

Släckteknisk skillnad mellan mörkt och ljust släckpulver

Karl-Magnus Larsson

Brandteknik

Lunds Tekniska Högskola

Lunds Universitet

Fire Safety Engineering

Lund University

Sweden

Rapport 5578, Lund 2018

Examensarbete på Brandingenjörsutbildningen



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Släckteknisk skillnad mellan mörkt och ljust släckpulver

Karl-Magnus Larsson

Lund 2018

Titel

Släckteknisk skillnad mellan mörkt och ljus släckpulver

Title

Differences in extinguishing effect of darker and lighter extinguishing powders

Författare/Author

Karl-Magnus Larsson

Report 5578

ISRN: LUTVDG/TVBB--5578--SE

Antal sidor inklusive bilagor/Number of pages including appendixes: 51

Illustrationer/Illustrations: Författaren om inget annat anges / The author if nothing else is noted.

Sökord/Keywords

Släckpulver, Släckeffekt, ISO-9705, Pulversläckare / Extinguishing powder, Extinguishing effect, ISO-9705, Powder extinguisher

Abstract

The purpose of the work was to investigate whether an extinguishing powder with a darker color other than white has an increased extinguishing effect when extinguishing a fire in an enclosure. In the experiments conducted, a conventional extinguishing powder was tested against a carbon black-dyed extinguishing powder with nitrogen or air as a propellant. All other variables were kept the same. To further investigate the differences in extinguishing time, air was used as propellant.

At a predetermined temperature the extinguishing powder was blown into a third-scale ISO-9705 compartment containing a heptane pool-fire burning at approximately 110 kW. All attempts were filmed and time to extinguishing was measured.

The temperature was continuously measured in the flame and in one of the corners of the room. The results of the tests do not show any significant difference between the different extinguishing powders tested. However, the results indicate a slight statistical correlation that a colored powder seems to lead to a shorter extinguishing time than a conventional powder. In addition, the results suggest that minor differences between extinguishing times exist when air is used as propellant gas instead of nitrogen gas.

Future studies are suggested to include more similar tests to ensure the differences between the two powders. In addition, a standardized test for the measurement of extinguishing effect in actual conditions of various extinguishing media should be obtained.

© Copyright: Division of Fire Safety Engineering, Faculty of Engineering, Lund University, Lund 2018

Avdelningen för Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2018.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

www.brand.lth.se
Telefon: 046 - 222 73 60

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

www.brand.lth.se
Telephone: +46 46 222 73 60

Förord

Jag kom på idén att ett mörkt släckpulver borde vara effektivare än ett ljus redan första kursen på brandingenjörsprogrammet hösten 2015. Under tiden fram till examensarbetet har bara idén växt och växt i huvudet på mig. Tänk om jag sitter på någonting som ingen annan har testat. Under litteratursökningen i denna rapport fick jag veta att det tyvärr inte var så. Det var redan någon som hade testat min idé och det visade sig att personerna som testat ett mörkt släckpulver kom fram till att det var bättre än vanligt släckpulver. Jaja, tänkte jag, det är väl lika bra att se vad som gjorts och försöka undersöka det vidare. Det är det jag har gjort i denna rapport.

Jag har lärt mig mycket otroligt mycket under arbetets gång och vill tacka följande personer för deras ovärderliga hjälp under arbetets gång. Utan ert stöd hade rapporten aldrig blivit av.

Dan Madsen - Doktorand och Handledare - För utmärkt handledning och hjälp under försöken.

Bjarne Husted - Universitetslektor och Examinator - För din entusiasm över min idé och hjälp under arbetet.

Magnus Larsson - VD, Bergslagens Industriservice AB - För hjälp vid byggnation av ISO-rum och som ovärderligt bollplank med tekniska frågor under arbetets gång.

Thomas Sparring - VD, Dafo Brand AB - För generös sponsring med släckpulver.

Jenny Blom - Student, Bi15 - För korrekturläsning av rapporten samt stöd och hjälp under arbetets gång.

Jan-Olle Malm - Professor i oorganisk kemi - För vägledning i kristallstrukturer och förslag till hur man tillverkar ett mörkt släckpulver.

Conny Svensson - Universitetsadjunkt, Teknisk geologi - För lån av siktar.

Bengt Nilsson - Forskningsingenjör, Byggnadsmaterial LTH - För hjälp med malnings- och siktningsutrustning.

Patrick van Hees - Professor, Brandteknik LTH - För vägledning i uppstarten av arbetet.

Nils Johansson - Biträdande universitetslektor - För råd vid byggnation av ISO-rum.

Jan Blom - Mekaniker - För hjälp vid test av oljeduschspruta.

Oscar Larsson - Mekaniker - För hjälp med tekniska frågor avseende oljeduschsprutor.

Sammanfattning

Syftet med studien som beskrivs i denna rapport var att undersöka om ett släckpulver med en mörkare kulör än vitt har en ökad släckeffekt vid släckning av brand i ett rum. I försöket prövades konventionellt släckpulver mot ett kimröksblandat släckpulver med kvävgas som drivgas. Alla andra variabler än denna hölls detsamma. För att ytterligare undersöka skillnaderna i släcktid testades också luft som drivgas.

Under försöken påfördes vid en förutbestämd temperatur respektive släckpulver in i ett ISO-9705-rum i tredjedelsskala innehållande en pölbrand med en effektutveckling på cirka 110 kW. Samtliga försök videofilmades och tid till släckning uppmättes. Temperatur uppmättes kontinuerligt i flamman och i ett av hörnen i rummet.

Resultaten från försöken visar inte någon statistiskt säkerställd skillnad i släcktid mellan de olika släckpulvren som testades, däremot visar resultaten med 90-procentig säkerhet att ett mörkare släckpulver leder till en kortare släcktid än ett ljust pulver. Dessutom tyder resultaten på att mindre skillnader mellan släcktider föreligger när man istället för att ha kvävgas som drivgas använder luft.

Förslag till fortsatta studier omfattar bland annat fler liknande tester för att säkerställa effektivitetsskillnaden mellan ett mörkt och ett ljust pulver. Dessutom bör ett standardiserat test för mätning av släckeffekt hos olika släckmedel under verkliga förhållanden tas fram.

Nomenklaturlista

Beteckning	Namn	Enhet
A_0	Öppningsarea	m^2
A_f	Bränslearea	m^2
A_T	Area av väggar i rum	m^2
c_p	Specifik värmekapacitet	kJ/kgK
d_0	Skillnad mellan populationsvärden i nollhypotesen	g/s
D	Bränslekärldiameter	m
H_0	Höjd på öppning	m
h_k	Värmeöverföringskonstant för ytmaterial	$\text{kW/m}^2\text{K}$
k	Konduktivitet i material	$\text{kW/m}^*\text{K}$
$k\beta$	Bränslespecifik konstant	m^{-1}
\dot{m}''	Massavbrinning per areaenhet	$\text{kg/m}^2\text{s}$
\dot{m}''_{∞}	Bränslespecifik konstant för massavbrinning	$\text{kg/m}^2\text{s}$
\dot{m}_e	Massavbrinning släckmedel	kg/s
\dot{m}_f	Massavbrinning bränsle	kg/s
\dot{m}_g	Massflöde ut ur rummet	kg/s
n	Antal	st
n_1	Antal, prov 1	st
n_2	Antal, prov 2	st
\dot{Q}	Effekt	kW
\dot{Q}''_{cond}	Konduktivt värmeflöde från brand	kW/m^2
\dot{Q}''_{conv}	Konvektivt värmeflöde från brand	kW/m^2
\dot{Q}''_F	Värmeflöde från pölbrand	kW/m^2
\dot{Q}_{FO}	Effekt vid övertändning	kW
\dot{Q}''_{rad}	Strålningsvärmeflöde från brand	kW/m^2
\dot{q}_L	Värmeförluster till följd av luftombytebyte	kW
\dot{q}_{Loss}	Värmeförluster till omgivning	kW
REMP	Required Extinguishing Medium Portion	-
t_{obs}	Observerad testfunktion	-
t_{tab}	Tabellerat t-värde	-
T_a	Temperatur i icke-brandgasfylld del av brandrum	K
T_g	Temperatur på brandgaser	K
x	Uppmätt värde	s
\bar{x}	Medelvärde	s
δ	Diameter på material	m
ΔH_c	Förbränningsentalpi	kJ/kg
σ	Standardavvikelse	S
σ_p	Populationsstandardavvikelse	s
χ	Förbränningseffektivitet	-

Innehållsförteckning

1 - Inledning	1
1.1 - Bakgrund	1
1.2 - Syfte och mål	1
1.3 - Frågeställningar	1
1.4 - Avgränsningar och begränsningar	1
2 - Metod	3
3 - Teori	5
3.1 - Pölbränder	5
3.2 - Rumsbränder	5
3.3 - Släckpulver	6
3.3.1 - Allmänt om släckpulver	6
3.3.2 - Typer av släckpulver	6
3.3.3 - Släckverkan hos släckpulver	7
3.3.4 - Släckverkan hos ammoniumdivätefosfat	7
3.4 - Tillgängliga testmetoder för utvärdering av släckeffekt	8
3.4.1 - REMP-värdestest	8
3.4.2 - Ballistiskt brandskyddpanelstest	9
3.4.3 - ISO-rumtest	9
3.4.4 - Test i tredjedelsrum	10
3.5 - Kimrök	11
3.6 - Hypotesprövning	11
4 - Val av testmetod	13
4.1 - Försöksplats	13
4.2 - Typ av brand	14
4.3 - Släckpulver och färgning	14
4.4 - Släckmedelspåföring	15
4.5 - Statistiskt säkerställande av resultat	17
4.6 - Repeterbarhetsåtgärder	17
4.7 - Risk- och miljökonsekvensminimering	18
5 - Resultat	19
5.1 - Uppmätta tider till släckning med kvävgas som drivgas	19
5.2 - Uppmätta tider till släckning med luft som drivgas	20
5.3 - Uppmätta tider till släckning med mörkt respektive ljus pulver oavsett drivgas	20
5.4 - Uppmätta tider till släckning med kvävgas och luft oavsett pulverkulör	21
5.5 - Massavbrinning av heptan under försöken	22
5.6 - Temperatur vid påbörjande av släckmedelspåföring	23

5.7 - Inertering med ren kvävgas.....	24
5.8 - Beräknade släcktider vid justerad släcktid	24
6 - Diskussion.....	27
6.1 - Allmän diskussion om pulversläckmedel.....	27
6.2 - Diskussion om tillgängliga testmetoder	27
6.3 - Diskussion om vald testmetod.....	27
6.4 - Diskussion om resultat och felkällor.....	28
7 - Slutsats.....	31
8 - Behov av vidare forskning	33
Referenser.....	35
Bilaga A.....	37
Bilaga B.....	41
Bilaga C.....	45
Bilaga D.....	49
Bilaga E.....	51

1 - Inledning

1.1 - Bakgrund

Släckpulver är enligt (Särdqvist, 2013) det släckmedel som har den största släckkapaciteten per vikt. Släckpulver är också det mest mångsidiga av alla de konventionella släckmedlen, då det kan användas i fibrösa, vätskeformiga samt i gasbränder.

Pulversläckaren är enligt (Giftinformationscentralen, 2018) den vanligaste brandsläckaren i de svenska hemmen och det rekommenderas att alla hushåll har minst en pulversläckare med 6 kg släckmedel. (Brandskyddsföreningen, 2018)

Vid användning av pulversläckare vid brand rekommenderas enligt (MSB, 2017) påföring mot lågornas bas för att få en så bra släckeffekt som möjligt. Vid påföring av pulversläckmedel i rum brukar emellertid stora mängder enligt (Lund, 2018) ej träffa flammorna, utan finfördelas i rummet och ej vara aktivt i släckprocessen. Försök av (Bennett, 2006) visar att ett modifierat släckpulver med en mörkare kulör än konventionellt släckpulver uppvisar förbättrade släckegenskaper.

För att ytterligare förbättra släckeffekten hos konventionellt släckpulver bör därför fenomenet att ett släckpulver med en mörkare kulör undersökas vidare.

1.2 - Syfte och mål

Syftet med rapporten är att grundligt undersöka pulver som släckmedel, undersöka teori om släckverkan samt framarbete ett underlag för att kreditera testmetod som ska användas för utvärderingen av olika kulörer på släckpulver. Vidare skall det undersökas huruvida användningen av ett mörkare släckpulver i ett standardiserat brandrum påverkar släcktid, temperatur i rummet samt övriga parametrar jämfört med ett vanligt, ljust släckpulver.

Målet är att grundligt utvärdera om det finns en signifikant skillnad mellan ett mörkt respektive ljust släckpulver.

1.3 - Frågeställningar

Hypotesen som ska provas är huruvida ett mörkt släckpulver är mer effektivt än ett ljust släckpulver.

Ytterligare frågeställningar som ska undersökas i rapporten är:

- Vilka liknande tester har gjorts tidigare?
- Går det att göra ett släckpulver mörkare? I så fall i vilken kulör? Hur ändrar man kulör på släckpulvret?
- Hur ska skillnaderna i släckeffekten mellan det mörkare och ljusa släckpulvret fastställas?

1.4 - Avgränsningar och begränsningar

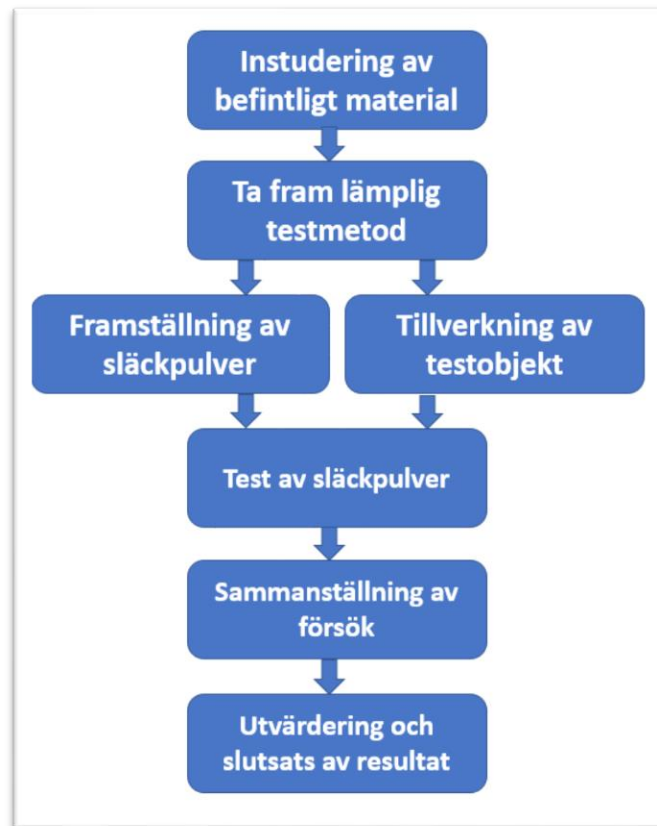
Arbetet avgränsades till att enbart behandla släckeffekten hos ammoniumdivätefosfat. Andra pulversläcksorter behandlades ej.

Test av effektivitet avgränsas ljust och mörkt släckpulver. Det mörka släckpulvret utgörs av ljust släckpulver uppblandat med 10 % kimirök.

Släckpulvrens släckeffekt testades endast i ett standardiserat ISO-rum i tredjedelsskala med en släckningsprocedur.

2 - Metod

En metod för att strukturera arbetet och dela in det i olika delar togs fram, se Figur 1.



Figur 1. Metod - Steg för steg.

Arbetet påbörjades med en omfattande litteraturstudie för att teoretiskt förankra huruvida det är möjligt att tillverka ett släckpulver som har en annan kulör än ljust. Därefter undersöktes vad för- och nackdelarna med ett mörkt släckpulver kontra ett ljust teoretiskt var.

En lämplig testmetod togs fram och lämpligt testobjekt byggdes i form av ett ISO-9705-rum i tredjedelsskala.

Vidare färgades släckpulver genom upplösning-avdunstning-kristallisering samt genom blandning. Slutligen valdes ett pulver med en mörk kulör samt en ljus ut för att testas mot varandra.

Därefter testades flertalet släckpåföringsmetoder. Slutligen valdes släckpåföringen ske med en oljeduschspruta enligt (Biltema, 2015) med luft respektive kvävgas som drivgas.

Etablering av försöksuppställning utfördes och tiden till släckning av en heptanbrand i rummet undersöktes för respektive släckpulver med luft och kväve som drivgas.

Avslutningsvis sammanställdes och utvärderades resultaten från testen och en rapport färdigställdes. Funderingar kring framtida forskningsbehov ingick också i denna fas.

3 - Teori

I följande avsnitt behandlas teorin som krävs för att kunna ställa upp test av de släckmedel som avsågs prövas. I teoriavsnittet beskrivs också de existerande testmetoderna som tidigare använts för att testa släckmedels effektivitet mot varandra.

3.1 - Pölbränder

Pölbränder med en bestämd diameter brinner enligt (Drysdale, 2011, p. 166) med en konstant massavbrinning, vilket leder till en konstant effekt från pölbranden. Effekten från en pölbrand beräknas enligt Ekvation 1.

$$\dot{Q} = A_f \dot{m}'' \chi \Delta H_c \quad \text{Ekvation 1}$$

Enligt (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 31) brinner alkoholer med en knappt synlig flamma. Det indikerar att väldigt lite sot produceras, vilket betyder att förbränningseffektiviteten i branden är nära 100 %. För bränslen som producerar mycket sot vid förbränning, exempelvis vid brand i olika kolväten, produceras mycket sot och förbränningseffektiviteten är lägre, normalt mellan 60 - 70 %.

Enligt (Drysdale, 2011, pp. 183-184) kan värmetransporten från flaman vid en pölbrand beskrivas med Ekvation 2.

$$\dot{Q}_F'' = \dot{Q}_{cond}'' + \dot{Q}_{conv}'' + \dot{Q}_{rad}'' \quad \text{Ekvation 2}$$

Enligt (Drysdale, 2011, p. 184) kan den konduktiva värmetransporten vid pölbränder försummas, vilket leder till Ekvation 2 vid större pölbränder kan skrivas om som Ekvation 3.

$$\dot{Q}_F'' = \dot{Q}_{conv}'' + \dot{Q}_{rad}'' \quad \text{Ekvation 3}$$

Strålningsdelen av värmetransporten från en pölbrand brukar enligt (Drysdale, 2011, p. 166) ofta antas till att vara 30 % av all värmetransport. Tester utförda av (Koseki & Hayasaka, 1989) visar att 30 % av värmetransporterna för heptanbränder sker via strålning. Enligt (Drysdale, 2011, p. 59) emitterar en sotande flamma förutom synligt ljus också infraröd strålning till sin omgivning.

3.2 - Rumsbränder

Den totala effektutvecklingen i ett brandrum kan enligt (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 118) beskrivas med Ekvation 4.

$$\dot{Q} = \dot{m}_g c_p (T_g - T_a) + \dot{q}_{Loss} \quad \text{Ekvation 4}$$

För att bestämma effekten hos en brand i ett övertänt rum används enligt (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 125) Ekvation 5. Ekvationen förutsätter att övertändning sker vid en temperatur i brandgaslagret på 500–600 °C samt att värmeöverföringen genom väggar, tak och golv är stationär.

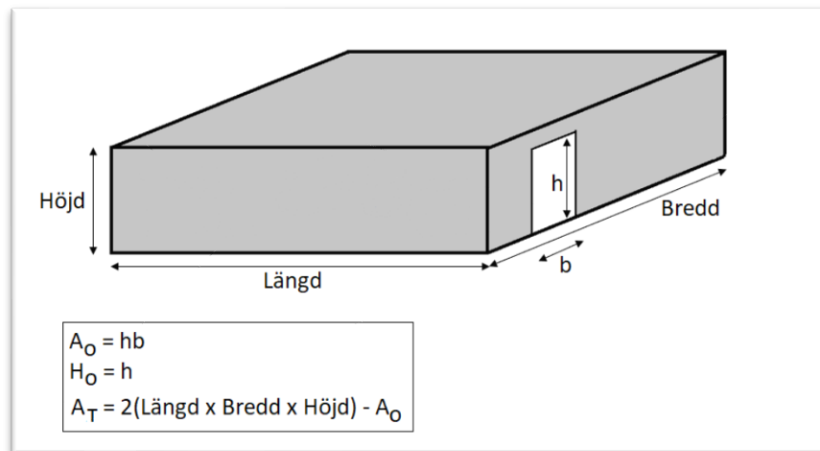
$$\dot{Q}_{FO} = 610(h_k A_T A_0 \sqrt{H_0})^{1/2} \quad \text{Ekvation 5}$$

h_k , värmeöverföringskonstanten för vägg-, tak- och golvmaterialet i rummet bestäms i tunna termiskt konduktivt enkelt genomträngbara väggar enligt (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 121) med Ekvation 6.

$$h_k = \frac{k}{\delta}$$

Ekvation 6

Öppningsarea, dörrhöjd och total omgivningsarea bestäms med hjälp av Figur 2.



Figur 2. Beräkning av värden för brandrum (Illustration efter förlaga av Karlsson & Quintiere 2000 p. 129)

3.3 - Släckpulver

I följande avsnitt behandlas släckpulver och dess egenskaper.

3.3.1 - Allmänt om släckpulver

Definitionen av ett släckpulver är enligt (Särdqvist, 2013, p. 246), alla släckmedel som vid påförandet i branden är i fast form. Det finns idag en uppsjö olika pulver som är ämnade som släckpulver. Gemensamt för de allra flesta är att de består av olika salter. I följande avsnitt beskrivs egenskaperna hos de olika släckpulver som idag finns på marknaden.

3.3.2 - Typer av släckpulver

Enligt (Särdqvist, 2013, pp. 246-247) finns det ett stort antal olika salter som fungerar som släckpulver. Vanligen består släckpulvret av en positiv jon, exempelvis ammonium, kalium, natrium, samt en negativ. Den negativa jonen består oftast av en divätefosfat-, sulfat-, vätekarbonat eller kloridjon.

Det vanligaste saltet i konventionella pulverbrandsläckare är enligt (Särdqvist, 2013, p. 247) ammoniumdivätefosfat, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, men det finns ett stort antal andra salter som släckpulver. Ofta används blandningar av olika salter för att få ett så effektivt släckmedel som möjligt.

De pulversorter som finns delas in i ABC, BC, eller D-släckpulver. ABC-släckpulver släcker fibrösa, vätske- och gasbränder. BC-släckpulver släcker vätske- och gasbränder medan D-släckpulver släcker metallbränder.

Förutom olika salter används också sand som pulversläckmedel. Sand används endast som släckmedel till metallbränder.

Exempel på släckpulver visas i Tabell 1.

Tabell 1. Olika pulversorter (Reproducerat från Särdaqvist, 2013, p 246)

Namn	Kemisk beteckning	Pulvertyp
Ammoniumdivätefosfat	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	ABC
Diammoniumsulfat	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	ABC
Kaliumvätekarbonat	KHCO_3	BC
Kaliumklorid	KCl	BC
Dikaliumsulfat	K_2SO_4	BC
Natriumvätekarbonat	NaHCO_3	BC
Kalciumkarbonat	CaCO_3	BC
Dikaliumkarbonat + urea	$\text{K}_2\text{CO}_3 + \text{Urea}$	BC
Sand	-	D

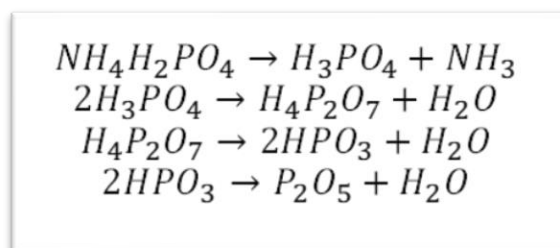
3.3.3 - Släckverkan hos släckpulver

Genom att finmala släckpulvret till så små korn som möjligt, i princip alltid till mindre kornstorlek än 0,35 mm erhålls en större total mantelarea på kornen så att energin från branden effektivare överförs till släckpulvret. Energin från branden tas upp av pulverkornen genom konvektion och strålning. När de når en viss temperatur sönderfaller vissa pulversorter, till exempel till natriumhydroxid, vilket sedan med ytterligare upptagande av energi leder till att ämnet förångas och på så vis tar mycket energi från branden. Andra pulversorter sönderdelas inte, utan smälter och kokar och tar genom aggregationstillståndsändring och uppvärmning energi från branden.

För ABC-släckpulver, det vill säga släckpulver som kan släcka fibrösa-, vätske- och gasbränder, erhålls vid rumsbränder enligt (Särdaqvist, 2013, pp. 252-253) effekter som liknar släckning med vatten, det vill säga att pulvret interagerar med bränsleytan på bränslet och med brandgaserna i rummet. När pulvret når bränsleytan smälter pulverkornen samman och bildar ett ytskikt på bränsleytan som hindrar värmetransport och transport av pyrolysgaser från bränslet.

3.3.4 - Släckverkan hos ammoniumdivätefosfat

Enligt (Särdaqvist, 2013, pp. 252-253) är ammoniumdivätefosfat ett ABC-släckpulver, där fosfatet när det värms upp övergår till fosforsyra. Enligt (Abdel-Kader, et al., 1991) övergår ammoniumdivätefosfat vid uppvärmning även till ammoniak. Enligt (Su, et al., 2014) genomgår sedan fosforsyran flertalet termiska sönderdelningar till det slutligen kokar ämnet fosforpentoxid samt vatten, se Figur 3. Förutom detta bildas vid förbränning av ämnet enligt (Särdaqvist, 2013, p. 252) också koldioxid.



Figur 3. Förbränningsprodukter av ammoniumdivätefosfat.

Ammoniumdivätefosfats förmåga att absorbera strålning är enligt (Abdel-Kader, et al., 1991) beroende av vilken temperatur pulvret har. Ju högre temperatur på pulvret, desto sämre absorptionsförmåga. För olika våglängder i det infraröda spektrat har ammoniumdivätefosfat relativt konstant absorptionsförmåga.

3.4 - Tillgängliga testmetoder för utvärdering av släckeffekt

I följande avsnitt behandlas befintliga testmetoder för utvärdering av släckeffekt hos olika släckmedel.

3.4.1 - REMP-värdestest

För att jämföra ett släckmedels förmåga att släcka en brand används konceptet REMP-värde, Required Extinguishing Medium Portion. Förhållandet mellan massflödet av släckmedel och massflödet av bränsle jämförs och beräknas genom Ekvation 7. Några typiska värden för REMP-värde hos vanliga släckmedel redovisas i Tabell 2.

$$REMP = \frac{\dot{m}_e}{\dot{m}_f} \quad \text{Ekvation 7}$$

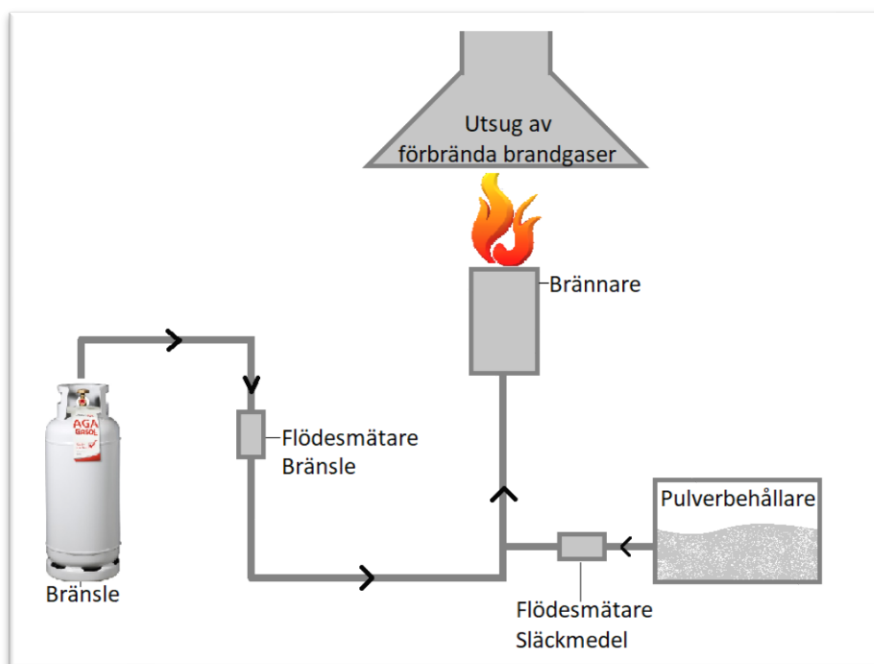
Tabell 2. Typiska REMP-värden för olika släckmedel (Reproducerat från Särdaqvist, 2013, p. 295)

Släckmedel	REMP-värde
Pulver	1–4
Vattendimma	2–40*
Inertgaser	10–12
Haloner	4–5

* Varierar kraftigt med droppstorleken.

Som avläses i Tabell 2 är pulver det effektivaste släckmedlet i förhållande till vikt bland de konventionella släckmedlen. Enligt (Särdaqvist, 2013) beror REMP-värdet hos pulversläckmedel på kornstorleken.

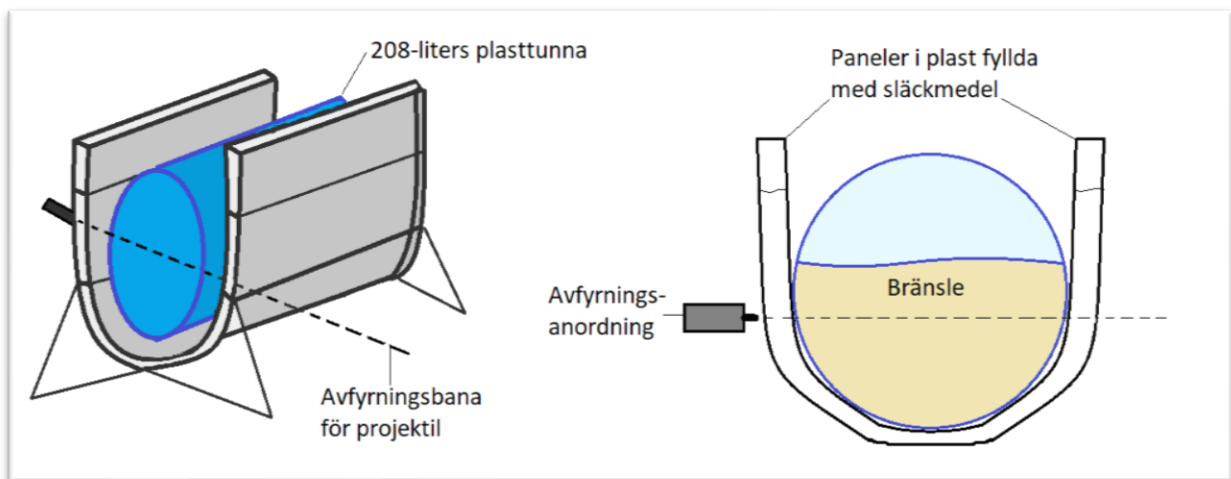
REMP-värdet bestäms enligt (Andersson, et al., 1996) genom att ett konstant flöde av gasformigt bränsle, normalt propan, förbränns i en brännare under en brandgashuv. Massflödet av släckmedel ökas stegvis till systemet tills flaman slocknar. Försöksuppställningen vid REMP-värdestest beskrivs i Figur 4.



Figur 4. Beskrivning av REMP-test (Illustration efter förlaga från Särdaqvist, 2013, p. 291)

3.4.2 - Ballistiskt brandskyddpanelstest

Ett annat test som det brittiska försvarsministeriet på 1970-talet enligt (Bennett & Skaggs, 2005) utvecklade för att utvärdera släckpulvers släckeffekt är ett ballistiskt brandskyddpanelstest. Där fylls en 208-liters plasttunna med cirka 98 liter fotogen uppvärmt till elva grader över flampunkten för bränslet, cirka 60 °C, för att sedan beskjutas med en projektil. Vid avfyrning antänds fotogenet i tunnan. Plasttunnan och bränslet omges med en U-format panel fylld med bestämda mängder släckpulver, vanligen 15–35 kg. Vid beskjutning av projektilen sprängs platen i panelen och släckmedlet begränsar eller släcker branden. För illustration av uppställningen, se Figur 5.



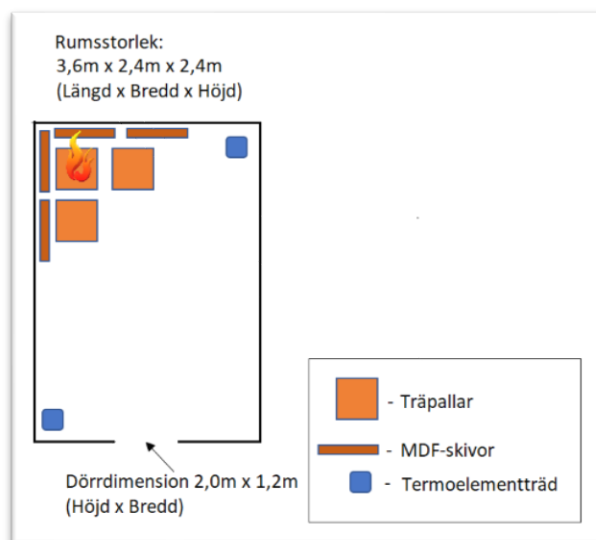
Figur 5. Uppställning Ballistiskt brandskyddpanelstest (Till vänster: Vybild, Till höger: Genomskärning)

Tiden från antändning av bränslet till flammorna helt slocknat jämförs för olika mängder släckmedel i den U-formade panelen jämförs.

Försök gjorda av (Bennett & Skaggs, 2005) visar att brinntiden för bränslet vid användande av ett mörkt släckpulver, så kallat "Black-Widow-pulver", istället för ett högpresterande kaliumvätekarbonatbaserat släckpulver är 59 % kortare.

3.4.3 - ISO-rumtest

Försök att jämföra olika släckmedels släcktekniska förmåga utfördes i tester av (Dunn, 1998). I testerna eldades fibrösa material i hörnet av ett modifierat ISO-9705-rum enligt (ISO 9705-1, 2016) enligt Figur 6.



Figur 6. Översikt ISO-9705-rumtest (Dörrbredd ökad från 0,8 m till 1,2 m)

Under testerna jämfördes släckeffekten hos följande släcksystem:

- Vatten under högtryck (droppstorlek < 0,3 mm)
- CAFS (Compressed air foam)
- Skum

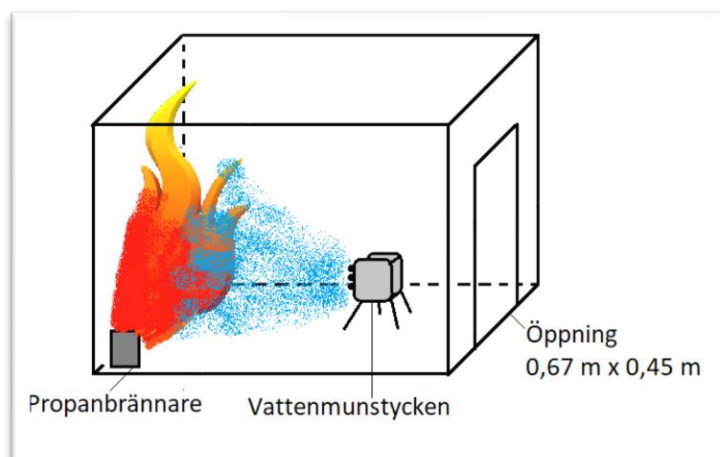
Efter övertändning i rummet skickades två brandmän in för att släcka elden med aktuellt släckmedel. Försöken återupprepades sedan med de släckmedlen och olika parametrar jämfördes. Parametrarna som jämfördes mellan de olika släckmedlen var:

- Effektutveckling i rummet
- Massutflödet gaser från rummet
- Temperatur på brandgaser från brandrummet i dörröppningen
- Rumstemperaturer på olika höjder i rummet
- Omgivningstemperatur- och vind

3.4.4 - Test i tredjedelsrum

Försök att bestämma vattendimmas släckeffekt utfördes tester i ett rum i tredjedelsskala av (Andersson, et al., 1996).

I försöket lät (Andersson, et al., 1996) åtta eller tolv vattenmunstycken spraya finfördelat vatten i tredjedelsrummet med olika tryck. En propanbrännare tändes med en effekt på cirka 50 kW antingen mot en vägg eller mot ett hörn i rummet. Propanbrännarens effekt sänktes stegvis till flammen slocknade. För försöksupställning, se Figur 7.



Figur 7. Försöksuppställning tredjedelsskala (Längd x Bredd x Höjd = 1,08 m x 0,76 m x 0,79 m)

Försöken visade att:

- Test i tredjedelsskala är jämförbart med REMP-test för vattendimma.
- När vattendimman påförs i en högre position slocknar branden enklare.
- Nästan ingen skillnad i effekt sker innan flammen helt slocknar.
- Två identiska tester visar inte upp någon signifikant skillnad i tid till släckning av flammen.

3.5 - Kimrök

Kimrök, eller sot, är enligt (Wang, 2015) ett kolbaserat ämne som bildas vid förbränning av kolbaserade ämnen. Kimrök har enligt (Gupta, 2018) används i tusentals år som färgämne i färg och används idag också bland annat som fyllnadsmedel i bildäck och plaster.

Enligt (Birla Carbon, 2017) kan kimrök brinna eller glöda i temperaturer över 300 °C. Då bildas kolmonoxid, koldioxid, svaveldioxider och organiska produkter. Kimrök är även klassificerat som ett brännbart damm och kan skapa dammgasexplosioner vid koncentrationer över 50g/m³.

Kimrök har enligt (Donnet, et al., 1993) med sin mörka kulör mycket god absorptionsförmåga och har en tendens att absorbera det mesta av strålningen i det synliga spektrat. Även i det infraröda spektrat absorberar kimrök enligt (Rositani, et al., 1987) och (Wang, 2015) IR-ljus mycket väl.

3.6 - Hypotesprövning

Enligt (Körner & Wahlgren, 2006) kan resultat med olika medelvärde och standardavvikelser testas mot varandra genom att genomföra en klassisk hypotesprövning. Vid hypotesprövning formuleras en nollhypotes och ett alternativ till denna, en så kallad mothypotes. Prövningen leder till att man antingen förkastar eller inte förkastar nollhypotesen. Om nollhypotesen inte förkastas accepterar man den.

Vid hypotesprövning behöver man veta om mothypotesen är en- eller tvåsidig. Om mothypotesen till nollhypotesen har som möjligt utfall att vara antingen positivt eller negativt är mothypotesen alltid tvåsidig.

För att utföra hypotesprövning hos två olika test jämförs enligt (Körner & Wahlgren, 2006) respektive medelvärde och standardavvikelse med Ekvation 8–11.

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad \text{Ekvation 8}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \text{Ekvation 9}$$

$$\sigma_p^2 = \frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{(n_1 + n_2 - 2)} \quad \text{Ekvation 10}$$

$$t_{obs} = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - d_0}{\sqrt{\sigma_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \quad \text{Ekvation 11}$$

Det observerade testvärdet jämförs sedan med ett indexerat värde som beror på antalet frihetsgrader i testet enligt (Körner & Wahlgren, 2016). Om det observerade värdet är större än detta värde kan mothypotesen bekräftas, se Ekvation 12. Om det observerade värdet är mindre än det indexerade värdet kan mothypotesen ej bekräftas, se Ekvation 13.

$$t_{obs} > t_{tab} \rightarrow \text{Mothypotes bekräftas} \quad \text{Ekvation 12}$$

$$t_{obs} < t_{tab} \rightarrow \text{Mothypotes förkastas} \quad \text{Ekvation 13}$$

Enligt (Körner & Wahlgren, 2006) är vanliga värden för signifikansnivån vid hypotesprövning antingen 5 %, 1 %, eller 0,1 %, det vill säga att man med 95 %, 99 % eller 99,9 % säkerhet kan förkasta nollhypotesen. I vetenskapliga test används enligt (Bancroft, 1964) vanligen nivån 95 % säkerhet. Enligt (Ederyd, 2010) går det dock utmärkt att välja en mer passande nivå om så är önskvärt.

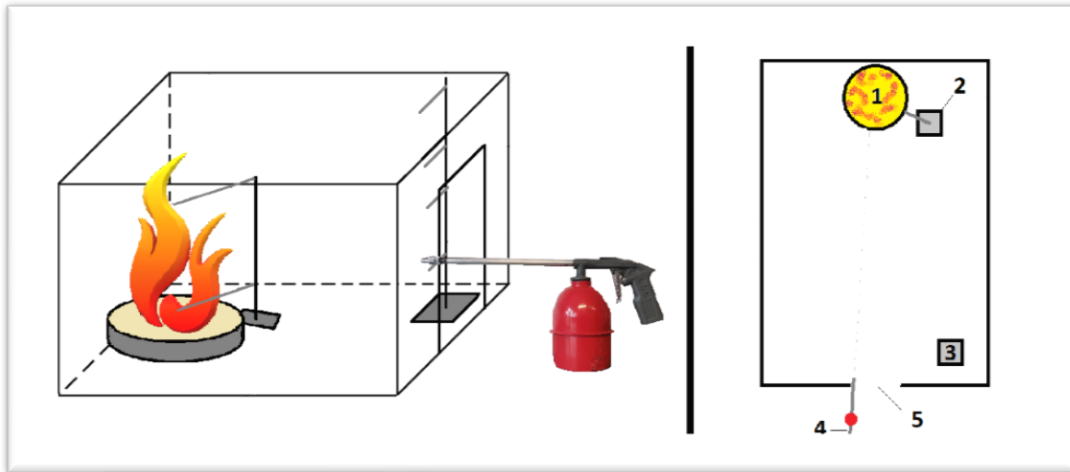
Enligt (Heiser, 2005) kan den inbyggda funktionen för dataanalys i datorprogrammet Microsoft Excel användas för att bestämma p-värdet för ett tväsidigt hypotestest. P-värdet redovisar osäkerheten i testet.

4 - Val av testmetod

Efter litteraturstudie av existerande testmetoder utvärderades och jämfördes de olika testsätten. De mest lämpliga delarna av de olika testmetoderna valdes och redovisas i följande avsnitt.

4.1 - Försöksplats

Tester utförda av (Andersson, et al, 1996) visar att tester av släckteknisk förmåga hos ett finfördelat släckmedel med god tillförlitlighet kan utföras i ett tredjedelsskalerum. Test i tredjedelsskalerum valdes därför som försöksplats. Testrummet bestämdes ha dimensionerna i tredjedelsskala enligt (ISO 9705-1, 2016), för skiss av brandrum och försökstoppställning, se Figur 8.



Figur 8. Till vänster: Illustration av brandrum. Till höger: Skiss över brandrum ① - Pölbrand ovan lastcell. ② - Termoelementtråd i flammen 20 respektive 40 cm ovan golv. ③ - Termoelementtråd 10 cm in från närliggande väggar; 10-, 30-, 50 samt 70 cm ovan golv. ④ - Oljeduschspruta ⑤ - Öppning

Väggarna i testrummet utfördes med av Mineritskivor med tjockleken 9 mm. Mineritskivorna som användes, Cembrit Multiforce, är enligt (Cembrit, u.d.) ett betongbaserat eldfast skivmaterial med konduktivitetstal på 0,25 W/m*K. För att sammanfoga skivorna skruvades dessa fast i en ram av vinkeljärn med bultar. ISO-rummet tillverkades av författaren och visas i Figur 9.



Figur 9. ISO-rummet som användes i försöken

4.2 - Typ av brand

Tidigare försök av (Dunn, 1998) visar att släckeffekten hos olika släckmedel väl kan jämföras i en fullt utvecklad brand i ett fullskalerum. Enligt (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 125) sker övertändning i brandrum vid brandgastemperaturer på mellan 500–600°C. För att bestämma effekten vid övertändning i testrummet användes Ekvation 5 från kapitel 3.1 - Pölbränder. Den erforderliga effekten vid övertändning i testrummet bestämdes med värden från Figur 8 samt med värmeledningstal från (Cembrit, u.d.) till:

$$\dot{Q}_{FO} = 610 \left(\left(\frac{0,25}{0,009} * 10^{-3} \right) * (2(1,2 * 0,8 * 0,8) - (0,27 * 0,67)) * 0,67^{0,5} \right)^{0,5} = 107,1 \text{ kW}$$

Studier av (Raj & Prabhu, 2018) visar att heptanpölbränder i det fria brinner med en konstant effekt under hela brandförloppet. För att få en effekt i närheten av övertändningseffekten för testrummet bestäms massavbrinningen med Ekvation 1 och värden från (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 35) till:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{\Delta H_c * \chi} = \frac{107,1 \text{ kW}}{(44600 * 0,7) \text{ kJ/kg}} = 0,00343 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 3,43 \text{ g/s}$$

För att bestämma diametern på erforderligt kärl för en pölbrand för att uppnå övertändningstemperatur i testrummet används följande ekvation:

$$\frac{\dot{m}}{\dot{m}''} = \frac{0,00343 \text{ kg/s}}{0,075 \text{ kg/m}^2 \text{ s}} = A = 0,04573 \text{ m}^2 \leftrightarrow D = 0,241 \text{ m}$$

Den erforderliga diametern på kärlet måste således överstiga 0,241 m för att övertändning i testrummet ska inträffa. Kärldiametern i testet valdes därför till 0,25 m. För att undvika höga temperaturer i heptanet utfördes försöken med en vattenbädd i kärlet.

4.3 - Släckpulver och färgning

Det vanligaste släckpulvret i brandsläckare är enligt (Särdqvist, 2013, p. 247) ammoniumdivätefosfat. Därför valdes ett släckpulver, Gloria Adex från släckpulvertillverkaren Dafo, som enligt (Dafo Brand AB, 2016) till största del innehåller ammoniumdivätefosfat till testet.

Tester för att ändra kulören på släckpulvret utfördes. Metoderna som testades var rekristallisering, avdunstning och blandning av pulvret. Testerna visade att blandning av släckmedlet och ämnet kimirök gav god vidhäftningsförmåga av kimiröken på ammoniumdivätefosfatkristallerna, se Figur 10.



Figur 10. T.v. Mörkkolorerat släckpulver. T.h.: Ljust släckpulver

Därför valdes ämnet för att göra släckpulvret mörkare till att vara kimrök. Blandningar med 5, 10, 15 och 20 % tillverkades. Pulvren med mer än 10 % kimrök bedömdes vara av för stort innehåll kimrök, medan pulverblandningen med 5 % kimrök bedömdes för liten kontrast till det mörka pulvret. Därför valdes en pulverblandning med 10 % kimrök. För en jämförelse mellan det ljusa och mörka pulvret, se Figur 11.



Figur 11. Till vänster: Ljust släckpulver Till höger: Ljust släckpulver blandat med 10 % kimrök

4.4 - Släckmedelspåföring

Enligt (Yang, 2015) bör släckmedlets lufttillförsel till brandrummet beaktas vid brandexperiment i rum, då det bidrar till ökad effekt hos branden i rummet. Därför valdes drivmedlet för att påföra släckpulvren till branden till att vara så liten masstillförsel luft som möjligt till branden. Detta genom att använda kvävgas som drivgas till pulvret. För att undersöka om drivgasen har någon större påverkan på släcktiden utfördes också tester med luft som drivgas.

Vid praktisk användning av släckpulver, genom användning av handbrandsläckare i rum, står folk enligt (Lund, 2018) oftast utanför rummet och siktar in mot branden i midjehöjd, cirka en meter ovan marknivån, med varierande träffsäkerhet. ISO-rummet är som tidigare nämnts ett rum i tredjedelsskala. Därför valdes en påföringsplacering av släckpulvret halvvägs upp från golvet, det vill säga 0,34 meter ovan golvytan med riktning rakt mot branden.

Som påföringsutrustning testades ett flertal olika utrustningar för att få ett så konstant massflöde släckmedel in i rummet som möjligt. Påföringsutrustning som testades var sandblästerpistol och en oljeduschspruta vid olika tryck och flöde av drivgaserna. Påföringsutrustningen som visade bäst medelpåföringshastighet av släckmedlet var oljeduschsprutan, se Figur 12.



Figur 12. Oljeduschsprutan som användes i försöken

För att uppnå samma påföringshastighet vid påföring av släckpulver skakades pulvret i behållaren kraftigt i tio sekunder 30 sekunder innan påföring startade.

Ammoniumdivätefosfat har enligt (Särdqvist, 2013, p. 295) ett REMP-värde på mellan 1–4. För att inte omedelbart släcka branden påfördes släckmedlet till branden med en konstant masspåföringshastighet i de högre regionerna av det föreslagna REMP-värdet. Masspåföringshastigheten bestämdes genom att imitera påföringsförfarandet till att vara 4,9 g/s, vilket motsvarar ett REMP-värde på 1,42 vid övertändning i rummet. Drivgaserna hade vid aktuell masspåföringshastighet flödet 180 l/minut och trycket från flaskan var 3,4 bar.

Påföringen skedde genom att oljeduschsprutans påföringsrör placerades parallellt med fixtur riktat mot mittpunkten av baksidan av borte väggen 34 cm ovan golvnivå under varje försök för att säkerställa repeterbarhet. För illustration, se Figur 13.



Figur 13. Påföringsteknik under försöken

Enligt (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 125) sker övertändning i ett rum vid en temperaturskillnad mot omgivningen på 500 °C. Därför bestämdes påföringen av släckmedel påbörjas när temperaturen i brandgaslagret 0,7 meter ovanför golvet uppnådde temperaturen 520 °C.

Påföringen fortsatte till dess att alla flammor i rummet var helt släckta. För mer detaljerat påföringsförfarande, se Bilaga E.

Tiden till elden i rummet bedömdes som släckt i rummet mättes genom analys av en videoinspelning genom att mäta tiden från start av påföring av släckmedel till flammorna i rummet observerades som helt släckta.

4.5 - Statistiskt säkerställande av resultat

Antalet försök med respektive släckmedel bestämdes till att vara minst fem stycken av varje släckpulver och drivgas. Detta för att kunna testa de olika pulvren mot varandra så statistiskt säkert som möjligt.

För att kunna visa på en signifikant skillnad mellan pulvren utfördes en hypotesprövning där följande nollhypoteser och mothypoteser testades:

- " H_0 : Det finns ingen skillnad mellan släcktid hos respektive släckpulver med kvävgas som drivgas" mot:
" H_1 : Ljust släckpulver har längre släcktid än ljust släckpulver med kvävgas som drivgas"
- " H_0 : Det finns ingen skillnad mellan släcktid hos respektive släckpulver med luft som drivgas" mot:
" H_1 : Ljust släckpulver har längre släcktid än mörkt släckpulver med luft som drivgas"
- " H_0 : Det finns ingen skillnad mellan släcktid hos respektive släckpulver oavsett drivgas" mot:
" H_1 : Ljust släckpulver har längre släcktid än mörkt släckpulver oavsett drivgas"
- " H_0 : Det finns ingen skillnad i släcktid mellan drivgas oavsett om släckpulvret är mörkt eller ljust" mot:
" H_1 : Vid påföring oavsett pulverkulör har luft längre släcktid än kvävgas"

För att statistiskt säkerställa skillnaden mellan parametrarna användes först det generella värdet 95 % för hypotesprövning. Om signifikansnivån på 95 % ej nåddes testades hypotesen med en signifikansnivå på 90 %.

P-värdena för de tvåsidiga hypotesprövningarna fastställdes med det inbyggda dataanalysverktyget "t.test" i Microsoft Excel. Där testades respektive tests data i ett tvåsidigt test med olika varians för respektive sampel.

4.6 - Repeterbarhetsåtgärder

För att säkerställa att försöket ska vara så repeterbart som möjligt utfördes följande åtgärder

- Testrummet byggdes i ISO-9705-standard för att enkelt kunna reproduceras.
- Testrummet försågs med ett enhetligt omslutande material.
- Proceduren för släckförsök var densamma för samtliga tester, se Bilaga E.
- Påföringshastigheten av släckmedel, drivgas, och tryck var densamma i samtliga fall, förutom i två fall, där inget släckpulver användes och endast kvävgas användes för att släcka branden.
- Vädret var vid försöksdagen nära vindstilla, utan nederbörd och temperatur på mellan 16–18 °C.
- Det mörka och ljusa pulvret hade samma egenskaper, förutom just kulören.

4.7 - Risk- och miljökonsekvensminimering

För att minimera riskerna för person- och miljöskador under försöken utfördes en riskanalys och en analys av miljöreducerande åtgärder, se Bilaga A.

5 - Resultat

I följande avsnitt redovisas resultaten från försöken utförda den 16 oktober 2018 på MSB Revinge. Totalt utfördes 30 försök, sju stycken med respektive släckpulver i luft samt i respektive drivgas. Förutom dessa 28 försök utfördes två inerteringsförsök, där testrummet inerterades, utan att lyckas släcka flaman. Av testerna med släckpulver förkastades fyra stycken på grund av tekniska problem. För släcktider för varje försök, se Bilaga D. För fullständig temperatur-tid-kurva för varje test, se Bilaga C.

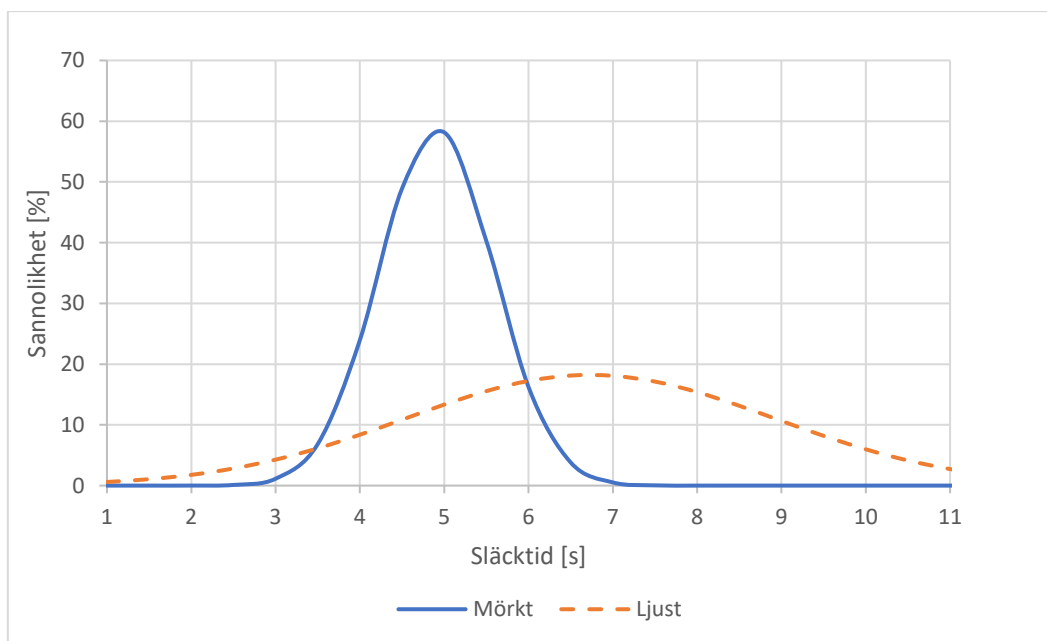
5.1 - Uppmätta tider till släckning med kvävgas som drivgas

Genom beräkning med Ekvation 8 och 9 bestämdes medelvärde och standardavvikelse för mörkt respektive ljus släckpulver med kvävgas som drivgas enligt Tabell 3.

Tabell 3. Jämförelse mellan släcktider - Mörkt och ljus släckpulver med kvävgas som drivgas

Pulver	Mörkt	Ljust
Medelsläcktid [s]	4,91	6,73
Standardavvikelse [s]	0,68	2,19
Antal försök	6	6

Genom hypotesprövning: " H_0 : Det finns ingen skillnad mellan släcktid hos respektive släckpulver med kvävgas som drivgas" mot " H_1 : Ljust släckpulver har längre släcktid än mörkt släckpulver med kvävgas som drivgas" erhålls med Ekvation 10–13 resultatet: $t_{obs} = 0,488 \rightarrow t_{obs} > t_{tab} \leftrightarrow 1,948 > 1,812$ vilket leder till att mothypotesen kan bekräftas med 90 % säkerhet, men ej med 95 % säkerhet som är praxis för vetenskapliga test. P-värdet för testet var 0,099. För illustration av sannolikhet för släcktider, se Figur 14.



Figur 14. Illustration av sannolikhet för släcktider med kvävgas som drivgas

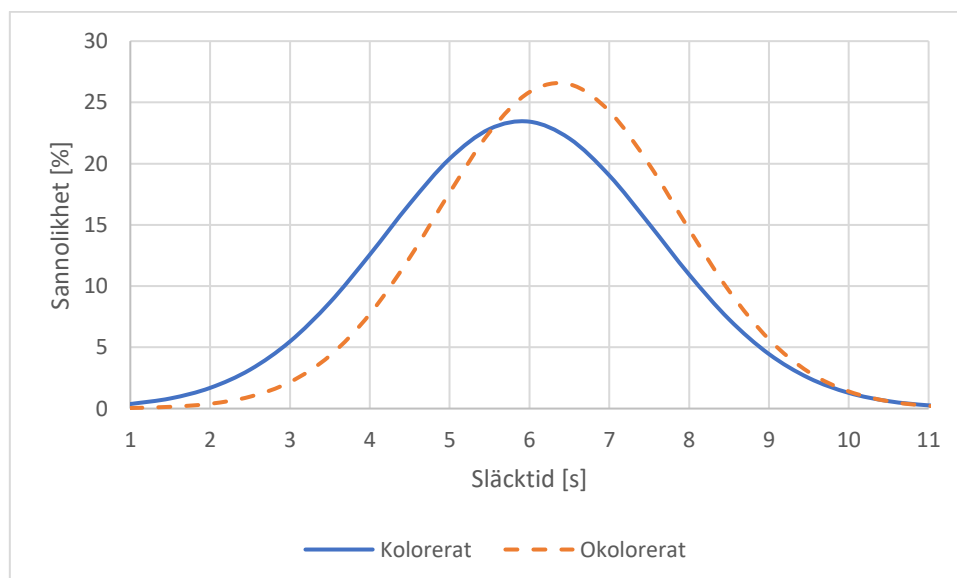
5.2 - Uppmätta tider till släckning med luft som drivgas

Genom beräkning med Ekvation 8 och 9 bestämdes medelvärde och standardavvikelse för mörkt respektive ljust släckpulver med luft som drivgas enligt Tabell 4.

Tabell 4. Jämförelse mellan släcktider - Mörkt och ljust släckpulver med luft som drivgas

Pulver	Mörkt	Ljust
Medelsläcktid [s]	5,90	6,36
Standardavvikelse [s]	1,70	1,50
Antal försök	5	7

Genom hypotesprövning: " H_0 : Det finns ingen skillnad mellan släcktid hos respektive släckpulver med luft som drivgas" mot " H_1 : Ljust släckpulver har längre släcktid än mörkt släckpulver med luft som drivgas" erhålls med Ekvation 10-13 resultatet: $t_{obs} = 0,488 \rightarrow t_{obs} < t_{tab} \leftrightarrow 0,488 < 1,812$ vilket leder till att mothypotesen förkastas och att en signifikant skillnad inte kan påvisas. P-värdet för testet var 0,646. För illustration av sannolikhet för släcktider, se Figur 15.



Figur 15. Illustration av sannolikhet för släcktider med luft som drivgas

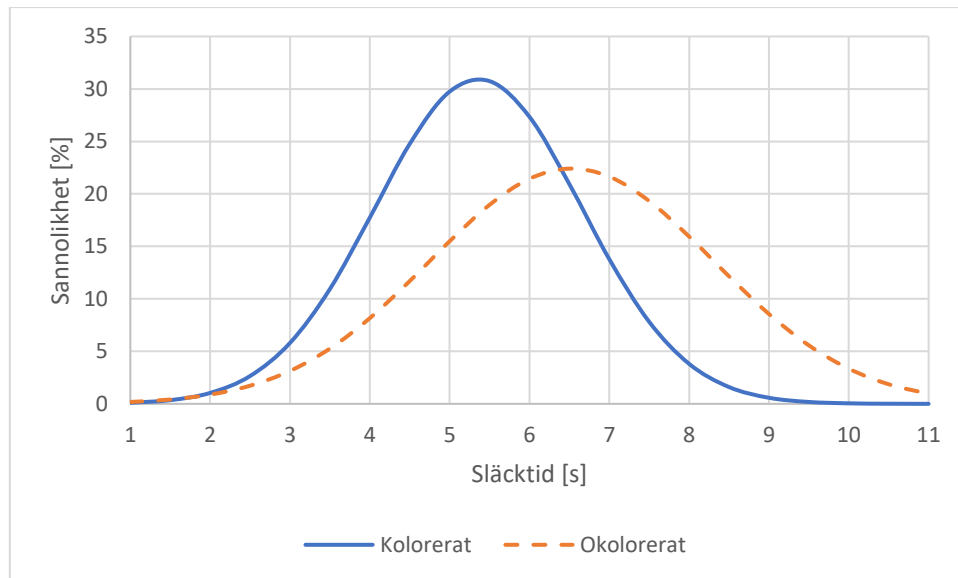
5.3 - Uppmätta tider till släckning med mörkt respektive ljust pulver oavsett drivgas.

Genom beräkning med Ekvation 8 och 9 bestämdes medelvärde och standardavvikelse för mörkt respektive ljust släckpulver med luft som drivgas enligt Tabell 5.

Tabell 5. Jämförelse mellan släcktider - Mörkt och ljust släckpulver med både luft och kvävgas som drivgas

Pulvertyp	Mörkt	Ljust
Medelsläcktid [s]	5,36	6,53
Standardavvikelse [s]	1,29	1,78
Antal försök	11	13

Genom hypotesprövning: " H_0 : Det finns ingen skillnad mellan släcktid hos respektive släckpulver oavsett drivgas" mot " H_1 : Ljust släckpulver har längre släcktid än mörkt släckpulver oavsett drivgas" erhålls med Ekvation 10–13 resultatet: $t_{obs} = 1,81 \rightarrow t_{obs} > t_{tab} \leftrightarrow 1,81 > 1,717$, vilket leder till att mothypotesen kan bekräftas med 90 % säkerhet, men ej med 95 % säkerhet som är praxis för vetenskapliga test. P-värdet för testet var 0,076. För illustration av sannolikhet för släcktider, se Figur 16.



Figur 16. Illustration av sannolikhet för släcktider oavsett drivgas

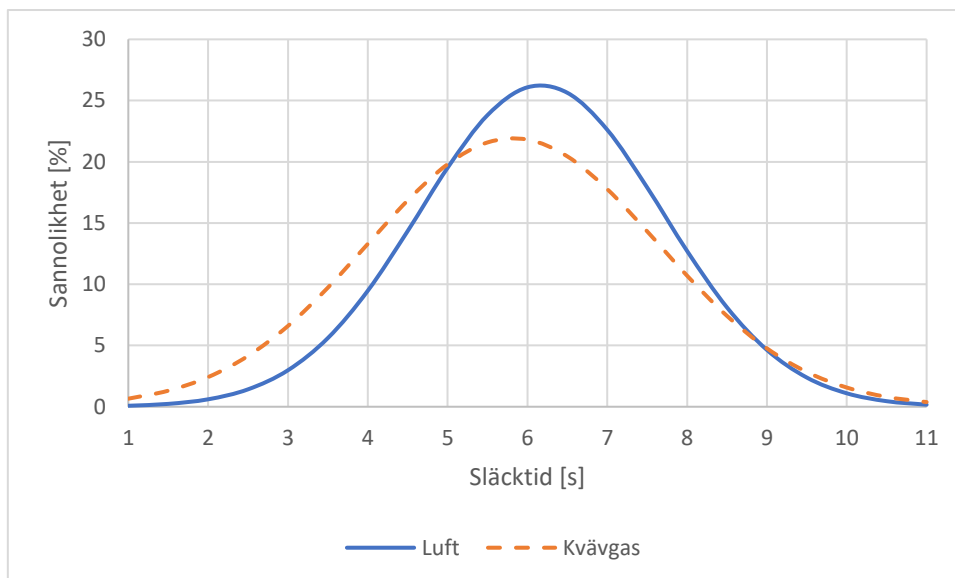
5.4 - Uppmätta tider till släckning med kvävgas och luft oavsett pulverkulör

Genom beräkning med Ekvation 8 och 9 bestämdes medelvärde och standardavvikelse för mörkt respektive ljust släckpulver med luft som drivgas enligt Tabell 5.

Tabell 6. Jämförelse mellan släcktider - Mörkt och ljust släckpulver med både luft och kvävgas som drivgas

Drivgas	Luft	Kvävgas
Medelsläcktid [s]	6,17	5,82
Standardavvikelse [s]	1,52	1,82
Antal försök	12	12

Genom hypotesprövning: " H_0 : Det finns ingen skillnad i släcktid mellan drivgas oavsett släckpulverkulör" mot " H_1 : Luft har längre släcktid kvävgas oavsett pulverkulör" erhålls med Ekvation 10–13 resultatet: $t_{obs} = 0,507 \rightarrow t_{obs} \ll t_{tab} \leftrightarrow 0,507 \ll 1,717$ vilket leder till att mothypotesen inte kan bekräftas ens med den lägre, 90-procentiga säkerheten. P-värdet för testet var 0,612. För illustration av sannolikhet för släcktider, se Figur 17



Figur 17. Illustration av sannolikhet för släcktider oavsett pulverkulör

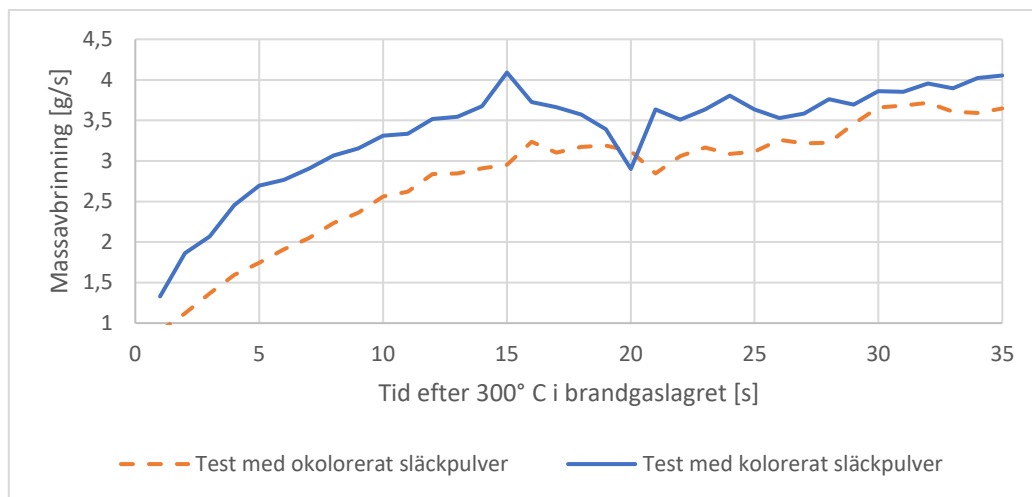
5.5 - Massavbrinning av heptan under försöken

Genom att varje sekund mäta massavbrinningen från heptankärlet från det att temperaturen i brandgaslagret nått 200 °C till påbörjande av släckning för mörkt respektive ljus släckmedelsförsök bestämdes den genomsnittliga massavbrinningen med Ekvation 8 och visas i Tabell 7.

Tabell 7. Massavbrinning under försöken från 200 °C i brandgaslagret till påbörjande av släckning. Mörkt släckpulver har 16,6 % högre medelmassavbrinning och 10 % högre maximal massavbrinning än ljus släckpulver.

Pulvertyp	Mörkt	Ljust
Medelmassavbrinning [g/s]	3,37	2,89
Maximal massavbrinning [g/s]	4,09	3,72

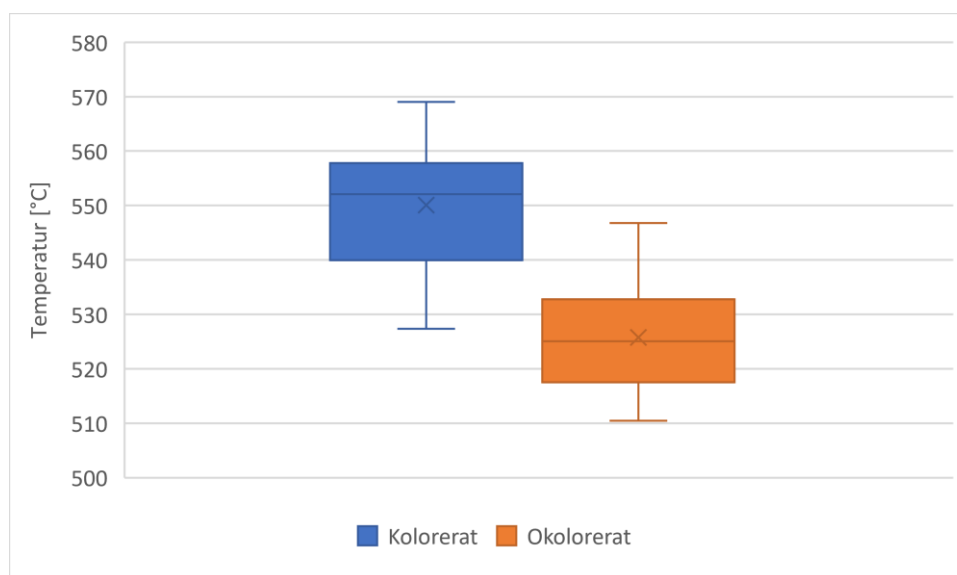
För figur på medelmassavbrinningen vid försök med respektive släckpulverskulör, se Figur 18.



Figur 18. Massavbrinning vid tester i försöket från temperaturen i testrummet uppnådde 300 °C. Grupperat på respektive släckpulverskulör.

5.6 - Temperatur vid påbörjande av släckmedelspåföring

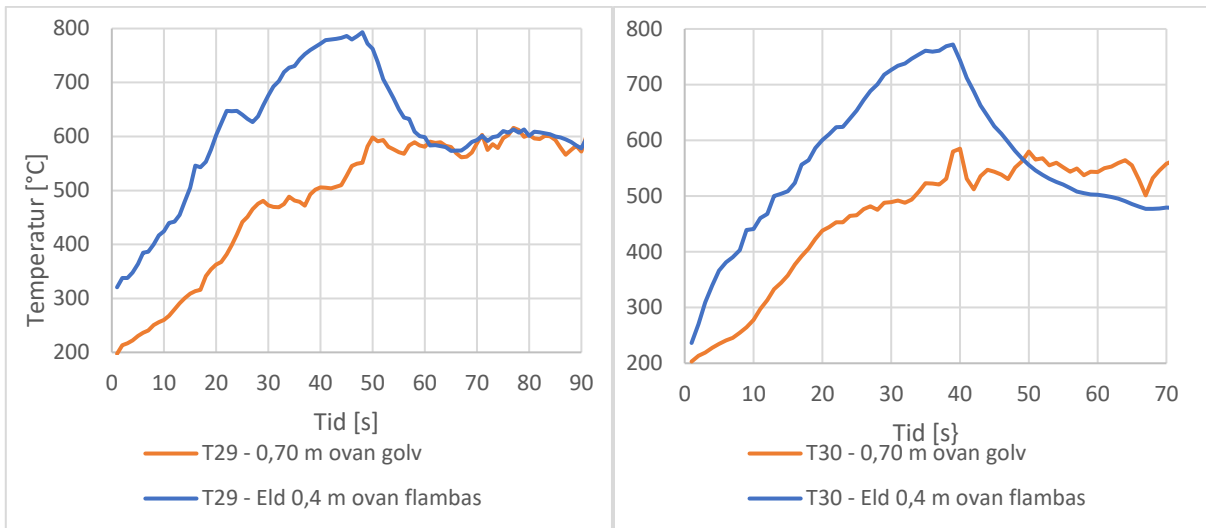
Genom registrering av temperatur i brandgaslagret kunde temperaturer vid start av släckmedelspåföring bestämmas för respektive test, se Figur 19.



Figur 19. Temperatur i brandgaslagret vid start av påföring av släckpulver. Medeltemperatur 550 °C för mörkt respektive 526 °C för ljus släckpulver.

5.7 - Inertering med ren kvävgas

Inertering av brandrummet med ren kvävgas, det vill säga utan släckpulver, med ett betydligt högre flöde än normalt visade att branden ej sloknade, däremot visade resultaten att temperaturen i båda mätpunkterna i rummet faller direkt efter påbörjan av inertering, se Figur 20, 48 sekunder respektive 39 sekunder efter start. Det går också att utläsa att temperaturerna i rummet närmar sig varandra ju längre inerteringen fortgår.



Figur 20. Jämförelse av temperaturer i testrummet vid inertering med kvävgas. Till vänster: Temperatur i testrum med flöde 3,4 l/s, start av påföring efter 48 s. Till höger: Temperatur i testrum med flöde 8,4 l/s, start av påföring efter 39 sekunder.

5.8 - Beräknade släcktider vid justerad släcktid

På grund av högre temperaturer och massavbrinning vid släckförsök med det mörka pulvret undersöktes hur en justerad effekt hade för påverkan av hypotesprövningen.

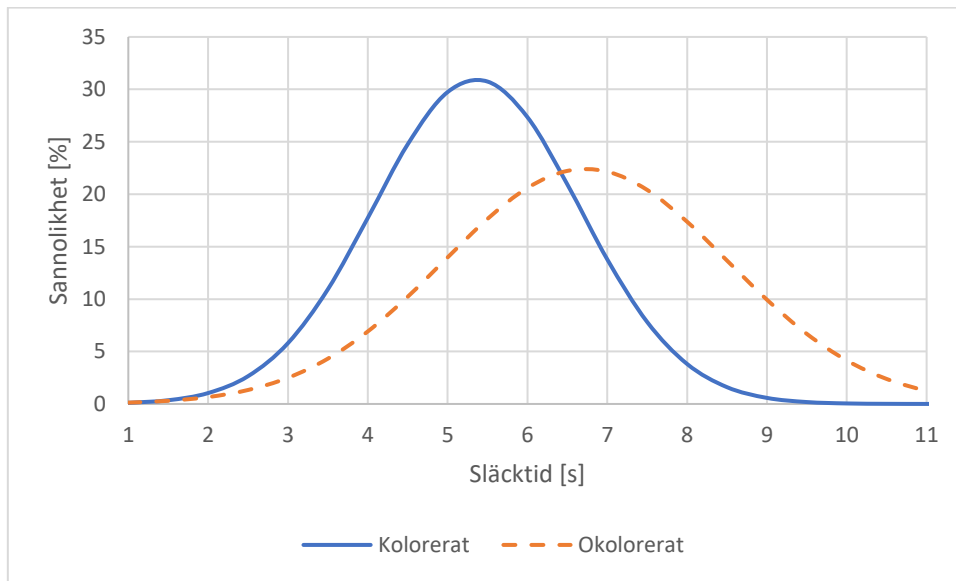
För att jämföra de två olika släckpulvren med hänsyn till den högre temperaturen och massavbrinningen vid test av mörka släckpulver justerades medelvärdet och standardavvikelsen för ofärgat släckpulver med faktorn 1,03, vilket motsvarar en ökning i tid med 3 % för det ljusa släckpulvret. Genom beräkning med Ekvation 8 och 9 bestämdes medelvärde och standardavvikelse för mörkt respektive ljus släckpulver med luft som drivgas och justerad medelsläcktid och standardavvikelse enligt Tabell 8.

Tabell 8. Jämförelse mellan släcktider - Mörkt och Ljust släckpulver med både luft och kvävgas som drivgas med justerad medelsläcktid och standardavvikelse för ljus släckpulver

Pulvertyp	Mörkt	Ljust
Medelsläcktid [s]	5,36	6,73
Standardavvikelse [s]	1,29	1,83
Antal försök	11	13

Genom hypotesprövning: " H_0 : Det finns ingen skillnad mellan släcktid hos respektive släckpulver oavsett drivgas med justerad medelsläcktid och standardavvikelse för ljus släckpulver" mot " H_1 : Ljust släckpulver har längre släcktid än mörkt släckpulver oavsett drivgas med justerad medelsläcktid och standardavvikelse för ljus släckpulver" erhålls med Ekvation 10–13 resultatet: $t_{obs} = 2,075 \rightarrow t_{obs} > t_{tab} \leftrightarrow 2,075 > 2,074$, vilket leder till att nollhypotesen

förkastas och mothypotesen kan bekräftas med 95 % säkerhet, vilket är praxis för vetenskapliga test. P-värdet för testet var 0,045. För illustration av sannolikhet för släcktider, se Figur 21.



Figur 21. Illustration av sannolikhet för släcktider oavsett pulverkulör med modifierad medelsläcktid och standardavvikelse för ljus släckpulver

6 - Diskussion

I följande avsnitt behandlas diskussion av de olika delarna i rapporten.

6.1 - Allmän diskussion om pulversläckmedel

Anledningen till att släckteori för pulversläckmedel verkar vara så pass mycket mindre undersökt än exempelvis vattensläckteori bedöms bero på pulversläckmedlets mer komplexa släckverkan vid brand. För vatten är släckprocessen ganska enkel. Vattnet värms upp, kokar och värms upp vidare och tar på så sätt energi från flammen. Släckpulvret däremot genomgår beroende på släckpulver flertalet delsteg och delreaktioner och flertalet produkter bildas. Därför är en exakt beräkning av ett visst släckpulvers släckverkan vid brand mycket svår att kvantifiera och mer experimentella uppställningar för att mäta släckpulvrets effektivitet används.

6.2 - Diskussion om tillgängliga testmetoder

REMP-värdestestet, som mycket väl beskriver effektiviteten av släckeffekt hos ett släckmedel som fullständigt förbränns, det vill säga är till 100 % aktivt i släckprocessen, kan användas för att jämföra släckmedelstypers släckpotential mot varandra. Däremot så är det mycket sällsynt att allt släckmedel som påförs en brand förbränns fullständigt, speciellt i fallet där pulversläckmedel används av lekmän, då detta sprids i rummet och stora delar av släckmedlet inte deltar i släckprocessen av branden. Ett test där släckmedlet som ej fullständigt förbränns är därför mer lämpligt att använda.

Det ballistiska brandskyddspanelstestet bedöms också vara ett bra test i sitt eget användningsområde, som är skydd av oljetankar. Dock så ifrågasätts i vilken utsträckning brandskyddspanelstestet har för praktisk applicerbarhet i de fall där oljetankar ej skyddas. Det kan även ifrågasättas hur väl statistiskt det kan säkerställas att det färgade släckmedlet är bättre än det ofärgade på grund av att pulvret endast testades en gång i den aktuella försöksuppställningen. Vårt att nämna är också att tester med ballistiska brandskyddspanelstest hade blivit mycket dyra att utföra.

ISO-rumstest i fullskala med träprodukter som förbränningsmaterial och släckning av brandmän efterliknar verkligheten på ett mycket bra sätt. Dock så torde det vara svårt att vid upprepade försök ha exakt samma effekt i rummet vid påbörjande av släckning. Själva släckförfarandet bör också vara svårt att kontrollera till att vara exakt detsamma under släckningen på grund av den mänskliga faktorn. En annan negativ aspekt av ISO-rumstest i fullskala är att det kräver stora mängd bränsle och släckmedel för att genomföra försöken, vilket leder till större risker och större miljöpåverkan.

Test i tredjedelsskalerum bedöms som lätt överblickbara under försök, enkla att kontrollera, mindre riskfyllda och ha en mindre negativ effekt på miljön. Nackdelen med ett ISO-rum i tredjedelsskala är att de just är i tredjedelsskala och inte i verklig storlek och att resultaten därför inte speglar verkliga förhållanden fullt ut.

6.3 - Diskussion om vald testmetod

Då det, vad författaren har konstaterat, inte verkar finnas något standardiserat sätt att undersöka ett släckmedels släckeffekt under verkliga förhållanden, hade ett sådant test varit det bästa för att testa släckmedlen i denna rapport mot varandra. Eftersom det inte finns något tillgängligt standardiserat test fick författaren försöka utforma ett så repeterbart försök som möjligt.

Testmetoden som framarbetades av författaren till denna rapport är till stor del baserad på ISO-rumstester beskrivna i 3.4.3 - ISO-rumstest, samt tester beskrivna i 3.4.4 - Test i tredjedelsrum.

6.4 - Diskussion om resultat och felkällor

Försöken som utfördes visade en relativt konstant släcktid för respektive försöksgrupp, dock skilde sig släcktiderna mellan försöken i varje testgrupp åt något. Detta bedöms bero på flertalet orsaker. Eftersom försöken endast utfördes mellan fem till sju gånger per försöksuppställning är det svårt att statistiskt säkerställa skillnaderna mellan pulvren och för att få en bättre säkerhet i resultaten borde en större serie försök genomföras.

Ansträngningar gjordes för att få försöksuppställningen densamma för alla 30 tester, förutom just parametern som skulle undersökas. Detta misslyckades tyvärr, då massavbrinningen vid påbörjande av påföring av mörkt släckpulver var betydligt högre, cirka 10 %, än vid start av påföring med ljust släckpulver. Trots den högre massavbrinningen och högre temperaturen vid påbörjande av släckning, som borde resultera i en större släckinsats, visade sig det att det mörka pulvret hade en kortare släcktid än det ljusa släckpulvret. Detta bedöms bero på att kimiröken, med sin höga absorptionsförmåga av visuell- och infraröd strålning bättre absorberar den infallande strålningen från flammen och sedan överför energin till släckpulverkristallen. Eftersom det mörka släckpulvret innehöll 10 % kimirök, som är brännbart, borde släcktiden för det mörka släckpulvret istället blivit längre.

Resultatet visar att det kan finnas en signifikant skillnad mellan de två olika släckmedlen. Speciellt kan man se en skillnad mellan mörkt och ljust släckpulver med kvävgas som drivgas. Att det vid släckpåföringens påbörjan var en cirka 10 % högre massavbrinning från kärlet kan också vara en orsak till att skillnaden mellan pulvrens effektivitet inte kan statistiskt säkerställas. Om massavbrinningen istället hade varit densamma vid påbörjan av varje test är det rimligt att anta att det mörka släckpulvret hade kunnat statistiskt bestämmas till att vara effektivare än det ljusa släckpulvret.

Det mest troliga är att om det hade säkerställts att temperaturerna och massavbrinningen vid påbörjan av släckmedelspåföring hade varit lika i brandgaslagret i rummet för respektive försök så hade resultatet kunnat statistiskt fastställas bättre. Att istället låta brandrummet nå en mer konstant temperatur innan påföring av släckmedel torde innebära att släcktiderna skulle blivit mer jämna, men ISO-rummet som användes i testerna bedömdes inte klara denna temperaturbelastning.

Genom ökning av medelsläcktiden och standardavvikelsen med en faktor 1,03, vilket motsvarar skillnaden i medeltemperatur för respektive släckpulver, vid start av påföring av släckpulver visar resultaten att det finns en statistisk säkerställd skillnad mellan de två olika släckpulvren. Detta resultat ska dock användas med försiktighet, då det är ett beräknat värde på medelsläcktid och standardavvikelse. Framtida tester bör istället avgöra huruvida det finns någon statistisk säkerställd skillnad mellan det mörka och det ljusa släckpulvret.

Att termoelementen har en viss termisk tröghet kan också ha spelat in i de varierande resultaten, men troligen inte i större utsträckning, då påföringen av släckmedel påbörjades vid samma temperatur för samtliga tester redovisade i resultatet.

En annan felkälla bedöms vara flammen från pölbranden i rummet, som under hela brandförloppet liksom alla andra diffusionsflammar har en viss flamfrekvens. Om släckmedelspåföringen påbörjades i en fas av flamfrekvensen där flammen var liten, borde tiden till släckning blivit kortare och vice versa. Att påföra släckmedel vid exakt samma tidpunkt i flamfrekvensen är nästintill omöjligt och detta fenomen bortsågs från under försöken. Att släckförsöken upprepades flertalet gånger bör även det betyda att denna felkälla till stor del elimineras, då släckmedelspåföringen påbörjas i olika stadier av flammans fas.

Eftersom försöken utfördes utomhus påverkas resultatet, liksom alla andra test som utförs i en okontrollerad miljö också av vädret. Under försöksdagen var vädret dock väldigt stabilt och nästan ingen vind rådde. Därför bedöms inte vädret ha en större påverkan till felen i försöken. Ytterligare en anledning till spridning i tiden till släckning bedöms vara att påföringen inte kan säkerställas vara helt och hållet konstant, trots de stora ansträngningar som gjordes för att få en så jämn masspåföring av släckmedel som möjligt.

Det är förvånande att skillnaderna mellan drivgaser inte ger större skillnad i släcktid än de gör, då påföring med luft istället för kvävgas bör bidra till en ökad effektutveckling i rummet på grund av tillförseln av syre till branden.

Att branden i testrummet inte slocknade vid inertering bedöms bero på att syrgashalten i rummet inte når den kritiska nivån för släckning av flamman. Påförningen av kvävgas bedöms skapa turbulenta strömmar av gaser i rummet som också suger in luft utifrån och på så vis håller branden vid liv även om flödet av kvävgas in i rummet ökar. Att temperaturen i både flamman och i brandgaslagret blev mer och mer lika ju mer ju längre inerteringen fick fortgå bedöms bero på att omblandningen av kvävgasen i rummet skapade en homogen temperatur.

7 - Slutsats

Försöken som utfördes i rapporten är begränsade till sin omfattning. Det går inte att med 95 % säkerhet påvisa någon statistiskt signifikant skillnad mellan ljust och mörkt släckpulver. Däremot visar de statistiska beräkningarna att det med mer än 90 % säkerhet finns en skillnad i släcktid mellan ljust släckpulver och släckpulver med 10 % inblandning av kimrök. Ställt utom allt rimligt tvivel är att det mörka släckpulvret i rapporten inte är sämre än det ljusa släckpulvret.

Testmetoden som togs fram i arbetet visar på att det går att jämföra olika pulversläckmedel mot varandra. Mer omfattande tester av respektive släckmedel bör utföras för att påvisa en statistisk säkerställd skillnad mellan de olika släckpulvren.

8 - Behov av vidare forskning

Fler tester i samma uppställning som i detta arbete bör utföras för att mer grundligt undersöka skillnader mellan det mörka och ljusa släckpulvret.

Tester i fullskalerum och med en konstant temperatur bör utföras för att undersöka hur respektive släckpulver uppträder i verkliga förhållanden.

Ett mer standardiserat test bör tas fram för att testa olika släckmedel mot varandra.

Absorptionsförmågan hos mörkt respektive ljust släckpulver bör studeras för att påvisa skillnader mellan pulvren.

Referenser

- Abdel-Kader, A., Ammar, A. A. & Saleh, S. I., 1991. Thermal behaviour of ammonium dihydrogen phosphate crystals in the temperature range 25-600°C. *Thermochimica Acta*, 176(25 Mars), pp. 293-304.
- Andersson, P., Arvidsson, M. & Holmstedt, G., 1996. *Small scale experiments and theoretical aspects of flame extinguishment with water mist*, u.o.: [Publisher information missing].
- Babrauskas, V., 1983. Estimating Large Pool Fires. *Fire technology*, 19(4), pp. 251-261.
- Bancroft, T. A., 1964. Analysis and Inference for Incompletely Specified Models Involving the Use of Preliminary Test(s) of Significance. *Biometrics*, 20(3), pp. 427-442.
- Bennett, J. M., 2006. "Black Widow" Thermal absorptivity Enhanced dry chemical powder - Recent evaluations in various fire protection applications. Albuquerque, Halon Options Technical Working Conference (HOTWC). 2006, NIST SP 984, National Institute of Standards and Technology:.
- Bennett, J. M. & Skaggs, R., 2005. *Ballistic Evaluation of Fire Panel Fuel Tank Protection Device for Military Vehicles: Update*. Albuquerque, USA, Halon Options Technical Working Conference, 15th Proceedings. HOTWC 2005.
- Biltema, 2015. *biltema.se*. [Online]
Available at: https://www.biltema.se/BiltemaDocuments/Manuals/15-451_man.pdf
[Använd 21 December 2018].
- Birla Carbon, 2017. *birlacarbon.com*. [Online]
Available at: https://birlacarbon.com/pdf/SDS/01_Rubber_Products_SDS/EU-CLP%20RCB%20SWEDISH%2019%20OCTOBER%202017.pdf
[Använd 13 November 2018].
- Brandskyddsföreningen, 2018. *brandskyddsföreningen.se*. [Online]
Available at: <https://www.brandskyddsforeningen.se/sakra-hemmet/brandslackare/>
[Använd 22 November 2018].
- Cembrit, u.d. *Cembrit Multi Force*. [Online]
Available at: https://www.cembrit.se/media/5506/br_cembrit_multi_force.pdf
[Använd 17 September 2018].
- Dafo Brand AB, 2016. [Online]
Available at: <https://www.dafo.se/globalassets/dokumentarkiv/sakerhetsdatablad/pulver/sds-gloria-adex.pdf>
[Använd 23 Oktober 2018].
- Donnet, J.-B., Bansal, R. C. & Wang, M.-J., 1993. i: *Carbon Black Science and Technology*. New York: Marcel dekker Inc., p. 207.
- Drysdale, D., 2011. *An introduction to fire dynamics*. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.
- Dunn, M. J., 1998. *Full-Scale Testing of Fire Suppression Agents on Unshielded Fires*, New Zealand: School of Engineering, University of Canterbury.
- Ederyd, L., 2010. *Bestämd signifikansnivå eller p-värde, vilket är att föredra?*, Uppsala: Department of Mathematics Uppsala University.

- Giftinformationscentralen, 2018. *giftinformation.se*. [Online]
Available at: <https://giftinformation.se/kemikaliereregister/brandslackare/>
[Använd 22 November 2018].
- Gupta, T., 2018. Carbon - The black, the Gray and the Transparent. i: Cham: Springer International Publishing AG, p. 152.
- Heiser, D. A., 2005. Statistical Tests, Tests of Significance, and Tests of a Hypothesis Using Excel. *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, 5(2), pp. 551-566.
- ISO 9705-1, 2016. *Reaction to fire tests - Room corner test for wall and ceiling lining products - Part 1: Test method for a small room configuration*. Reaction to fire tests: International Organization for Standardization.
- Karlsson, B. & Quintiere, J. G., 2000. i: *Enclosure Fire Dynamics*. Boca Raton: CRC Press LLC.
- Koseki, H. & Hayasaka, H., 1989. Estimation of Thermal Balance in Heptane Pool Fire. *Journal of Fire Sciences*, 7(4), pp. 237-250.
- Körner, S. & Wahlgren, L., 2006. Statistisk Dataanalys. i: Fjärde upplagan red. Lund: Studentlitteratur, pp. 182-236.
- Körner, S. & Wahlgren, L., 2016. Tabeller och formler för statistiska beräkningar. i: Lund: Studentlitteratur AB, p. 16.
- Lund, E., 2018. *Intervju med brandsläcksutbildare angående handhavande av brandsläckare hos lekmän* [Intervju] (5 September 2018).
- MSB, 2017. *Skydda dig mot brand hemma, Publikationsnummer: MSB871*, Karlstad: Myndigheten för samhällsskydd och beredskap.
- MSB, u.d. *RIB Farliga ämnen*. [Online]
Available at: <https://rib.msb.se/Portal/template/pages/Kemi/Substance.aspx?id=4865>
[Använd 19 September 2018].
- Raj, V. C. & Prabhu, C. V., 2018. Measurement of geometric and radiative properties of heptane pool fires. *Fire Safety Journal*, 96(1), pp. 13-26.
- Rositani, F., Minutoli, M., Antonucci, P. L. & Giordano, N., 1987. Infrared analysis of carbon black. *Carbon*, pp. 325-332.
- Su, C.-H., Chen, C.-C., Liaw, H.-J. & Wang, S.-C., 2014. The Assessment of Fire Suppression Capability for the Ammonium Dihydrogen Phosphate Dry Powder of Commercial Fire Extinguishers. *Procedia Engineering*, 84(1), pp. 485-490.
- Särdqvist, S., 2013. i: *Vatten och andra släckmedel*. Sverige: Myndigheten för samhällsskydd och beredskap.
- Wang, R., 2015. *Global Emission Inventory and Atmospheric Transport of Black Carbon*. i: Berlin: Springer-Verlag.
- Yang, J. H. H., 2015. *Effects of Water Mist System on a Controlled Fire*, Lund: Department of Fire Safety Engineering.

Bilaga A

I följande bilaga redovisas riskanalys som utfördes vid förberedelser inför tester på MSB i Revinge.

Riskanalys - Försök med släckpulver i brandcontainer

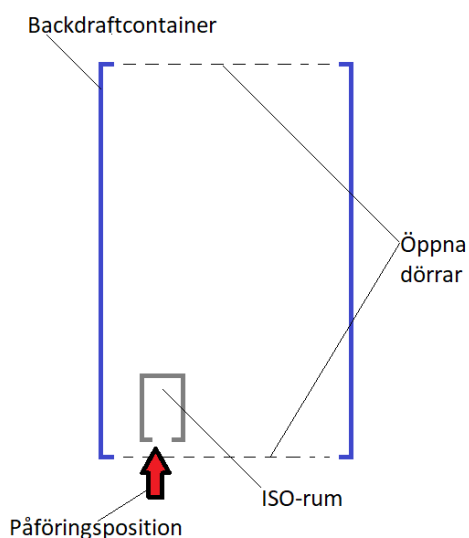
Syfte

Syftet med försöken är att undersöka hur släckeffekten av släckpulver i ett brandrum i tredjedelsskala skiljer sig med avseende på vilken kulör de släckpulvret har. Släckpulvret som kommer användas består av ammoniumdivätefosfat.

Sammanfattning

I ett ISO-9705:2016-rum i tredjedelsskala skall ett heptanbål på maximalt 200 kW antändas. När konstant temperatur har uppstått i rummet ska släckpulvret påföras in i rummet med blästerpistol. Försöket upprepas flertalet gånger med respektive släckpulver. Tid från början av påföring av släckmedel till släckning av flammen mäts.

Platsen för utförandet kommer ske i brandtekniks backdraftcontainer på MSB:s område i Revinge. Försöksuppställningen ser ut enligt figur nedan.



Försöksuppställning för släckförsök. Vinden i ryggen under och efter eldning.

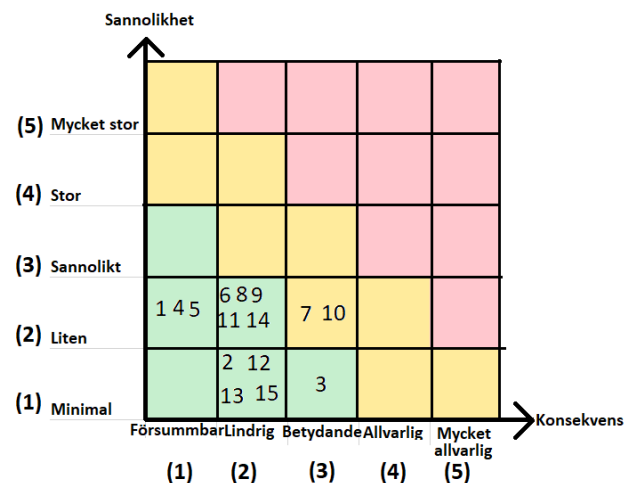
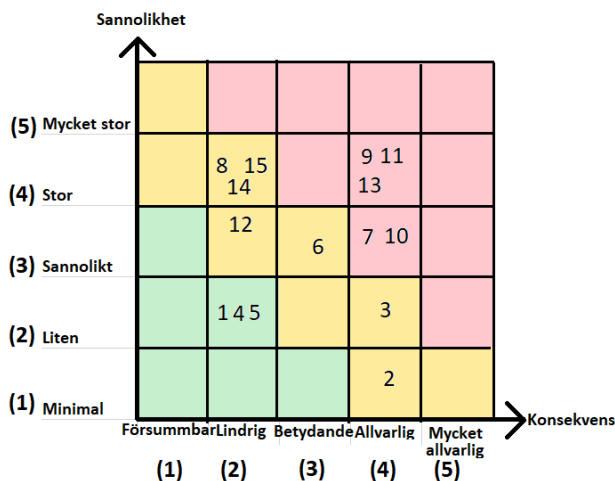
För mer detaljerat tillvägagångssätt för försöket, se Bilaga E.

Risakanalys och riskreducerande åtgärder

För att minimera risker under försöket används följande riskreducerande åtgärder:

Risk-nummer	Moment/ Aktivitet	Risker	Sannolikhet/ Konsekvens	Riskreducerande åtgärd	Sannolikhet/ Konsekvens efter riskred. åtgärd
1	Packning av material	Klämskador	2 / 2	Användande av handskar/skyddskläder	2 / 1
2	Transport till Revinge	Krock med annat fordon/personer	1 / 4	Användande av säkerhetsbälte, följ trafikreglerna	1 / 2
3	Transport på område i Revinge	Krock med annat fordon/personer	2 / 4	Håll låg hastighet och var uppmärksam	1 / 3
4	Uppackning av utrustning	Klämskador	2 / 2	Användning av handskar/skyddskläder	2 / 1
5	Iordningsställande av utrustning	Klämskador	2 / 2	Användning av handskar/skyddskläder	2 / 1
6	Upphällning av heptan	Ofrivillig antändning av heptanet, ofrivillig antändning av spillt bränsle	3 / 3	Aldrig öppen låga i närheten vid upphällning av heptan, Skyddskläder, aldrig hålla upp heptan i varmt kärl, handskar, skyddsglasögon och skyddskläder används vid hantering av heptan	2 / 2
7	Antändning av heptanbål	Ansamling av bränsleångor i brandrummet, antändning och brännskador i ansikte/på kropp.	3 / 4	Tändande av heptanbål med lång tändare så att tändning utanför brandrummet är möjlig. Användande av heltäckande klädsel och skyddsglasögon. Pulver- och koldioxidsläckare, brandfilt och vattensläckare ska finnas på plats under försöket. Vinden i ryggen så att brandgaser ventileras ut säkert.	2 / 3
8	Påföring av släckmedel till brandrum	Dammoln som skadar lungor och syn	4 / 2	Andningsskydd används,	2 / 2

				skyddsglasögon används.	
9		Oförbrända brandgaser antänds utanför brandrummet	4 / 4	Skyddskläder används vid påföring av släckmedel, Noggrann utvärdering av brandrum	2 / 2
10		Kvävgasförgiftning av personer i brandrum	3 / 4	Öppet i båda ändar av rummet vid användning av kvävgas	1 / 3
11	Återställande av brandrum för nytt försök	Oförbrända brandgaser antänds	4 / 4	Försiktig utvärdering av brandrum innan återställande för nytt försöks	2 / 2
12		Brännskador vid kontakt med varma ytor	3 / 2	Handskar används	1 / 2
13		Heptan självantänder vid påfyllning av kärl	4 / 4	Påfyllning av heptan sker alltid i kallt kärl, Minst 50/50 vatten/heptan för att minska temperatur i kärl.	1 / 2
14		Skador på lungor vid stora mängder pulver i luften	4 / 2	Andningsskydd används	2 / 2
15	Återställande av brandrum för avslutande av försök	Brännskador vid kontakt med varma ytor	3 / 2	Användande av handskar och skyddskläder	1 / 2



Till vänster: Risker innan riskreducering, Till höger: Risker efter riskreducering

Allmänna skyddsåtgärder utöver de ovan för att minska risken ytterligare:

- Säkerhetsrutiner från MSB följs noggrant.
- Minst två personer är alltid närvarande vid eldning.
- Skyddsskor används av alla personer i under försöket
- Heltäckande klädsel används för att undvika brännskador
- Pulverbrandsläckare, kolsyresläckare, brandfilt samt vattenslang finns i närheten vid eventuell spridning av eld från brandrum.
- Minst två mobiltelefoner är med under alla försök för kontakt till SOS.

Efter dessa riskreducerande åtgärder bedöms riskerna under försöket vara acceptabla.

Miljöpåverkansbegränsande åtgärder

- Försöket utförs i tredjedelsskala istället för i fullskala, vilket leder till mindre utsläpp av CO₂ och andra brandgaser.
- Noggrant uppmätta mängder heptan för att minska utsläpp. Maximalt 15 liter heptan kommer att användas.
- Noggrann städning av container efter utförda försök för minimal miljöpåverkan.

Efter dessa miljöpåverkansbegränsande åtgärder bedöms miljöriskerna på grund av försöket vara acceptabla.

Bilaga B

I följande bilaga redovisas beräkningsresultat från hypotesprövningar i 5 - Resultat. med ekvationer från 3.6 - Hypotesprövning.

H0: Det finns ingen skillnad i släcktid i kväve-> H0=H1	
H1: Ljust släckpulver har längre släcktid än mörkt i kvävgas:	
Test 22-27	
Ljust: Medelsläcktid	6,733333
Ljust: Standardavvikelse	2,193971
Ljust: Population	6
Test 15-19 & 21	
Mörkt: Medelsläcktid	4,906667
Mörkt: Standardavvikelse	0,679755
Mörkt: Population	6
Frihetsgrader=	10
$s^2p=$	2,637787
tobs=	1,94805
tobs=1,948>1,812 Kan påvisas med mer än 90 % säkerhet	

H0: Det finns ingen skillnad i släcktid med luft som drivgas-> H0=H1	
H1: Ljust släckpulver har längre släcktid än mörkt med luft som drivgas	
Test 1-7	
Ljust: Medelsläcktid	6,355143
Ljust: Standardavvikelse	1,494728
Ljust: Population	7
Test 8, 9 samt 12-14	
Mörkt: Medelsläcktid	5,904
Mörkt: Standardavvikelse	1,696859
Mörkt: Population	5
Frihetsgrader=	10
$s^2p=$	2,492259
tobs=	0,670191
tobs <<1,812 -> Kan ej påvisas.	

H0: Det finns ingen skillnad i släcktid mellan mörkt och ljust släckpulver oavsett drivgas -> H0=H1	
H1: Ljust släckpulver har längre släcktid än mörkt oavsett drivgas:	
Test 1-7 & 22-27	
Ljust: Medelsläcktid	6,529692
Ljust: Standardavvikelse	1,777988
Ljust: Population	13
Test 8-21 förutom 10, 11 samt 20	
Mörkt: Medelsläcktid	5,36
Mörkt: Standardavvikelse	1,286095
Mörkt: Population	11
Frihetsgrader=	22
$s^2p=$	2,47615
tobs=	1,814452
tobs>1,717 -> Kan påvisas med mer än 90 % säkerhet	

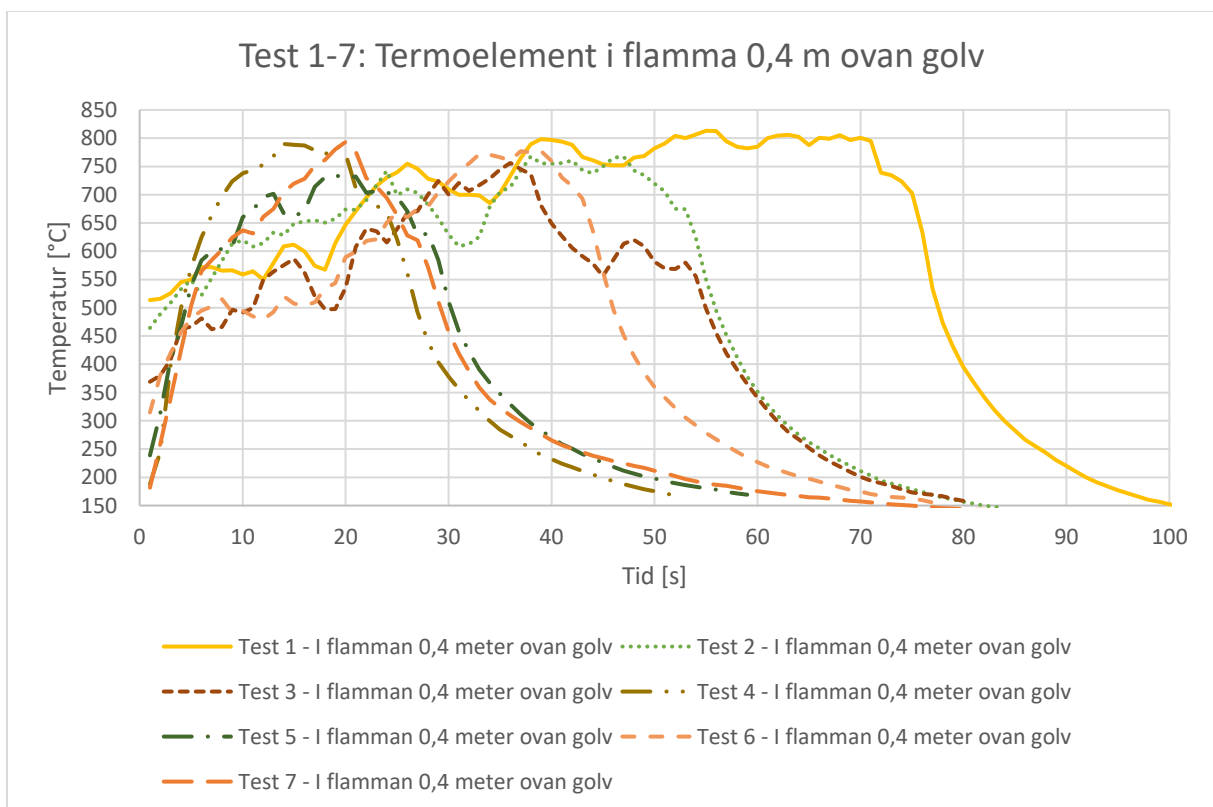
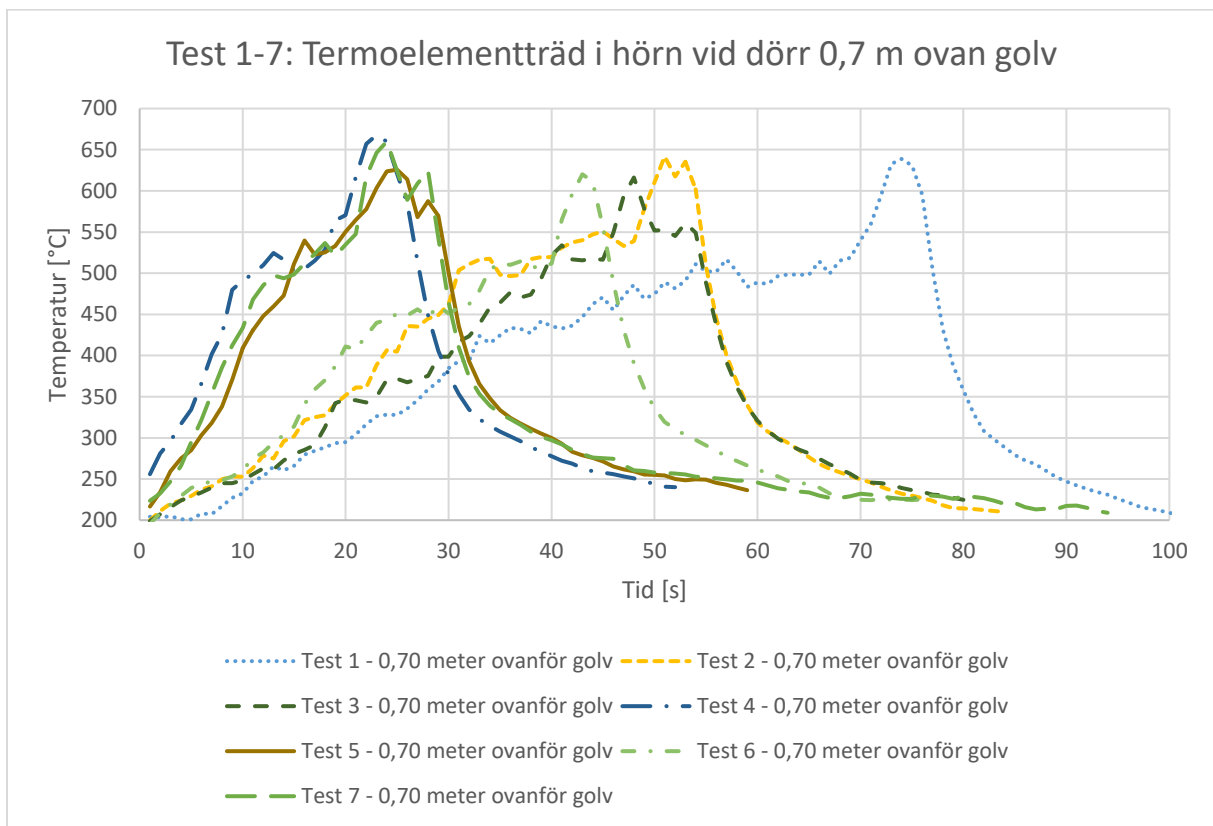
H0: Det finns ingen skillnad i massavbrinning vid tester med mörkt resp. ljust släckpulver-> H0=H1	
H1: Vid försök med mörkt släckpulver var massavbrinningen högre än vid tester med ljust släckpulver.	
Mörkt: Medelmassavbrinning	3,371769
Mörkt: Standardavvikelse	0,608769
Mörkt: Population	40
Ljust: Medelmassavbrinning	2,886628
Ljust: Standardavvikelse	0,732113
Ljust: Population	40
Frihetsgrader=	78
$s^2p=$	0,453294
tobs=	3,222498
tobs>3,090 -> Kan påvisas med 99,8 % säkerhet	

H0: Det finns ingen skillnad i släcktid mellan släckpulver oavsett drivgas -> H0=H1	
H1: Med luft som drivgas erhålls en längre släcktid:	
Test 1-9 & 12-14	
Luft: Medelsläcktid	6,167167
Luft: Standardavvikelse	1,523042
Luft: Population	12
Test 15-27 förutom 20.	
Kväve: Medelsläcktid	5,82
Kväve: Standardavvikelse	1,818791
Kväve: Population	12
Frihetsgrader=	22
$s^2p=$	2,813828
tobs=	0,50695
tobs <<1,717 -> Kan ej påvisas.	

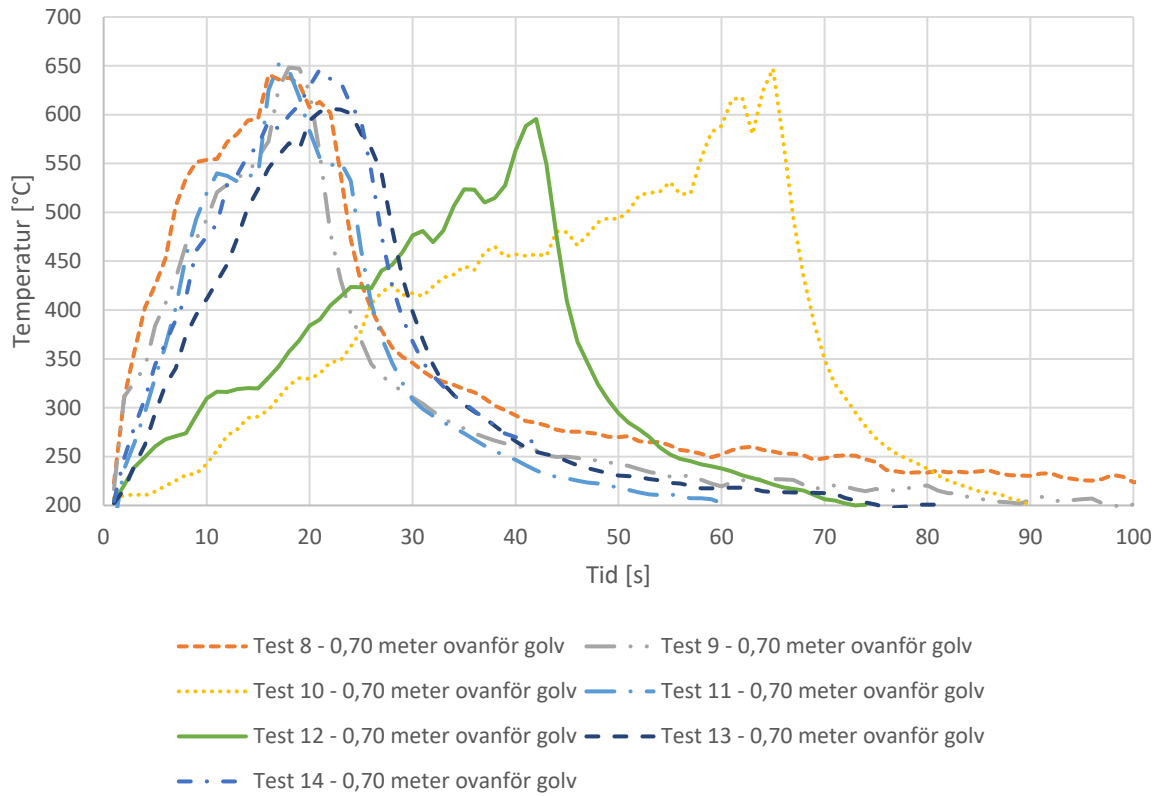
H0: Det finns ingen skillnad i släcktid mellan mörkt och ljusst släckpulver oavsett drivgas med justerad släcktid för ofärgat släckpulver-> H0=H1	
H1: Ljust släckpulver har längre släcktid än mörkt oavsett drivgas med justerat värde för ljusst släckpulver:	
Ljust: Medelsläcktid	6,725583
Ljust: Standardavvikelse	1,831327
Ljust: Population	13
Mörkt: Medelsläcktid	5,36
Mörkt: Standardavvikelse	1,286095
Mörkt: Population	11
Frihetsgrader=	22
$s^2p=$	2,581160
tobs=	2,074785
tobs>2,074 -> Kan påvisas med 95 % säkerhet	

Bilaga C

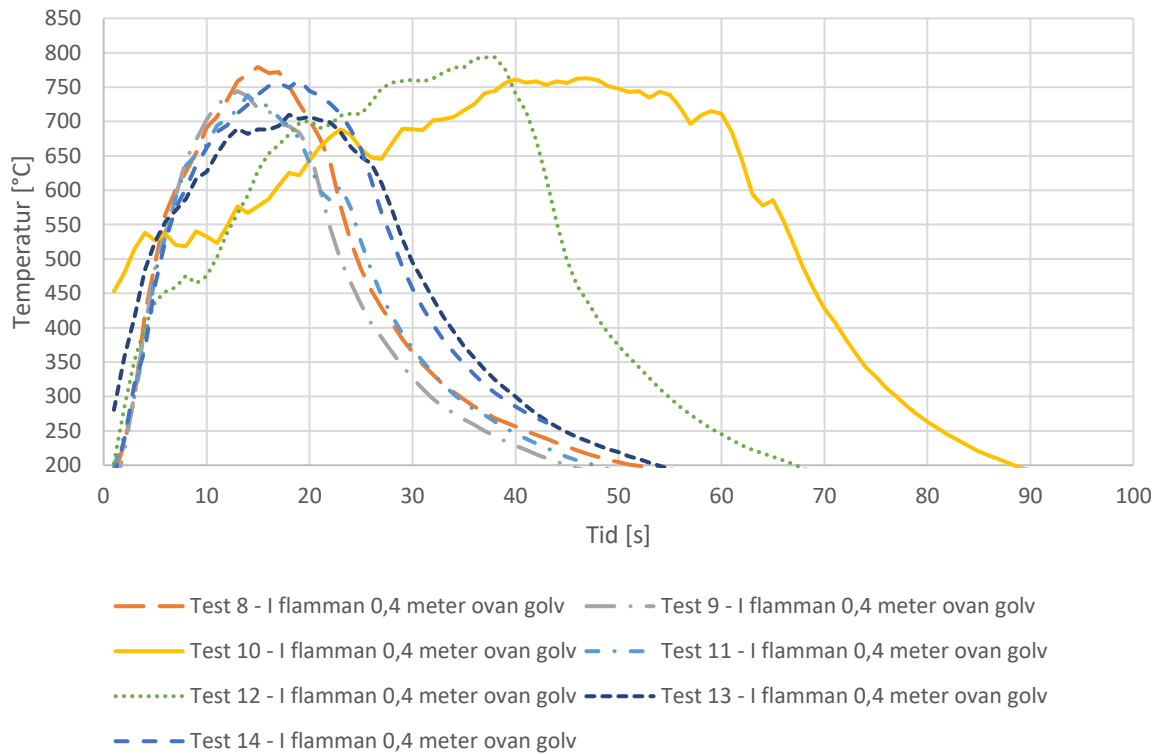
I följande bilaga redovisas Temperatur-tid-diagram för varje försök, grupperat i respektive grupp.



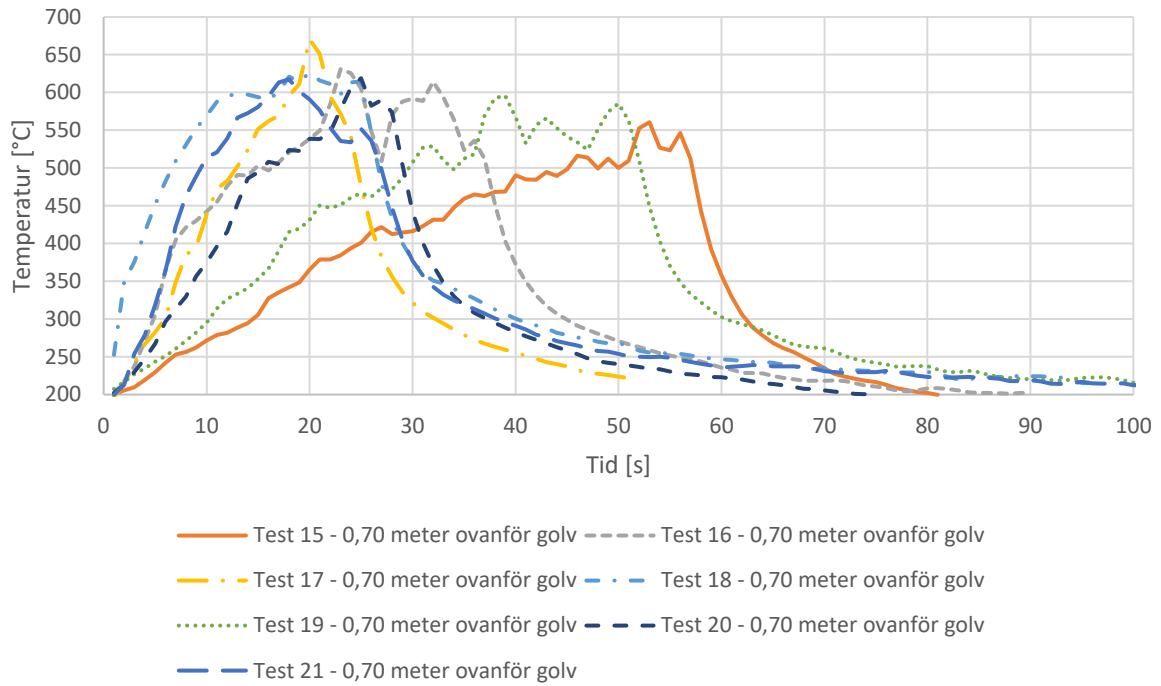
Test 8-13: Termoelementtråd i hörn vid dörr 0,7 m ovanför golv



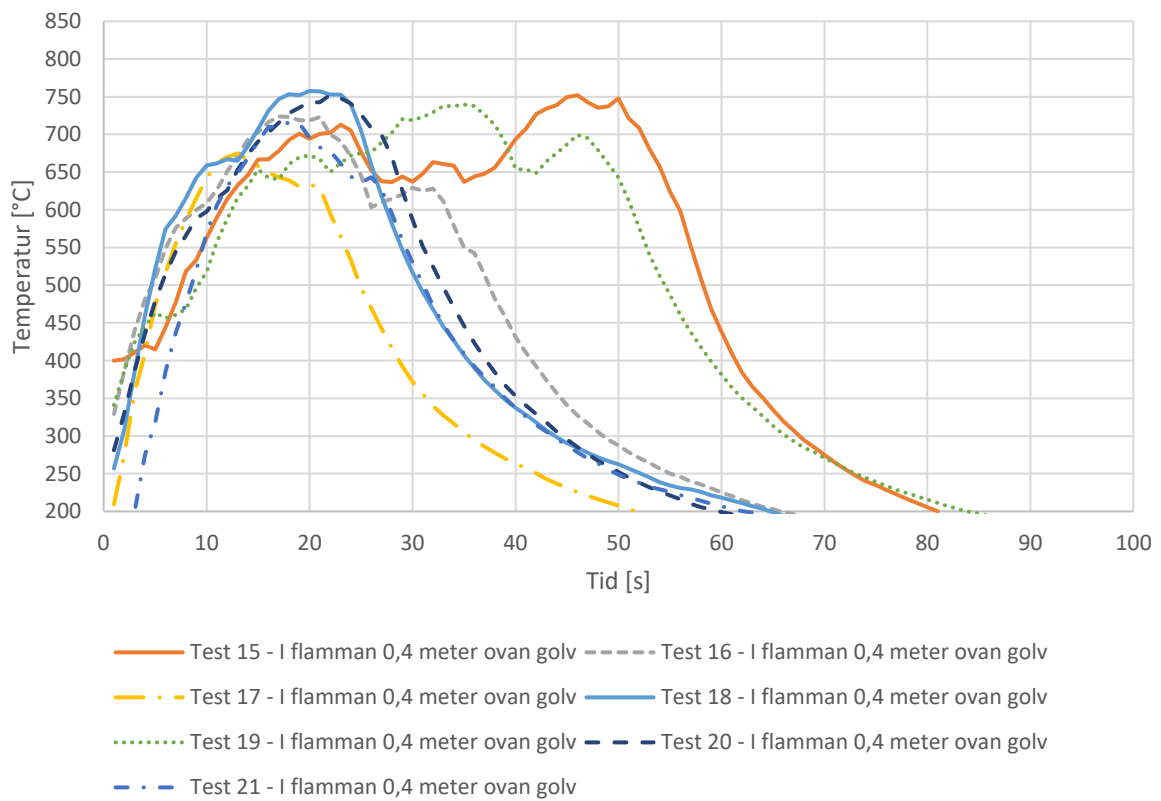
Test 8-13: Termoelement i flamma 0,4 m ovanför golv



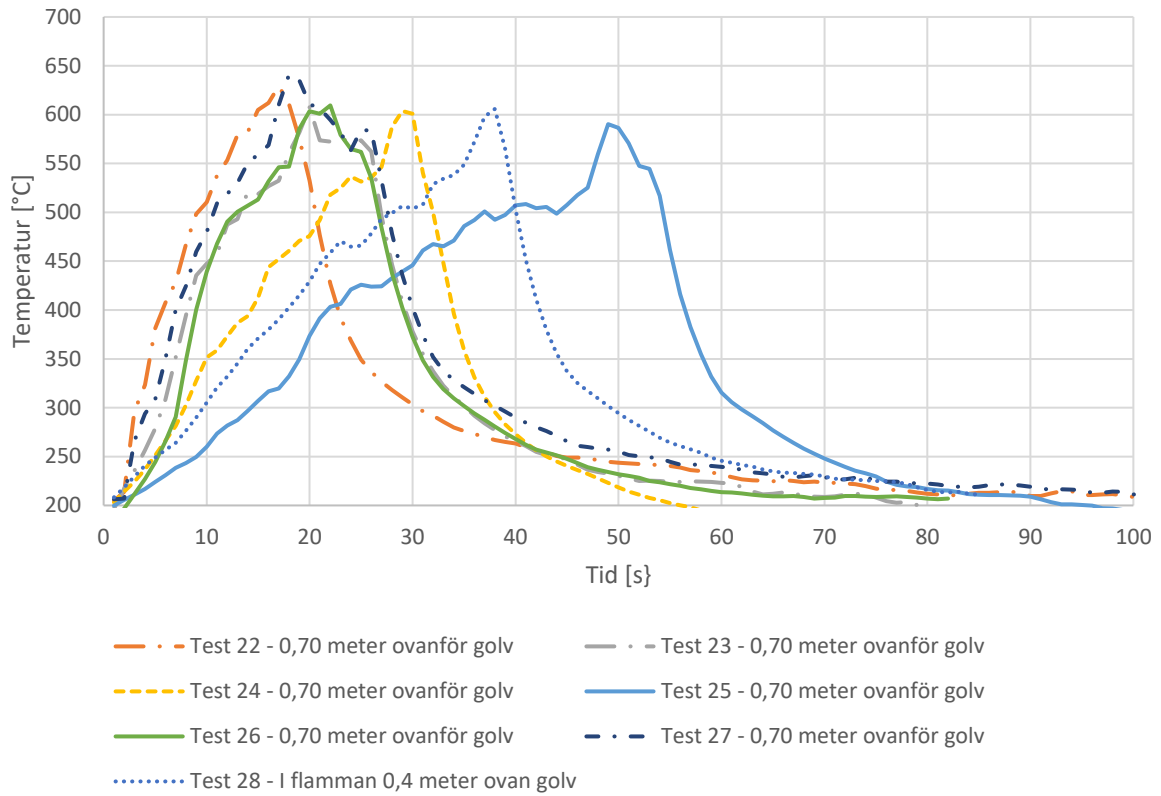
Test 15-21: Termoelementtråd i hörn vid dörr 0,7 m ovan golv



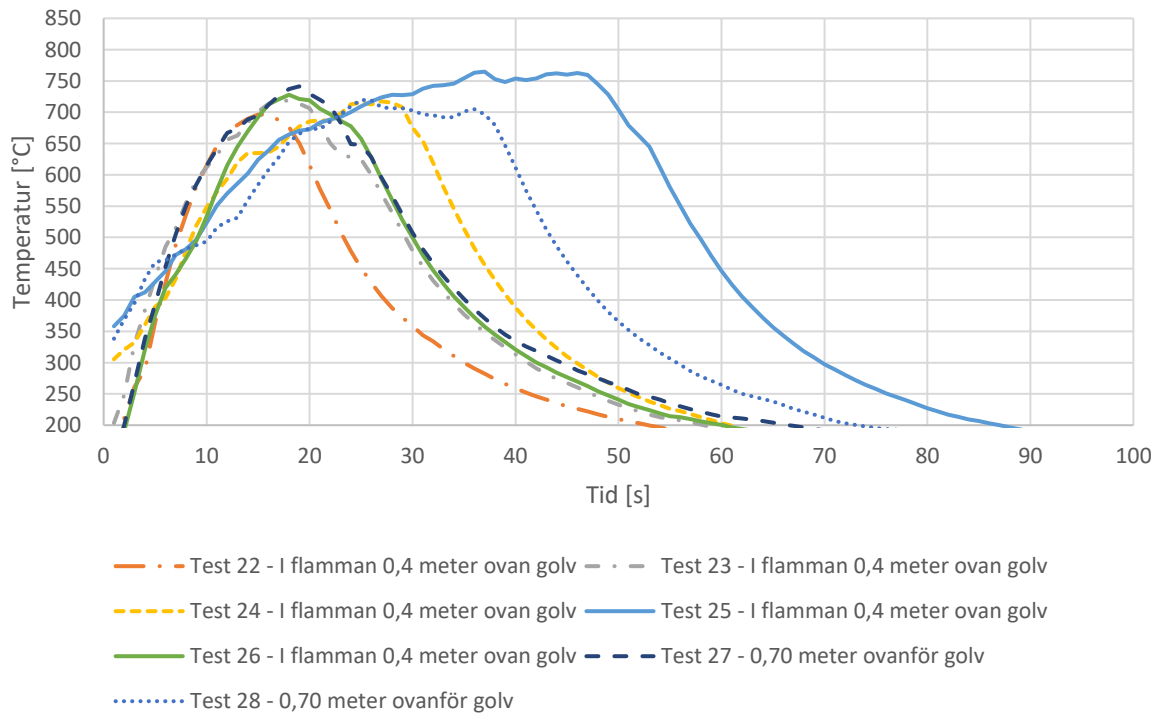
Test 15-21: Termoelement i flamma 0,4 m ovan golv



Test 22-28: Termoelementtråd i hörn vid dörr 0,7 m ovan golv



Test 22-28: Termoelementtråd u flamma 0,4 m ovan golv



Bilaga D

I följande bilaga redovisas den fullständiga listan över släcktider och övriga data från försöken.

Försök	Släckmedels- typ	Drivgas	Flöde drivgas [l/s]	Pulverflöde [g/s]	Tid till släckning [s]	Anmärkning
1	Ljust	Luft	3,0	4,9	4,83	
2	Ljust	Luft	3,0	4,9	5,86	
3	Ljust	Luft	3,0	4,9	8,63	
4	Ljust	Luft	3,0	4,9	5,5	
5	Ljust	Luft	3,0	4,9	7,4	
6	Ljust	Luft	3,0	4,9	4,76	
7	Ljust	Luft	3,0	4,9	7,5	
8	Mörkt	Luft	3,0	4,9	5,0	
9	Mörkt	Luft	3,0	4,9	7,53	
10	Mörkt	Luft	3,0	4,9	7,96 *	För hög temp. vid påföring, används ej.
11	Mörkt	Luft	3,0	4,9	8,56 *	För hög temp. vid påföring, används ej.
12	Mörkt	Luft	3,0	4,9	3,6	
13	Mörkt	Luft	3,0	4,9	7,56	
14	Mörkt	Luft	3,0	4,9	5,83	
15	Mörkt	Kvävgas	3,0	4,9	3,83	
16	Mörkt	Kvävgas	3,0	4,9	5,3	
17	Mörkt	Kvävgas	3,0	4,9	4,36	
18	Mörkt	Kvävgas	3,0	4,9	4,96	
19	Mörkt	Kvävgas	3,0	4,9	5,53	
20	Mörkt	Kvävgas	3,0	4,9	10,86 **	Glasruta sprack, används ej.
21	Mörkt	Kvävgas	3,0	4,9	5,46	
22	Ljust	Kvävgas	3,0	4,9	5,26	
23	Ljust	Kvävgas	3,0	4,9	8,86	
24	Ljust	Kvävgas	3,0	4,9	4,53	
25	Ljust	Kvävgas	3,0	4,9	4,93	
26	Ljust	Kvävgas	3,0	4,9	7,06	
27	Ljust	Kvävgas	3,0	4,9	9,76	
28	Ljust	Kvävgas	3,0	4,9	4,5 ***	För låg temp. Vid påföring, används ej.
29	Ingen	Kvävgas	3,8	0,0	Släcks ej	
30	Ingen	Kvävgas	8,4	0,0	Släcks ej	

Bilaga E

I följande bilaga redovisas ett detaljerat utförande för försöken som utfördes.

Detaljerat laborationsförfarande

1. Materiell lastas i Lund och transporteras till Revinge
2. Försöksmaterial lastas av i Revinge
3. Brandrum flyttas till försöksplats
4. Kvävgasflaska/kompressor kopplas på till blästerpistol
5. Oljeduschspruta testas utanför brandrum.
6. Eventuellt kapas hål i borte vägg och brandglas sätts in.
7. Termoelementtråd sätts upp i hörn av brandrum och kopplas till datacentral
8. Termoelementtråd sätts upp vid dörr till ISO-rum och kopplas till datacentral
9. Våg placeras i öppning till ISO-rum.
10. Heptankärlets temperatur kontrolleras vara under 80°C för att säkerställa att termisk tändtemperatur ej uppnåtts.
11. Heptankärl fylls med hälften vatten
12. Heptankärl fylls med hälften heptan.
13. Heptankärl ställs på våg vid öppning till ISO-rum
14. Heptankärl förs in med kratta till mitten av borte kortsida i ISO-rum
15. Heptankärl antänds med 1,5 meter tändlans på behörigt avstånd från ISO-rum
16. Pulverbehållare fylls och skakas i 10 sekunder. Aktuellt tryck och flöde antecknas.
17. Termoelement av typ K 0,70 meter ovan golv visar 520 °C.
18. Påföring med släckpulver sker med oljeduschspruta in mot bakre vägg.
19. Påföring av släckmedel fortsätter till eld är slocknad, eller till 30 sekunder efter påbörjan av släckning.
20. Anteckning av tid till släckning av heptanbål
21. Om ej släckning av flammen inträffar låts flammen brinna ut eller släcks med koldioxidsläckare
22. Om heptanbålet slocknar vädras brandgaser ut genom försiktig avlyftning av oandel av ISO-rum. Vinden i ryggen vid avlyftning.
23. ISO-rum lämnas för avkylning i minst 3 minuter
24. ISO-rum städas ur från pulver med sopborste som läggs i säck
25. Vid upprepade försök upprepas Steg 7 - Steg 24.
26. Städning av ISO-rum, backdraftcontainer
27. Lastning av försöksmaterial och transport till Lund
28. Avlastning och vård av försöksmaterial
29. Avslutande av försök