträckning resultatet från aktiveringsförsöket är applicerbart på PGA-generatorn är svårt att avgöra. Granaten och generatorn skiljer sig åt i utformning vilket påverkar värmeöverföringen. Granaten är helt tillsluten vilket hindrar brandgaser från att nå släckmedlet. Generatorn har öppningar men väger å andra sidan ungefär fem gånger så mycket vilket resulterar i att mer massa kan uppta värme och skulle därmed kunna fördröja aktiveringen. I de ventilationsförsök där tilluften begränsades uppnåddes inte lika höga temperaturer som i aktiveringsförsöket, dessutom hade brandgaserna en betydligt lägre hastighet då öppningsarean begränsades. Sammantaget hade det med stor sannolikhet lett till en längre aktiveringstid. I maskinrummet ombord Victoriaklassen där det finns två PGA-enheter installerade skulle detta kunna leda till att endast en enhet aktiverar, med resultatet att tillräcklig släckmedelkoncentration inte uppnås.

I flera försök uppnåddes kritiska temperaturer i materialproverna efter endast ett fåtal minuter. Jämförelse av försök två och tre visade att skrovmaterialet tog skada innan PGA-granaten självaktiverade. Placeringen av materialprovet anses inte ha varit konservativ då hela omslutande arean hade utgjorts av sandwichkomposit i ett maskinrum. PGA har dessutom en marginell kylande effekt, vilket skulle kunna resultera i skador på skrovmaterialet även efter att branden släckts. Det är därför av stor vikt att systemet utformas så att manuell aktivering kan ske så fort som möjligt.

De tider som användes för att återskapa scenariot för ett brandförlopp i maskinrummet är uppskattade utifrån resonemang under platsbesöket på Kåringön. Tid till detektion hade troligen varit betydligt kortare

än de 30 sekunder som användes om motsvarande brand uppstått i maskinrummet. Tiden till den stora öppningen stängs i försöken anses därför vara konservativ. De följande 60 sekunderna som skulle motsvara tiden för att lokalisera brand och fullfölja nödrutinerna är svårare att uppskatta då den mänskliga faktorn har en avgörande inverkan.

I försöken användes ett heptanbål för att efterlikna en pölbrand i maskinrummet. Andra möjliga brandscenarier som skulle vara intressanta att undersöka hade varit spraybrand och kabelbrand. En spraybrand hade varit svår att återskapa men skulle kunna leda till omfattande lokala skador på skrovmaterialet. En kabelbrand hade kunnat återskapas men inte gett i närheten av en så kraftig brand som heptanbålet och ansågs därför inte relevant att undersöka.

I de försök där PGA-släcksystem användes framgick att den aerosol som bildades var mycket känslig för brandgas- och luftflöden. Det observerades i aktiveringsförsöket att det kraftiga flödet på brandgaserna snabbt transporterade ut aerosolen ur försöksvolymen. I släckförsöket placerades ett hinder över bålet för att efterlikna förhållandena i ett maskinrum. När PGA-generatorn aktiverades släcktes branden inom ett fåtal sekunder vilket tyder på god spridning av släckmedlet. Även om geometrin i maskinrummet är betydligt mer komplex än försöksvolymen skulle spridningen av aerosolen troligen vara mycket god.

## 8 Slutsatser

Nedan presenteras de slutsatser som kan dras från arbetet.

**Automatisk aktivering av släckmedelssubstansen bör inte användas som aktiveringsmetod i ett maskinrum ombord Victoriaklassen.**

Betydligt högre temperaturer än 300 °C uppmättes vid PGA-enheten under flera minuter innan den aktiverade. Då tilluften begränsades för att efterlikna ventilationsförhållandena i maskinrummet blev både brandgasernas temperatur och hastighet lägre. Detta skulle med stor sannolikhet leda till en längre aktiveringstid.

**Ventilationsförhållandena har stor inverkan på både brandförloppet och möjligheten att uppnå erforderlig släckmedelskoncentration.**

Då tilluften begränsades för att efterlikna förhållandena i maskinrummet uppmättes en halverad medeltemperatur jämfört med det försök då branden var bränslekontrollerad. I de försök där PGA användes observerades ett utflöde av släckmedel ur försöksvolymens öppningar och otätheter. Det är därför viktigt att maskinrummet går att tillsluta i så stor utsträckning som möjligt för att minska förlusterna av släckmedlet. Installationer bör optimeras så detta kan ske i ett tidigt skede för att begränsa brandförloppet.

**Vid brand i maskinrummet riskerar skrovmaterialen att ta skada redan efter ett fåtal minuter.**

Laminatet släpper från kärnan då skiktet mellan de uppnår en temperatur kring 100 °C vilket stämmer väl överens med tidigare studier. Vid en kraftig brand uppnås denna temperatur redan efter ett fåtal minuter. Försök visade att skrovmaterialen antänder då det utsätts för en temperatur på 530 °C vilket även det stämmer överens med tidigare studier.





## Referenser

- Back, G., Boosinger, M., Eric, E., Beene, D., Weaver, E. and Nash, L. (2009). *An Evaluation of Aerosol Extinguishing Systems for Machinery Space Applications*.
- Bagge, A. (2016). Platsbesök RS Kåringön.
- Carlsén, T. and Winkler, H. (2000). *Skärsläckaren som röjnings- och släckverktyg för fartyg av kolfiberkomposit*. Lund: Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- Dahlberg, M. (2016). *Examensarbete - Brandingenjör LTH*. [email].
- Dahlberg, M. and Hagman, T. (2016). *Besök på SSRS Huvudkontor*.
- de Pedis, M. and Jonsson, O. (2013). *Pyrotechnically Generated Aerosols ability to extinguish cable fires*. Lund: Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- Det Norske Veritas, (2000). *Engine room fires can be avoided*. Høvik.
- Drysdale, D. (1998). *Introduction to fire dynamics*. Chichester: John Wiley and Sons.
- Ekström, J., Nilsson, B., Holmstedt, G., van Hees, P., Åqvist, J. and Gudmundsson, A. (2008). *Pyrotekniskt genererade aerosoler*. Lund: Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- Evegren, F. (2010). *Assessing Fire Safety in Maritime Composite Superstructures - A Risk-Based Approach*. Lund: Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- FirePro (2015). *Information, instruction & user manual*. Fire Extinguishing Aerosol Systems. Cyprus, FirePro.
- Furustam, K., Isomeri, M., Johansson, M., Kärnä, S. and Laxen, M. (odat.). *CE-handboken - Om fritidsbåtsdirektivets tillämpning*. Transportstyrelsen.
- Hertzberg, T. (2009). *LASS, Lightweight Construction Applications at Sea*. 1a uppl. Borås, Sverige: SP Technical Research Institute of Sweden.
- IMO, (2016). FAQs. [online] Imo.org. Tillgänglig via:  
[http://www.imo.org/en/About/conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-safety-of-life-at-sea-\(solas\),-1974.aspx](http://www.imo.org/en/About/conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-safety-of-life-at-sea-(solas),-1974.aspx) [Hämtad 14 Sep. 2016].
- IMO, (2008). *REVISED GUIDELINES FOR THE APPROVAL OF FIXED AEROSOL FIRE-EXTINGUISHING SYSTEMS EQUIVALENT TO FIXED GAS FIRE-EXTINGUISHING SYSTEMS, AS REFERRED TO IN SOLAS 74, FOR MACHINERY SPACES*. London.
- Jacobson, E. (1996). *Powdered aerosols performance in various fire protection applications*. New Jersey: SPECTREX INC.
- J. Vitali, C. Kibert och J. Akers, *Pyrogenic aerosol fire suppressants: Engineering of delivery systems and corrosion analysis*, HOTWC 96, NMERI
- Kangedal, P., Hertzberg, T. and Arvidson, M. (2001). *Pyrotekniskt genererade aerosoler för brandsläckning - en litteraturstudie*. Borås: SP Brandteknik.
- Lindahl, M. (2006). *Mindre fartyg i kommersiell sjötrafik - Det svenska regelverket avseende fartygssäkerhet*. Stockholm: Juridiska Institutionen, Stockholm Universitet.
- Maritime and Coastguard Agency, (2004). *Small Vessels in Commercial Use for Sport or Pleasure, Workboats and Pilot Boats – Alternative Construction Standards*. Southampton: Department for transport.
- Oscarsson, C. (2016). Platsbesök SwedeShip Composite, Hunnebostrand.
- SFS 2003:778. *Lagen om skydd mot olyckor*. Stockholm: Justitiedepartementet

Sheehan, T. (2013). *Royal Canadian Navy Evaluation of Handheld Aerosol Extinguishers*. Waterloo: University of Waterloo.

Sjöfartsverket, (1970). SJÖFARTSVERKET'S MEDDELANDE. 1a uppl. Stockholm: Sjöfartsverket.

Sjöfartsverket, (1990). *Nordisk Båt Standard - Yrkesbåtar under 15 meter*. Norrköping: Nordisk Teknisk Arbetsgrupp.

Sjöfartsverket, (2016). *Sjöräddningsstatistik 2015*. [PDF] Sjöfartsverket. Tillgänglig via: <http://www.sjofartsverket.se/sv/Sjofart/Sjo--och-flygraddning/Administration/Statistik/> [Hämtad 31 Okt. 2016].

Sjofartsverket.se, (2016). *Sjö- och flygräddning*. [online] Tillgänglig via: <http://www.sjofartsverket.se/sv/Sjofart/Sjo--och-flygraddning/> [Hämtad 31 Okt. 2016].

Sjöräddningssällskapet. (2016). *Om oss | Sjöräddningssällskapet*. [online] Tillgänglig via: <https://www.sjoraddning.se/om-oss> [Hämtad 2 Dec. 2016].

Topic, A. (2015). *Evaluation of Handheld Aerosol Extinguishers with Respect to Toxicity and Corrosivity*. Waterloo: University of Waterloo.

Transportstyrelsen. (2016). *Sjöfart*. [online] Tillgänglig via: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/sjofart/> [Hämtad 8 Nov. 2016].

Trossen Nr 4. (2014). Sjöräddningssällskapet.

Qvarfäll, R. (2016). *SV: PGA i SSRS-båtar*. [email].

## Bilaga A – Försök

I denna bilaga presenteras kortfattat de försök som genomfördes samt grafer över vilka temperaturer som uppmättes.

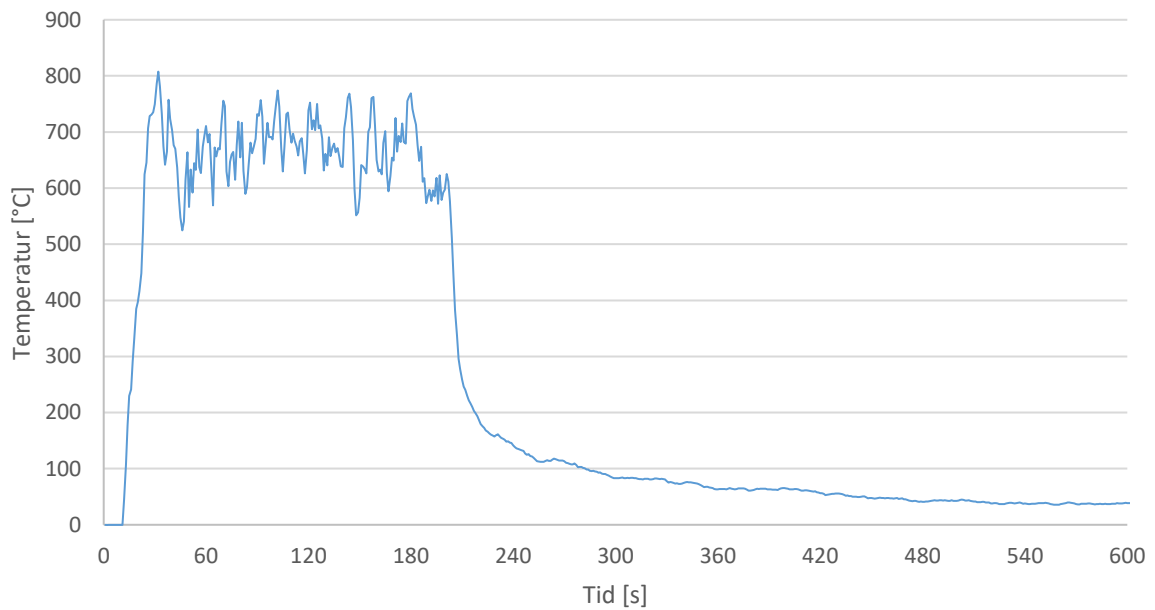
## Försök 1

### Försöksuppställning

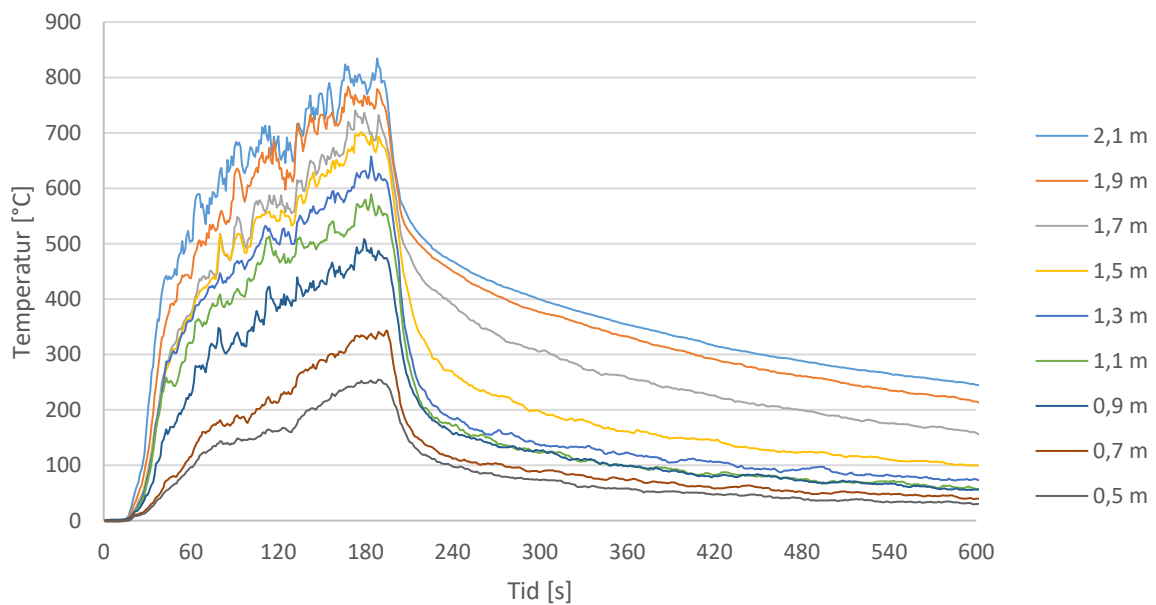
Storlek på bål	Mängd bränsle	Stora öppningen	Lilla öppningen
0,3 m <sup>2</sup>	Cirka 6 liter	Öppen	Stängd

### Resultat

#### Försök 1 - Bränslebål



#### Försök 1 - Termoträd



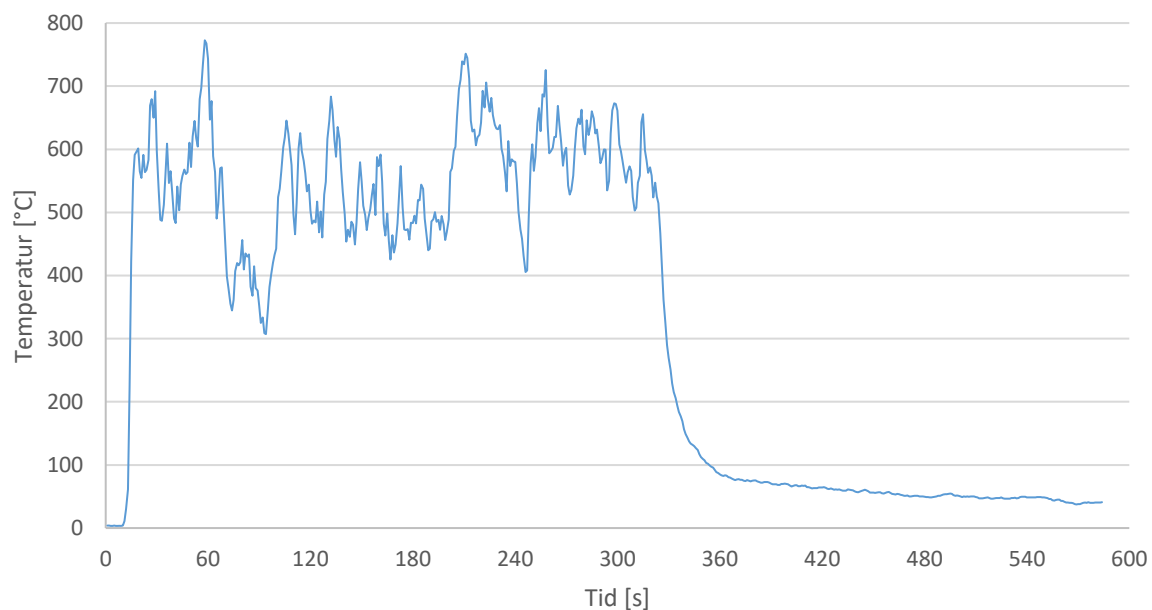
## Försök 2

### Försöksupställning

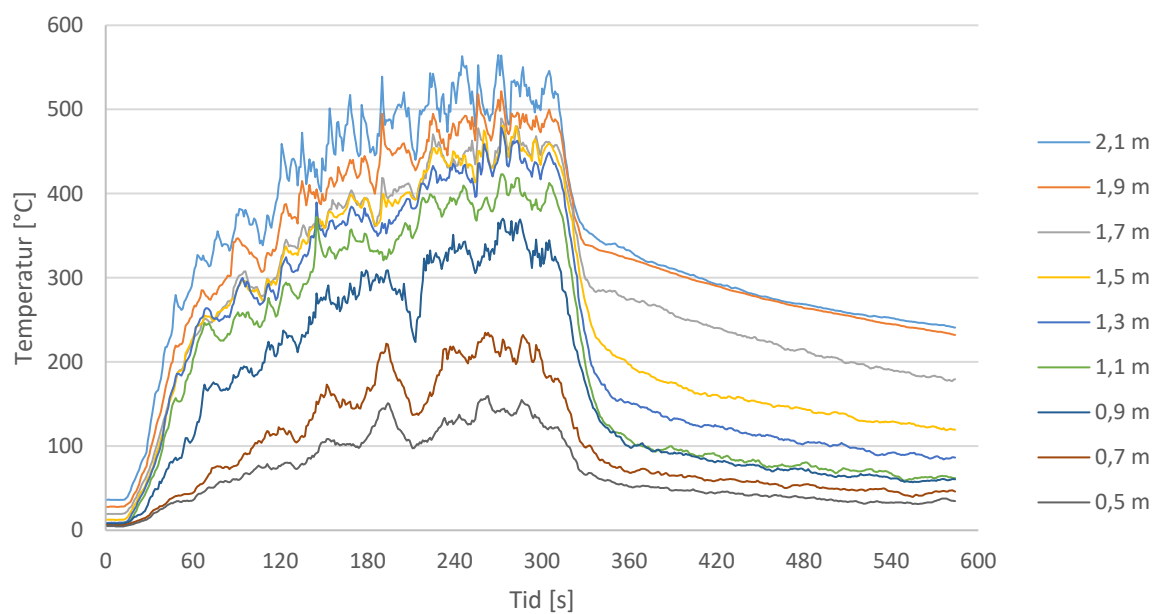
Storlek på bål	Mängd bränsle	Stora öppningen	Lilla öppningen
0,16 m <sup>2</sup>	Cirka 5 liter	Öppen	Stängd

### Resultat

#### Försök 2 - Bränslebål



#### Försök 2 - Termoträd



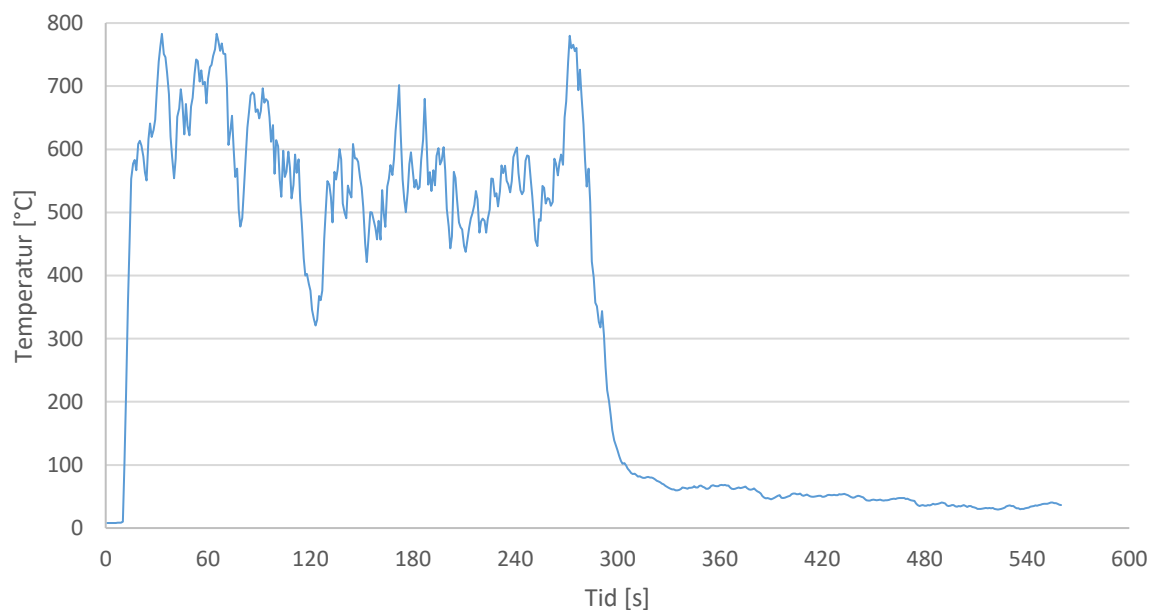
## Försök 3

### Försöksuppställning

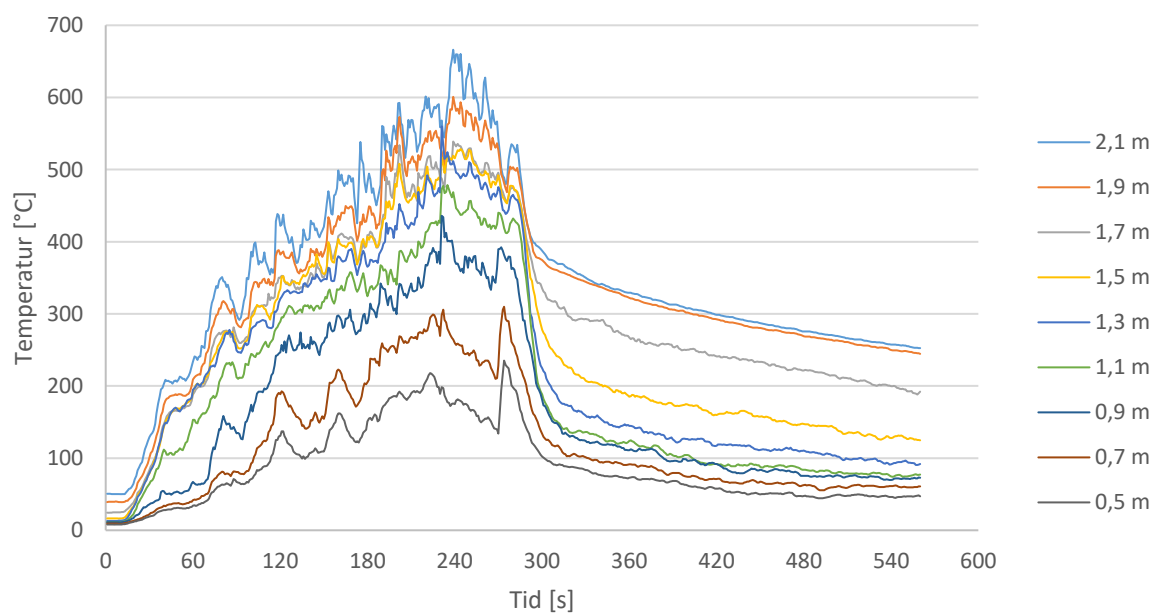
Storlek på bål	Mängd bränsle	Stora öppningen	Lilla öppningen
0,16 m <sup>2</sup>	Ca 5 liter	Öppen	Stängd

### Resultat

#### Försök 3 - Bränslebål



#### Försök 3 - Termoträd



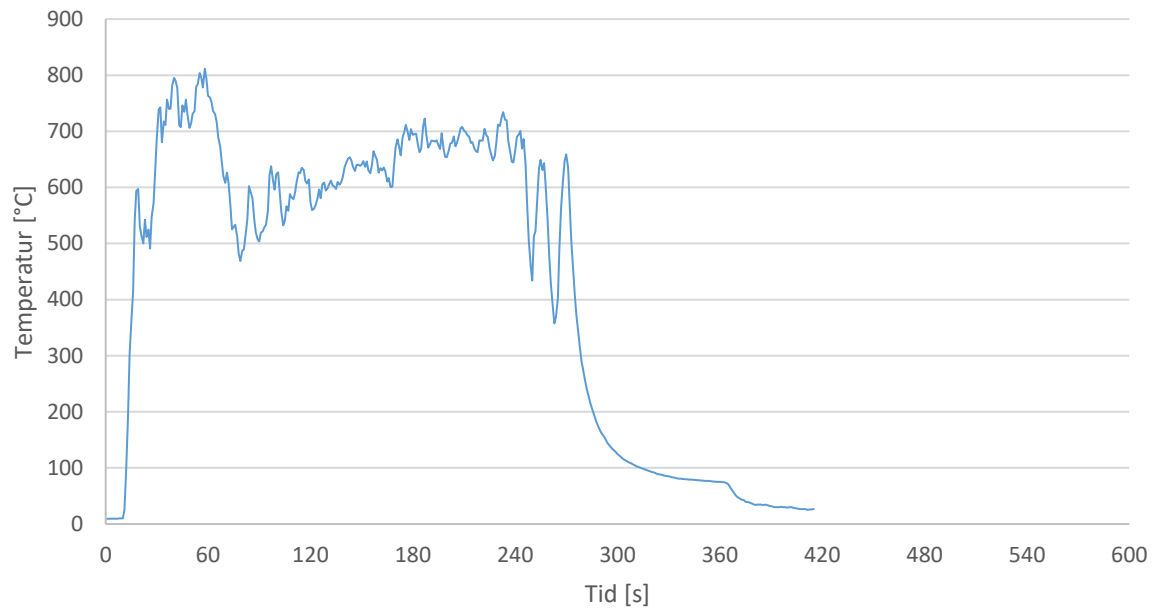
## Försök 4

### Försöksuppställning

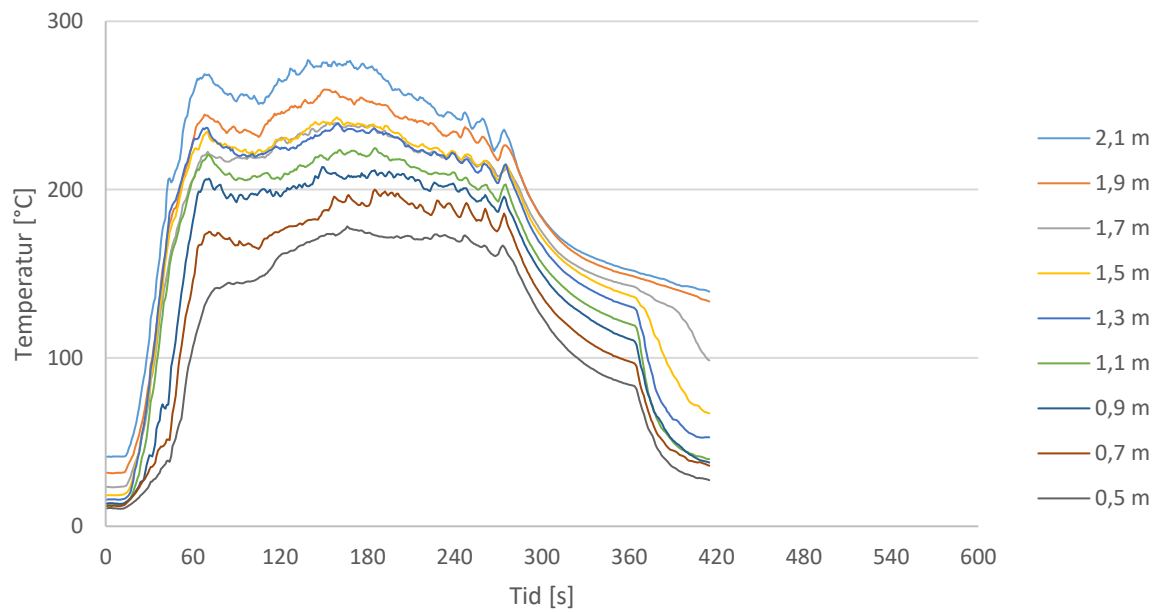
Storlek på bål	Mängd bränsle	Stora öppningen	Lilla öppningen
0,16 m <sup>2</sup>	1 liter	Stängdes efter 30 s	Stängdes efter 90 s

### Resultat

#### Försök 4 - Bränslebål



#### Försök 4 - Termoträd



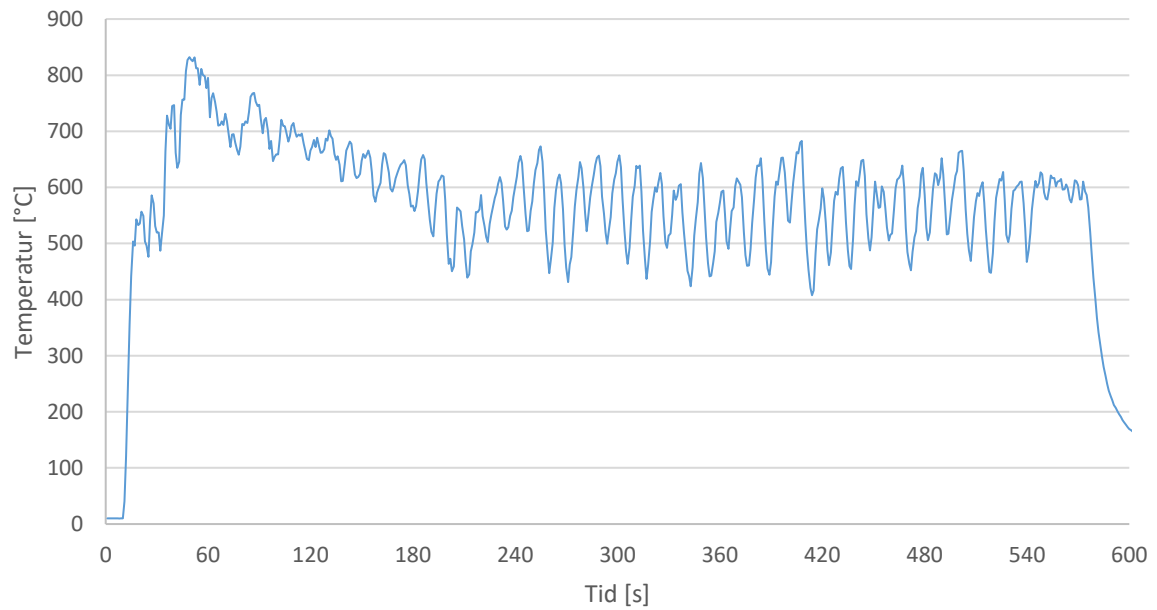
## Försök 5

### Försöksuppställning

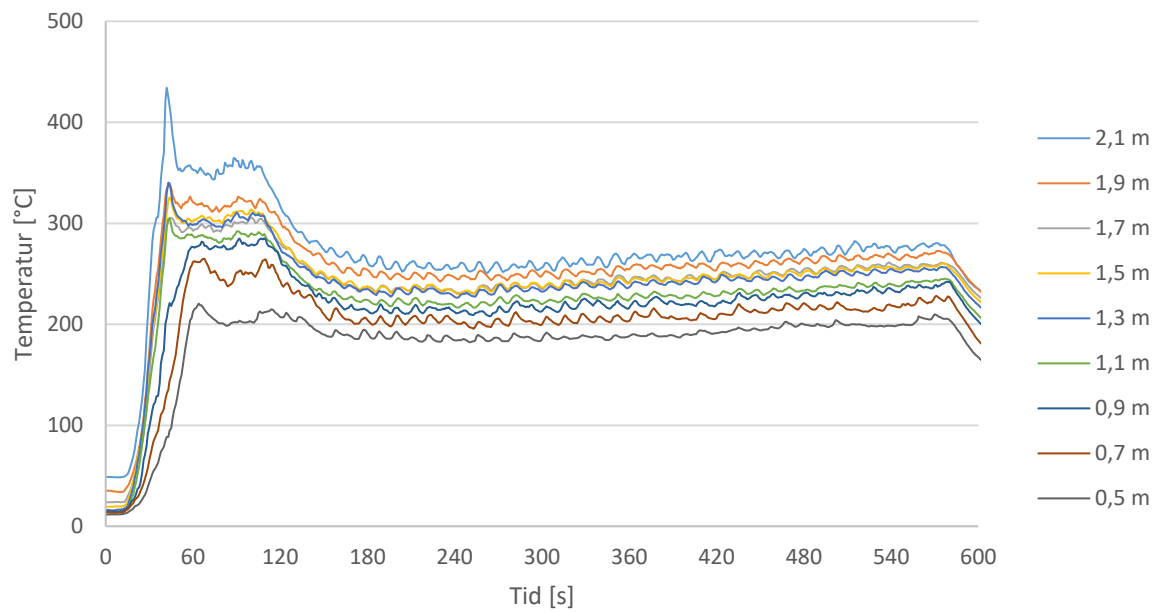
Storlek på bål	Mängd bränsle	Stora öppningen	Lilla öppningen
0,3 m <sup>2</sup>	2 liter	Stängdes efter 30 s	Stängdes efter 90 s

### Resultat

#### Försök 5 - Bränslebål



#### Försök 5 - Termoträd





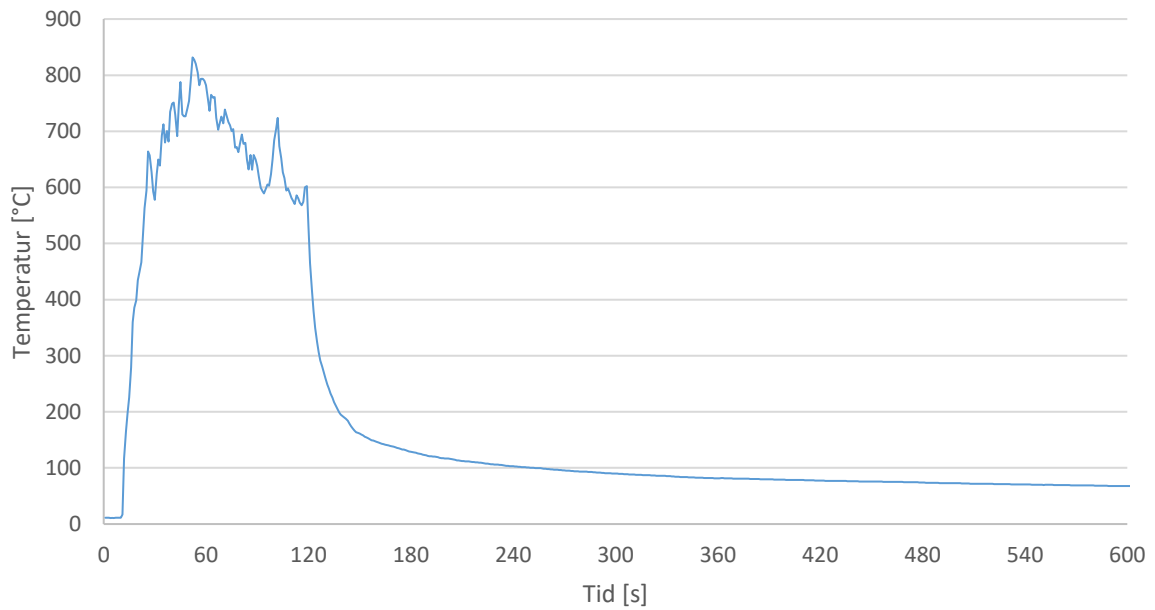
## Försök 6

### Försökupställning

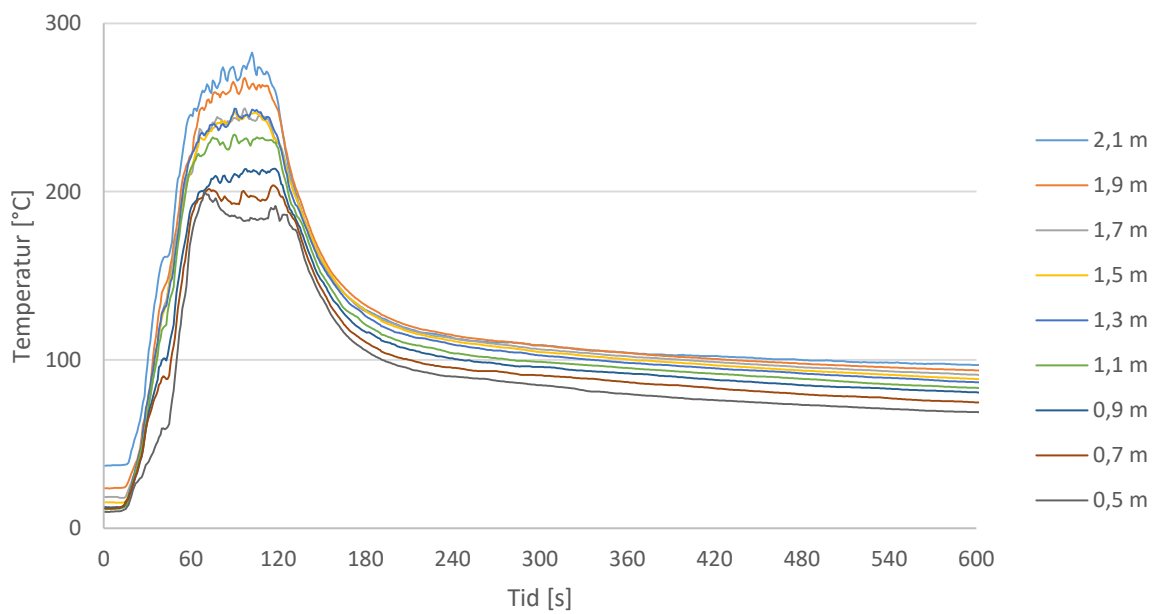
Storlek på bål	Mängd bränsle	Stora öppningen	Lilla öppningen
0,3 m <sup>2</sup>	2 liter	Stängdes efter 30 s	Stängdes efter 90 s

### Resultat

#### Försök 6 - Bränslebål



#### Försök 6 - Termoträd



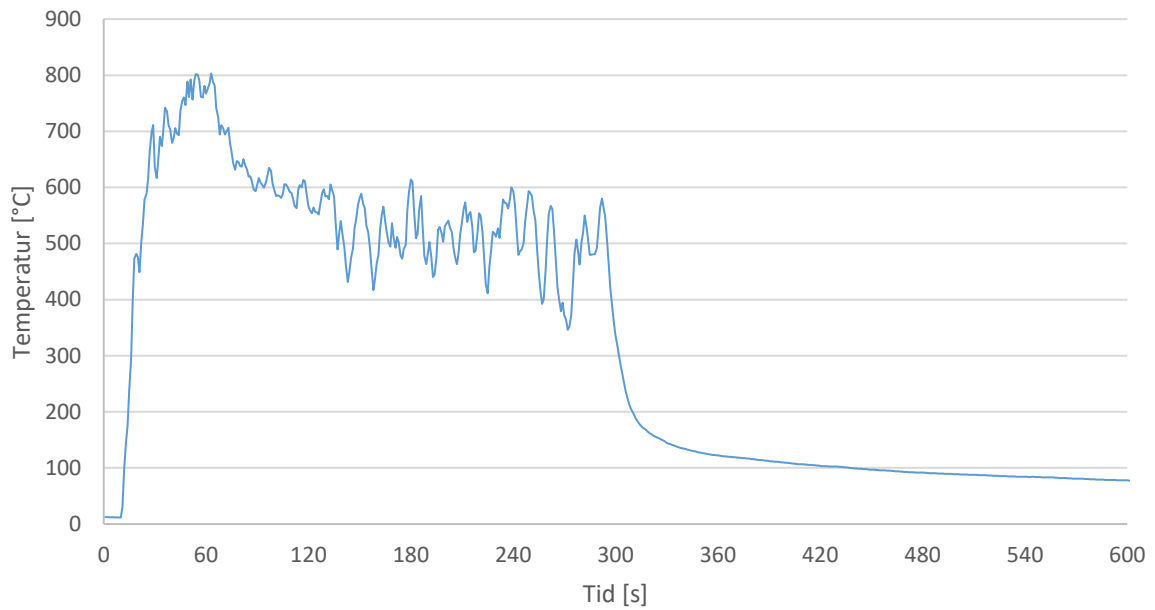
## Försök 7

### Försökuppställning

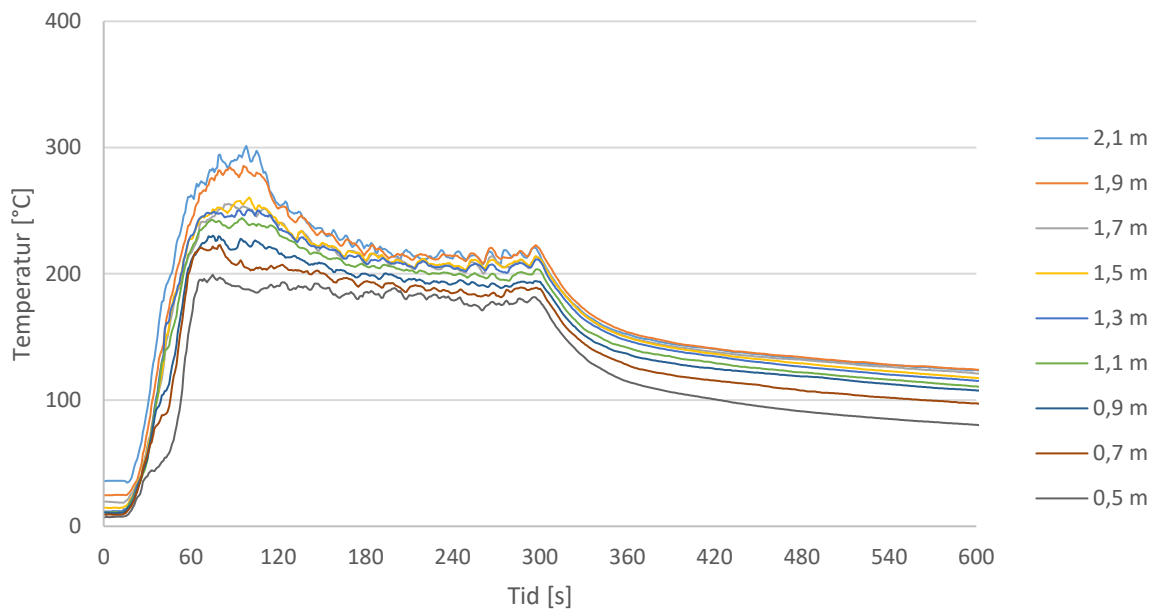
Storlek på bål	Mängd bränsle	Stora öppningen	Lilla öppningen
0,3 m <sup>2</sup>	2 liter	Stängdes efter 30 s	Stängdes efter 90 s

### Resultat

#### Försök 7 - Bränslebål



#### Försök 7 - Termoträd



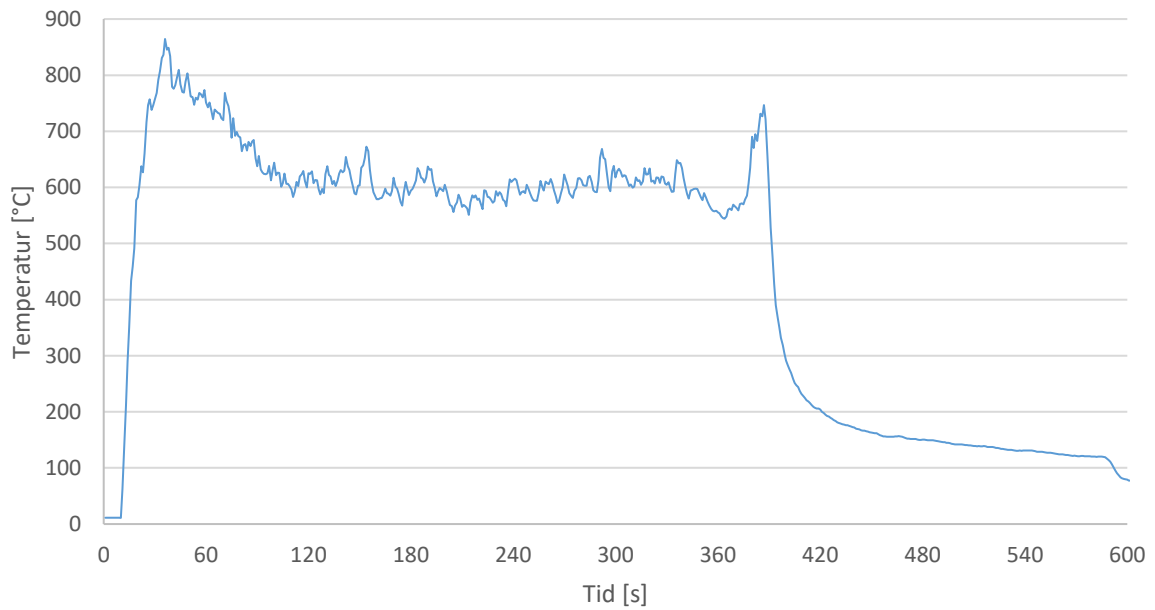
## Försök 8

### Försöksuppställning

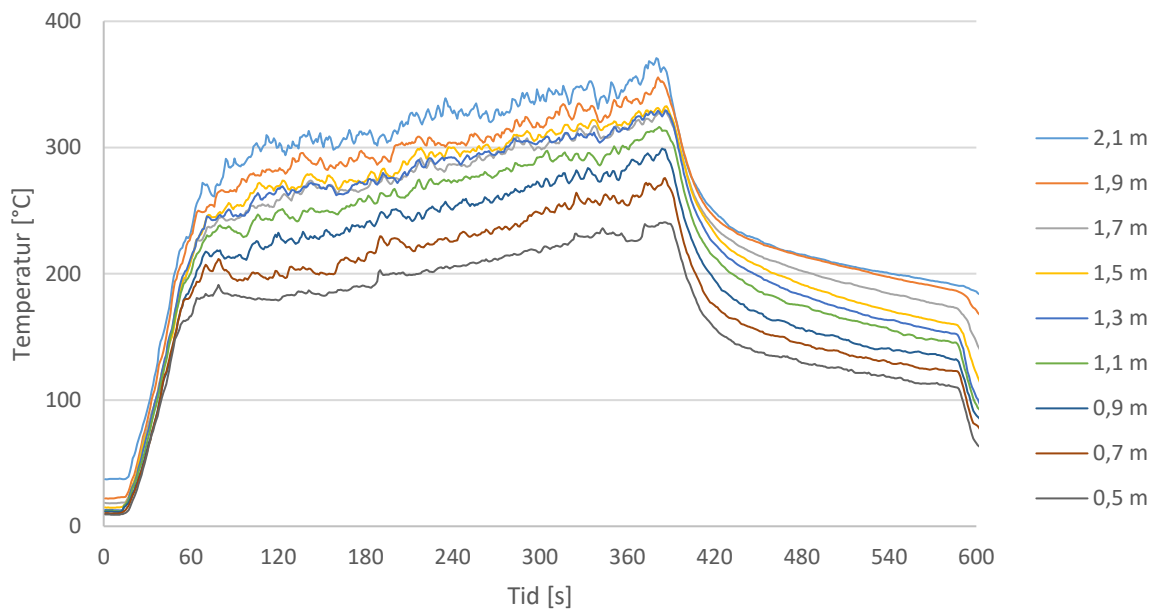
Storlek på bål	Mängd bränsle	Stora öppningen	Lilla öppningen
0,3 m <sup>2</sup>	2 liter	Stängd	Öppen

### Resultat

#### Försök 8 - Bränslebål



#### Försök 8 - Termoträd



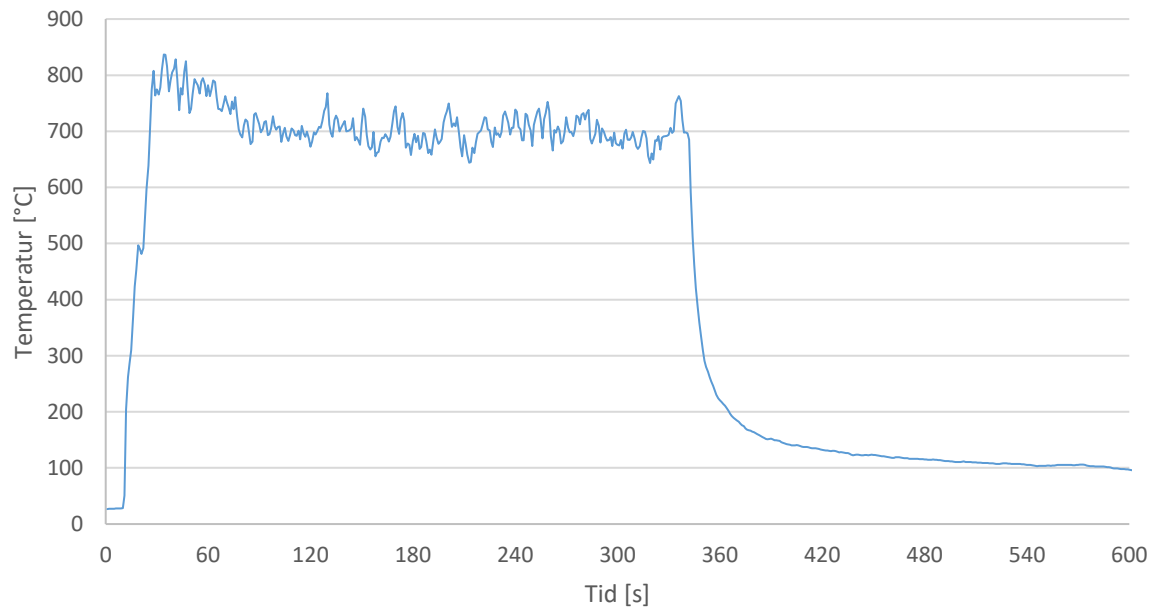
## Försök 9

### Försöksuppställning

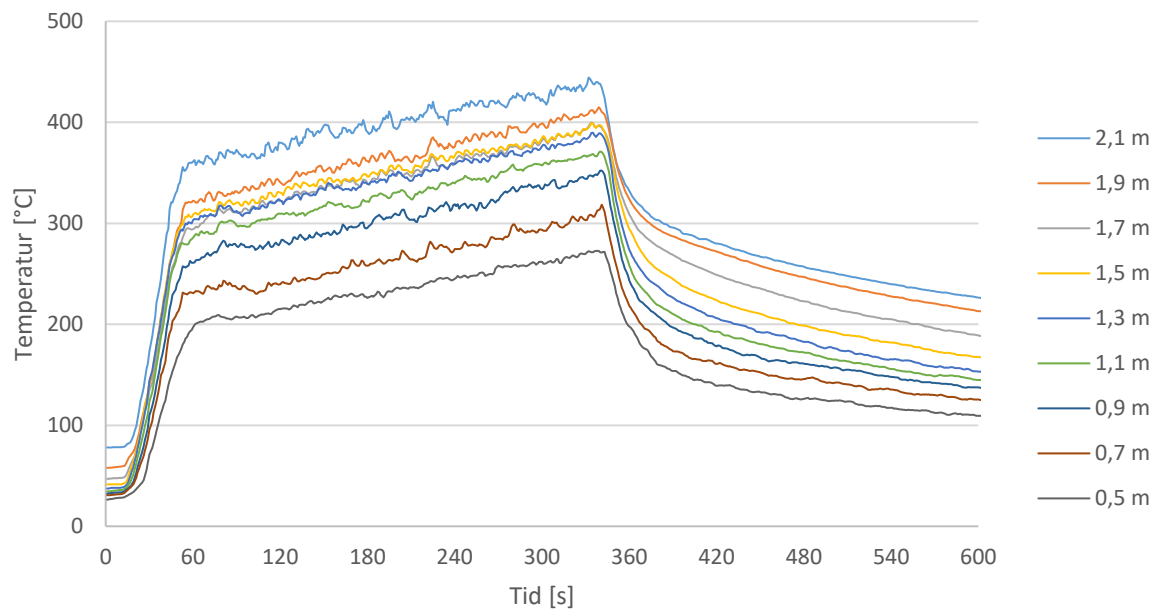
Storlek på bål	Mängd bränsle	Stora öppningen	Lilla öppningen
0,3 m <sup>2</sup>	2 liter	Stängd	Öppen (30 x 60 cm)

### Resultat

#### Försök 9 - Bränslebål




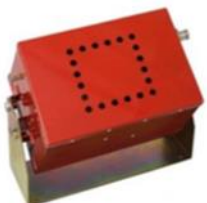

#### Försök 9 - Termoträd



## Bilaga B – Teknisk data för FP500 och FP1200

Nedan presenteras tekniskt data för de PGA-släckenheter som användes i försöken. Båda databladet är hämtade från FirePro (2015) manualen.

 <p><b>FP-500S</b></p>	TECHNICAL INFORMATION	
	Model	FP-500S
	Type	Cold
	Activation mechanism	thermal activation electrical (min.1.5VDC,min 0.8A in 3-4 sec)
	Activator type	heating element with 2.3 ohm resistance
	Current intensity to be tested	maximum 5 mA
	Weight gross	3340 g
	Weight net extinguishing agent	500 g
	Operational discharge time	5 - 10 seconds
	Discharge outlet	1
	Discharge length	2.5 m
	Size	295 mm x 84 mm (incl. connector housing)
	Self activation temperature	300 °C
	Fire class	A, B, C, F
	APPLICATIONS	
Rooms	server rooms, ceilings, floors	
Transport	car, lorry, bus, train, metro, tram	
Storage	cupboards, safes	
Large switch rooms	meter cupboards, control units	
Cabinets	electrical cabinets	
Transformers (large)	industry	

 <p><b>FPFP-1200/FP-1200S</b></p> 	TECHNICAL INFORMATION	
	Model	FP-1200/FP-1200S
	Type	Cold
	Activation mechanism	thermal activation electrical (min.1.5VDC,min 0.8A in 3-4 sec)
	Activator type	heating element 2.3 ohm resistance
	Current intensity to be tested	maximum 5 mA
	Weight gross	10900 g (excl bracket)
	Weight net extinguishing agent	1200 g
	Operational discharge time	10 -15 seconds
	Discharge outlet	1
	Discharge length	3.5 m
	Size	216 mm x 300 mm x 167 mm
	Fire class	A, B, C, F
	APPLICATIONS	
	Rooms	server rooms, computer rooms, central control rooms, various
Transport	shipping, train, aircraft	
Storage	store, archive	
Mechanical rooms	engine rooms, plant rooms	
Industry	various	