

# **Pyrotekniskt genererade aerosoler – experimentella studier med avseende på funktion och risker rörande människa och teknik.**

Jonas Ekström  
Björn Nilsson

---

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

**Brandteknik och Riskhantering  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet**

**Report 5263, Lund 2009**



**Pyrotekniskt genererade aerosoler**  
**- experimentella studier med avseende på funktion och**  
**risker rörande människa och teknik.**

Jonas Ekström  
Björn Nilsson

**Rapporten är framtagen i samarbete med**  
Vattenfall, Ringhals  
Bravida  
Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lund Tekniska Högskola

**Titel**

Pyrotekniskt genererade aerosoler -*experimentella studier med avseende på funktion och risker rörande människa och teknik.*

**Title**

Pyrotechnically generated aerosoles – *experimental studies regarding efficiency and risk concerning human health and electrical components*

**Report number**

5263

**Antal sidor/Number of pages**

74

**Nyckelord**

Pyrotekniskt genererade aerosoler, gasformiga släckmedel, PGA, hälsorisker

**Keywords**

Pyrotechnically generated aerosoles, gaseous extinguishing agents, PGA, healthrisks

**Språk/Language**

Svenska/Swedish

**Abstract**

This report is a study on the effects pyrotechnically generated aerosols, PGA, has on electrical components and our health. Experiments were conducted in small and full scale at Lunds tekniska högskola and the Swedish rescue service's school at Revinge. The experiments were conducted using only one type of PGA with exception for the full scale experiments in wich two types were used. The experiments conducted were: studies on what effect a sedimented aerosol had on low voltage circuits? Does an aerosol lower energy needed for an electric discharge between to points in a high voltage system? What is the effect on sight conditions in an enclosure filled with an aerosol? Does the PGA fulfil the requirements in various regulations regarding sound levels and discharge times? Is the PGA toxic? What is the particle size distribution? Can a PGA extinguish fires in cabinets placed in a PGA protected enclosure?

The answer to all these questions was very satisfying and the results showed that the PGA is a very good extinguishing agent and the effect on electrical components was minimal. One concern is the effect on humans, the levels of ammonia and carbon monoxide generated by the PGA was very high, leading to the conclusion that a PGA system should not be installed in enclosures normally occupied by persons.

© Copyright: Brandteknik och Riskhantering, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2009.

Brandteknik och Riskhantering  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
221 00 Lund

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

Telefon: 046 - 222 73 60  
Telefax: 046 - 222 46 12

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

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

Telephone: +46 46 222 73 60  
Fax: +46 46 222 46 12

## Förord

Ett examensarbete skall vara den slutgiltiga prövningen för studenter på denna nivå. Flera års studier skall ge de kunskaper som gör det möjligt att genomföra detta. Men trots en gedigen och omfattande utbildning så finns inte alltid alla kunskaper som behövs där. Det är vid dessa tillfällen som man får vända sig till andra och be om hjälp. Vi vill tacka ett antal personer för att de gjort detta arbete möjligt.

Vi tackar:

Göran Holmstedt – vår närmsta handledare för hjälp med det mesta och för intressanta diskussioner om kosmisk strålningens inverkan på överlagsspänning.

Tommy Magnusson, Richard Qvarfell och Brandforsk för att de var med och gjorde detta projekt möjligt som en del i något större.

Patrick van Hees – för hjälp med hantering av mätinstrument och att inspirera till att tänka utanför lådan.

Anders Gudmundsson – för hans arbete med mätningar och envishet att visa varför saker inte alltid är som man själv tycker de borde vara.

Johan Åqvist – för allmän assistans med att få fram material och resultat.

Till sist vill vi skicka ut ett speciellt tack till Sven-Ingvar Granemark för att vi fick ockupera labbet under så lång tid, hjälp med transporter och inköp, installation, kunnande och gott sällskap under långa dagar i labbet.



## Summary

Pyrotechnically Generated Aerosols PGA is a relatively new fire extinguishing agent on the Swedish market and its effects on electronic components and on our health is not fully determined. The purpose of this report is to try to answer some existing questions. Is PGA dangerous to our health? Are harmful levels of bi-products produced? Is the PGA dangerous for electronic components? Is the electric conductivity in air changed?

Several experiments were conducted but only with one type of PGA and with a set concentration of 40-80 g/m<sup>3</sup>. The experiments were conducted in small-scale at the Brandteknik laboratory in LTH and the full-scale experiments at the Swedish rescue service training field in Revinge.

Experiments using low voltage circuits were conducted and these circuits were exposed to a pure PGA and a PGA that had extinguished a fire. The results of these experiments show that the PGA does not have any corrosive effects on the boards and the voltage did not change even though the circuits were exposed during a long time.

The high voltage spark experiments showed that a released PGA lowers the amount of energy needed for a spark to form but that this decrease is well within the limits of the regulations used today.

Results from the experiments measuring the sound level produced when a PGA is activated shows that the regulations set by Arbetsmiljöverket are not exceeded.

The pressure build-up when a PGA is activated was measured and the results show that this build-up is no threat to constructions.

Measurements on visibility confirmed that the visibility is reduced to near nothing when a PGA is activated and that it stays this way for a long time. This also confirms that it is likely that PGA will keep a fire from re-igniting for a long time.

An analysis of the compounds produced when the PGA is activated showed that the level of CO<sub>2</sub> is far below the IDLH-value. The CO levels are just below the IDLH-value and should be taken under consideration when installing a PGA-system. The NH<sub>3</sub> levels ended up at double the IDLH-value and therefore should be a factor taken into consideration when a PGA-system is installed. The recommendation will be that a PGA-system should not be installed in enclosures normally used by people.

The size of particles generated by a PGA was measured and the distribution of size showed that the particles have the optimal size for depositing in our lungs. A study of related literature gave that experiments have been conducted where rats were exposed to a similar PGA, but with higher concentration levels and a long exposure time. There were no fatalities amongst the exposed rats but a few of them showed symptoms of pneumonia. Further studies on the subject is required to reach a conclusion on if and how dangerous the particles are to humans. The conclusion of this report is that a PGA-system should not be installed in enclosures normally used by people.

The full-scale experiments was conducted using a higher concentration of PGA and the purpose of these experiments were to study how a PGA-system works as a room-flooding system, and how it responds to ventilation when penetrating cabinets placed in the protected

room. The conclusion of these experiments was that the PGA was not able to extinguish all fires in the protected room, especially the ones placed on the ground, those fires kept burning with a reduced effect. When considering the configuration of PGA-canisters, the conclusion was that with a different set-up of the canisters, both spatial and amount (with the same concentration) all external fires could have been extinguished. One fire kept on burning in the cabinet with forced ventilation, the reason for this is likely to be that the installed fan in the cabinet changed the flow of PGA diverting it from its intended target, the fire. The conclusion drawn from these experiments are that the design of the system, i.e. where and in what direction the canisters are installed, it should work as a good room-flooding system. And that forced ventilation is not always preferable because it can change the direction of flow so the PGA never reaches its target.



## Sammanfattning

Pyrotekniskt genererade aerosoler (PGA) är ett relativt nytt släckmedel på den svenska marknaden och dess effekter på elektroniska komponenter och på vår hälsa är inte fullt utredda. Syftet med denna rapport är att försöka ge svar på några frågor som finns. Är PGA farligt för hälsan? Genereras skadliga halter av restprodukter? Är genererad aerosol skadlig för elektriska komponenter? Ökar utlöst aerosol ledningsförmågan i luft?

Ett flertal försök utfördes dock med endast ett fabrikat och med en dimensionerande koncentration av 40-80 g/m<sup>3</sup>. Försöken utfördes i liten och i full skala, småskaleförsöken i brandtekniks lokaler på LTH och fullskaleförsöken på Räddningsverkets övningsfält i Revinge.

Försök med svagströmskretsar genomfördes och dessa kretskort exponerades både för ren PGA och en PGA som fått släcka en flamma. Resultaten av dessa försök visar att aktuell PGA inte har korrosiva egenskaper på kretskort och att spänningen ej förändras trots att korten exponerades under lång tid.

Försöken med överslag av högspänning visade på att utlöst PGA sänker spänningsnivån som krävs för att ett överslag skall ske, men denna sänkning är väl inom ramen för dagens regelverk och är således försumbar.

Vidare gav resultat från mätningar av den ljudnivå som alstras vid utlösning av aktuell PGA att ljudnivån ej överstiger arbetsmiljöverkets nivåer för skadliga ljud.

Mätningar av tryckuppbyggnaden vid utlösning av den aktuella koncentrationen gav att tryckuppbyggnaden inte kommer att påverka en byggnads konstruktion.

Siktbarhetsförsöken bekräftade att sikten omedelbart blir obefintlig när en PGA aktiveras och att den förblir så under mycket lång tid. Detta medför emellertid att återantändningsskyddet är gott, men att den dåliga sikten försvårar en eventuell utrymning.

En analys av de produkter som bildas när aktuell PGA utlöses, både med släckande och utan släckande av en flamma, visade att halterna av CO<sub>2</sub> ligger långt under IDLH nivån. CO halterna hamnade strax under IDLH och bör således beaktas vid framtida installationer. NH<sub>3</sub> halterna hamnade på dubbla IDLH och bör därför bli den dimensionerande faktorn när en PGA installation skall ske. Rekommendationen blir att ett PGA system ej skall installeras i utrymmen där personer normalt vistas.

Partikelstorleken mättes och storleksfördelningen visade sig vara optimal för deponering i lungorna, litteraturstudier gav att försök med liknande PGA har utförts på råttor, dessa exponerades för höga koncentrationer under lång tid och inga dödsfall rapporterades. En liten del av råttorna visade symptom på lunginflammation efter exponeringen däremot inga andra allvarliga symptom. Här krävs det mer studier för att klargöra huruvida PGA är skadligt för människor, återigen blir rekommendationen att ett PGA system ej skall installeras i utrymmen som personer normalt vistas i.

Fullskaleförsöken utfördes med en högre dimensionerande koncentration och syftet med försöken var att undersöka huruvida ett PGA system kan fungera som ett rumskydd samt hur forcerad och naturlig ventilering av elskåp påverkar inträngningsförmågan till skåp i det skyddade rummet. Resultaten gav att PGA:n ej släckte alla bål i det skyddade rummet eller i

det skåp som försetts med forcerad ventilation. Det bål i rummet som inte släcktes var lågt och centralt placerat och brann vidare med reducerad effekt efter utlösning av PGA. Efter försöket konstaterades det att med en annorlunda konfiguration av PGA behållare så hade även detta bål släckts. I skåpet med forcerad ventilation brann bålet som var placerat högst upp vidare, detta förklaras med att fläkten var placerad i toppen av skåpet och det aktuella bålet var placerat så att flödet av aerosol aldrig nådde detta bål. Slutsatsen blir att med rätt antal PGA behållare placerade på rätt sätt kan ett PGA system fungera som ett fullgott rumskydd och att forcerad ventilation inte alltid är att föredra då en fläkt kan ändra flödet i ett skåp så att aerosolen aldrig når det tänkta målet.

# Innehållsförteckning

<b>Summary .....</b>	<b>9</b>
<b>Sammanfattning .....</b>	<b>11</b>
<b>Innehållsförteckning .....</b>	<b>13</b>
<b>1 Inledning .....</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund och syfte .....	1
1.2 Frågeställning .....	1
1.3 Metod .....	2
1.4 Avgränsningar .....	2
<b>2 Begrepp och teori .....</b>	<b>3</b>
2.1 Aerosolers alstring och distribution .....	3
2.1.1 Dispersionsmetoden .....	3
2.1.2 Kondensationsmetoden .....	3
2.2 Släckegenskaper hos aerosoler .....	3
2.3 Personrisker .....	5
2.3.1 Partikelxponering av luftvägarna .....	5
2.3.3 Exponering för impulsljud .....	5
2.3.4 Sikt försämring .....	6
2.4 Miljörisker .....	6
<b>3. Allmänt om Firepro .....</b>	<b>9</b>
3.1 Teknisk Data .....	9
3.1.1 Innehåll FirePro pyrotekniskt genererade aerosol .....	9
3.2 Aktivering .....	9
3.2.1 Värmekänslig utrustning .....	9
<b>4 Försöksbeskrivningar och försöksuppställningar .....</b>	<b>11</b>
4.1 Släckegenskaper .....	11
4.1.1 Utlösningstid .....	11
4.1.2 Containerförsök .....	11
4.2 Påverkan på byggnader och teknisk utrustning .....	12
4.2.1 Påverkan på en persondator .....	12
4.2.2 Högsämningsförsök .....	12
4.2.3 Svagströmsförsök .....	13
4.2.3.1 Utan släckning .....	13
4.2.3.2 Med släckning .....	13
4.2.4 Tryckuppbyggnad .....	13
4.3 Påverkan på människa .....	14
4.3.1 Partikelstorlek .....	14
4.3.2 Siktbarhetsförsök .....	14
4.3.3 Ljudnivå .....	14
4.3.4 Toxicitet .....	15
<b>5 Resultat .....</b>	<b>17</b>
5.1 Släckegenskaper .....	17
5.1.1 Utlösningstid .....	17
5.1.2 Containerförsök .....	18
5.1.2.1 Bränder i skåp .....	18
5.1.2.2 Utvändiga flammor .....	20
5.1.2.3 Rumstemperatur .....	21
5.2 Påverkan byggnader och elektrisk utrustning .....	22
5.2.1 Påverkan på en persondator .....	22
5.2.2 Högsämningsförsök .....	22
5.2.3 Svagströmsförsök .....	23

5.2.3.1 Utan släckning .....	23
5.2.3.2 Med släckning 40g/m <sup>3</sup> .....	25
5.2.4 Tryckuppbyggnad .....	27
<b>5.3 Påverkan på människa .....</b>	<b>27</b>
5.3.1 Partikelstorlek .....	27
5.3.2 Siktbarhetsförsök .....	28
5.3.3 Ljudnivå .....	29
5.3.4 Toxicitet .....	29
<b>6 Diskussion .....</b>	<b>31</b>
<b>6.1 Släckegenskaper .....</b>	<b>31</b>
6.1.2 Utlösningstid .....	31
6.1.3 Fullskaleförsök .....	31
<b>6.2 Påverkan byggnader och utrustning .....</b>	<b>31</b>
6.2.1 Påverkan på en persondator .....	31
6.2.2 Högsämningsförsök .....	31
6.2.3 Svagströmsförsök .....	32
6.2.4 Tryckuppbyggnad .....	32
<b>6.3 Påverkan på människa .....</b>	<b>32</b>
6.3.1 Partikelstorlek .....	32
6.3.2 Siktbarhetsförsök .....	32
6.3.3 Ljudnivå .....	32
6.3.4 Toxicitet .....	33
<b>7 Slutsats.....</b>	<b>35</b>
<b>8 Referenser .....</b>	<b>37</b>
<b>Bilaga A. Effektberäkning och beräkning av storlek på kärl. ....</b>	<b>39</b>
X.1. Effektberäkning av flaman. ....	39
X.2. Beräkning av kärlets storlek. ....	39
<b>Bilaga B – Högsämningsstest .....</b>	<b>41</b>
<b>Bilaga C – Försöksuppställning vid släckförsök .....</b>	<b>43</b>
<b>Bilaga D – Analys av gasproduktion .....</b>	<b>49</b>

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund och syfte

Sedan halon förbjöds vid årsskiftet 1997/98 så har marknaden för rena släckmedel ersatts av så kallade HFC-gaser och inertgaser. Dessa har dock sina nackdelar. HFC-gaser bidrar, om än i mindre utsträckning än Halon, till miljöproblem då dessa är växthusgaser. Inertgaser, som t.ex koldioxid, har en mindre inverkan på miljön men kräver stora lagringsutrymmen då släckeffektiviteten är låg. Båda kräver dessutom installationer med rör och behållare liknande vanliga sprinklersystem vilket är kostsamt och utrymmeskrävande. Det är därför intressant att hitta andra rena släckmedel som på ett effektivt sätt kan stoppa ett brandförlopp utan att släckmedlet i sig är skadligt för miljön, det som skall skyddas eller människor som kan komma att exponeras.

Pyrotekniskt genererade aerosoler (förkortas fortsättningsvis som PGA) bildas genom att en fast substans upphettas till förångning som vid kylning bildar en aerosol med mycket små partiklar. Metoden har många fördelar såsom att systemen är enkla att installera och att släckverkan är mycket god per viktenhet. Till de kända nackdelarna är den omedelbara siktnedsättningen det största problemet vilket gör att de endast bör användas i obemannade utrymmen. Det finns dock ett stort behov av ett effektivt släckmedel för just denna typ av utrymmen (t.ex elskåp, datorcentraler m.m). PGA har dock inte testats i den utsträckning som krävs för att man ska kunna känna sig säker på hur effektivt och säkert det är med avseende på toxicitet och skador på elektronik och annan utrustning. Denna osäkerhet gör att aerosoler som släckmedel, trots sina många fördelar, inte fått något större genomslag.

I USA har man tagit fram en standard, NFPA 2010, som reglerar användning och installation av PGA-system. I Sverige finns det ännu inga lagar som reglerar användningen av aerosolsläckmedel.

Syftet med detta arbete är att agera som en förstudie gällande en del av de orosmoment som finns vid användning av PGA. Målet är att få fram resultat som kan agera som underlag för vidare diskussion om vilka skadeverkningar som PGA kan ha på elektronik samt vissa hälso- och säkerhetsaspekter.

## 1.2 Frågeställning

Frågorna som det söks svar på i denna rapport behandlar primärt kortsiktig (upp till ungefär en vecka) inverkan på elektronik samt omedelbar toxisk inverkan på människan. Bland de omedelbara skadeverkningarna på människan kommer ljudnivå vid aktivering undersökas, siktsänkning samt hur stort tryck som genereras vid aktivering. Den sistnämnda faktorn kan ha inverkan både på människan och på konstruktioner. Gällande elektronik och el så ställs frågor kring inverkan på lågspänningskretsar samt förändring i luftens ledning i ett aerosolfyllt utrymme. Förändring av luftens ledningsförmåga kan vara skadligt både för människor och utrustning om ändringen är stor och säkerhetsmarginalerna små.

### **1.3 Metod**

Arbetet genomförs i tre faser. Den första fasen är en förberedelsefas där utrustning testas, relevant litteratur studeras och den utrustning som saknas konstrueras.

Därefter följer en försöksfas där de uppsatta experimenten genomförs. Resultaten från dessa, med bakgrund av litteraturen, analyseras och diskuteras sedan under utvärderingsfasen.

### **1.4 Avgränsningar**

Detta arbete är primärt ett underlag för en diskussion om vidare testning av PGA. Endast en typ av PGA har använts i en typ av utrymme med liknande förhållanden i samtliga småskaleförsök. I storskaleförsöken användes ytterligare en typ av PGA. Gällande inverkan på kretsar har ingen korrosionsanalys genomförts utan testerna baseras endast på spänningsförändringar, enligt överenskommelse med handledaren. Småskaleförsöken utfördes med 2 olika koncentrationer, 40 och 80 g/m<sup>3</sup>, koncentrationerna är valda med tillverkarens lägsta dimensionerande koncentration som riktmärke (80 g/m<sup>3</sup>). 40 g/m<sup>3</sup> används då koncentrationen ej är av betydelse för försökens utfall.

## 2 Begrepp och teori

Nedan redogörs för några begrepp och en del teori rörande pyrotekniska aerosolsläckmedel.

### 2.1 Aerosolers alstring och distribution

En aerosol består av mycket små, i storleksordningen nano- till mikrometer, fasta eller vätskeformiga partiklar som är fördelade i en gas. Dessa partiklar kan skapas och distribueras genom, i huvudsak, två olika metoder: dispersion- och kondensationsmetoden.

#### 2.1.1 Dispersionsmetoden

Dispersionsmetoden går ut på att en fast substans mals ned till önskad kornstorlek. Pulvret trycksätts i en tryckbehållare med gas, vanligtvis en inertgas. Gasen har som funktion att driva ut pulvret ur behållaren, sprida pulvret samt, i de fall där en inertgas används, agera som ytterligare en släckande komponent i aerosolen som bildas. Detta är i stort samma princip som används i pulversläckare där den huvudsakliga skillnaden ligger i att pulver i vanliga släckare har en större kornstorlek än den i aerosolbildande system. [1]

#### 2.1.2 Kondensationsmetoden

Denna metod består i att en fast substans antänds vilket bildar en ånga. Substansen består av ett finfördelat pulver, bindemedel, oxidationsmedel och ett förtunningsmedel. När ångan drivs ut ur sin behållare genom den termiska expansionen får den passera ett kemiskt och/eller fast kylsystem (t.ex ett finmaskigt nät som absorberar värme från ångan) som resulterar i att ångans temperatur sjunker och då övergår till fasta eller vätskeformiga partiklar. Fördelen med detta system är att det inte kräver några tryckbehållare eller ledningar utan aerosolgeneratoren kan installeras direkt i utrymmet som skall skyddas.

Kondensationsgenererade aerosoler dominerar marknaden och det är endast denna typ som undersöks i detta arbete. [1]

### 2.2 Släckegenskaper hos aerosoler

Släckverkan från aerosoler sker dels genom att partiklarna absorberar värme från flamman samt genom att bryta in i de kemiska reaktionerna som gör flamman möjlig, så kallad heterogen katalys. Den fasta substansen består huvudsakligen av någon form av kaliumförening och kaliumradikaler är mycket aktiva vilka då avbryter de kemiska förbränningsreaktionerna genom neutralisering av väte-, syre- och hydroxidradikaler i flamman. Gasdelen av aerosolen har dessutom en inerterande effekt. [1]

Dessa reaktioner, och den värmeabsorberande effekten, ökar båda med en förminskning av partiklarnas diameter. En mindre diameter ger partiklarna större yta per viktenhet vilket leder till effektivare värmeabsorption och snabbare kemisk inverkan då små partiklar bryts ned snabbare än stora. Då aerosoler består av just mycket små partiklar i en gas så blir resultatet ett effektivare släckmedel än konventionellt pulver.

En annan viktig egenskap hos aerosoler är att fallhastigheten hos partiklarna minskar med en mindre diameter då ytan blir stor i förhållande till massan vilket gör att luftmotståndet blir relativt stort i förhållande till gravitationskraften. Detta resulterar i att partiklarna håller sig svävande under en längre tid och bidrar därmed till en längre inerteringstid. På så vis får man ett bättre återantändningsskydd. [2]

I och med att partiklarna håller sig svävande så är det också naturligt att de följer luftströmmarna. Detta är en viktig egenskap då detta gör det möjligt för aerosolsläckmedel att släcka flammor i utrymmen som t.ex. ett konventionellt sprinklersystem inte skulle nå, t.ex. in under ett bord eller liknande. Nackdelen är att då partiklarna följer luftströmmarna så blir det svårt att fördela aerosolen jämnt. Detta kan bli ett problem, framför allt med lågt placerade bränder då aerosolen är upphettad vid utlösningen och därmed vill stiga uppåt på grund av den termiska drivkraften. [2]

Tillsammans gör dessa faktorer att PGA blir ett mycket effektivt släckmedel, om det används rätt. Släckverkan per viktenhet är i spannet 3-10 gånger effektivare än Halon. [1]



## 2.3 Personrisker

I detta kapitel redogörs kortfattat för de primära personriskerna rörande aerosolsläckmedel.

### 2.3.1 Partikelxponering av luftvägarna

Hälsoriskerna i anslutning till användning av PGA är dåligt kartlagda. Det man vet är att partiklar i den storleksordning som ingår i aerosolsystem lätt tar sig ned i alveolerna i lungorna, dvs där syreutbytet sker [3](Tabell 2.1). Vilka korta eller långsiktiga effekter detta kan ha beror på koncentrationen och den kemiska sammansättningen av aerosolen. Tester måste alltså göras för enskilda aerosoler och vid den dimensionerade släckkoncentrationen för att säkra huruvida exponeringen kan vara skadlig för människan.

Particle Size ( $\mu\text{m}$ )	Mechanism of Deposition	Location	Clearance Mechanism	Clearance Time
>10	Impaction	Nasopharyngeal	Mucociliary transport	Hours to days
5–10	Impaction	Nasopharyngeal	Mucociliary transport	Hours to days
1–5	Sedimentation	Tracheobronchiolar	Mucociliary transport	Hours to weeks
<1–2.5	Diffusion	Alveolar	Alveolar macrophage	Hours

**Tabell 2.1.** Deponering i olika delar av luftvägarna beroende på partikelstorlek. (Källa: NFPA 2010)

### 2.3.2 Hälsosofarliga produkter vid aktivering

Vid förbränning bildas det alltid någon form av produkter. Vissa av dessa produkter kan vara skadliga för människor beroende på koncentration och exponeringstid. De vanligaste restprodukterna är koldioxid och kolmonoxid varav båda är direkt skadliga för människor vid tillräckligt höga koncentrationer. Dessa restprodukter kan vara direkt avgörande huruvida pyrotekniska aerosolsläckmedel är lämpliga i bemannade utrymmen eller inte.

### 2.3.3 Exponering för impuls ljud

När ett aerosolsystem utlöser, med kondensationsmetod, så uppstår en skarp smäll. Denna smäll kan möjligen orsaka skador på hörselorganet. I Sverige regleras ljudnivån man får utsättas för av arbetsmiljöverket (Tabell 2.2).

	Gränsvärden
Daglig bullerexponeringsnivå $L_{EX,8h}$ [dB]	85
Maximal A-vägd ljudtrycksnivå $L_{pAFmax}$ [dB]	115
Impulstoppvärde $L_{pCpeak}$ [dB]	135 <sup>1)</sup>
<sup>1)</sup> Exponeringsvärdet skall ej tillämpas vid skjutning eller sprängning inom försvaret.	

**Tabell 2.2.** Gränsvärden för olika typer av ljud. (Källa: AFS 2005:16)

### 2.3.4 Sikt försämring

Ett känt problem med aerosolsläckmedel är den omedelbara sikt försämringen vid utlösning. Generellt så minskar siktbarheten med ökad koncentration och minskad partikeldiameter. Vid riktigt små diametrar (0,1 my) så ökar den men i det området som vanliga aerosoler håller sig inom (1-10 my) så blir sikten mycket kraftigt nedsatt vilket får försämrade utrymningsmöjligheter som konsekvens (Tabell 2.3).

Particle Size MMAD ( $\mu$ m)	Visibility (cm) at Varying Concentrations										
	10 mg/m <sup>3</sup>	1,000 mg/m <sup>3</sup>	10,000 mg/m <sup>3</sup>	20,000 mg/m <sup>3</sup>	30,000 mg/m <sup>3</sup>	40,000 mg/m <sup>3</sup>	50,000 mg/m <sup>3</sup>	70,000 mg/m <sup>3</sup>	90,000 mg/m <sup>3</sup>	110,000 mg/m <sup>3</sup>	130,000 mg/m <sup>3</sup>
10	285,600.0	2,856.0	285.6	142.8	95.2	71.4	57.1	40.8	31.7	26.0	22.0
9	248,400.0	2,484.0	248.4	124.2	82.8	62.1	49.7	35.5	27.6	22.6	19.1
8	207,600.0	2,076.0	207.6	103.8	69.2	51.9	41.5	29.7	23.1	18.9	16.0
7	177,600.0	1,776.0	177.6	88.8	59.2	44.4	35.5	25.4	19.7	16.1	13.7
6	156,000.0	1,560.0	156.0	78.0	52.0	39.0	31.2	22.3	17.3	14.2	12.0
5	139,200.0	1,392.0	139.2	69.6	46.4	34.8	27.8	19.9	15.5	12.7	10.7
4	123,600.0	1,236.0	123.6	61.8	41.2	30.9	24.7	17.7	13.7	11.2	9.5
3	114,000.0	1,140.0	114.0	57.0	38.0	28.5	22.8	16.3	12.7	10.4	8.8
2	81,600.0	816.0	81.6	40.8	27.2	20.4	16.3	11.7	9.1	7.4	6.3
1	25,200.0	252.0	25.2	12.6	8.4	6.3	5.0	3.6	2.8	2.3	1.9
0.8	15,600.0	156.0	15.6	7.8	5.2	3.9	3.1	2.2	1.7	1.4	1.2
0.6	12,000.0	120.0	12.0	6.0	4.0	3.0	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9
0.1	163,200.0	1,632.0	163.2	81.6	54.4	40.8	32.6	23.3	18.1	14.8	12.6

**Tabell 2.3.** Tabell över siktbarheten som funktion av partikelstorlek och koncentration. (Källa: NFPA 2010)

### 2.4 Miljörisker

Pyrotekniskt genererade aerosoler anses vara miljövänliga. ODP-värdet (Ozone Depletion Potential) är noll och de har ett lågt GWP-värde (Global Warming Potential). Däremot så bildas koldioxid vilket påverkar den globala uppvärmningen. [1]

### 2.5 Korrosionsrisker

Studier har visat att de släckande kemikalierna i aerosolsläckmedel uppvisar kraftigt korrosiva egenskaper [4]. Detta gör att man även i fall där man inte kan förvänta sig några korrosiva produkter från förbränningen, t.ex vid bränder i PVC-kablar, bör initiera saneringsåtgärder snarast möjligt. Genomförs inte en saneringsprocess kan det med stor sannolikhet uppstå korrosionsskador på metallkomponenter i elektronik m.m.

### 2.6 Strukturella risker

Aerosolsläckmedel är ett *total flooding* system där stora mängder gas och partikeltillförs en volym. Detta kan ställa vissa krav på tryckavlastning i de skyddade utrymmena i likhet med användning av t.ex. koldioxidsystem [5].

## **2.7 Övriga risker**

Pyrotekniska aerosoler har en hög temperatur vid aktivering och även släckmedelsbehållaren upphettas kraftigt vid aktivering. Detta kan ge upphov till både skador på människor och exponerade material i dess närhet. Se Kapitel 3.2.1 för mer information om det testade fabrikatet.

## **2.8 Användningsområden**

Aerosolsystem är i första hand lämpade för obemannade utrymmen, framför allt p.g.a. den omedelbara siktförsämringen men även p.g.a. eventuella hälsorisker. Exempel på utrymmen innefattar bland annat, men är inte begränsat till [1]:

- Motorutrymmen
- Elektriska tillämpningar som elkopplingskåp, transformatorstationer, kabeltunnlar och kontrollrum
- Kommersiella och militära flygapplikationer
- Maskinrum och maskinutrymmen
- Container, lastbilssläp, tågagnar (för transport)
- Förrådsutrymmen
- Lastutrymme för bussar

M.m.



### 3. Allmänt om Firepro

Det släckmedel som använts i försöken är av en modell med namnet Firepro (Figur 3.1) Släckmedlet produceras av företaget Celanova. Det finns ett stort antal olika modeller och den en effektiva släckmedelsvikten varierar mellan 8-6300 gram. [6]

#### 3.1 Teknisk Data

Nedan följer relevant teknisk data för Firepro.

##### 3.1.1 Innehåll FirePro pyrotekniskt genererade aerosol

Enligt tillverkaren av FirePro innehåller släckmedlet som genereras följande produkter vid aktivering (i viktprocent):

- Kaliumnitrat 77 %
- Kaliumkarbonat 4 %
- Magnesium 1 %
- Epoxy Resin polymer 17 %

(Källa: Produktblad för Firepro.)



Figur 3.1. FP-20E

#### 3.2 Aktivering

I samtliga småskaleförsök har modellen FP-20E använts. Modellen innehåller 18 gram av den släckande substansen. Denna modell har två utlösningmekanismer; en som utlöser genom spänning och en termisk utlösare. För spänningsutlösning krävs en spänning om 6-36V och en strömstyrka om minst 0,8A. Den termiska utlösaren aktiveras vid en temperatur om cirka 172° C. [6]

##### 3.2.1 Värmekänslig utrustning

När aerosolen utlöses så bildas en kon av släckmedel i vilken temperaturen är förhöjd som ett resultat av den exoterma reaktion under vilken aerosolen bildas. För större modeller kan denna kon ge temperaturer upp till 300° C på upp till en meters avstånd. För FP-20E så skall temperaturen, enligt produktblad, inte överskrida 200° C på längre avstånd än 0,1 meter och 75° C på ett avstånd av 0,2 meter [6]. Detta avstånd måste det tas hänsyn till framför allt när det gäller installation i t.ex. datorer eller andra system som är känsliga för höga temperaturer eller snabba temperaturförändringar.



## 4 Försöksbeskrivningar och försöksuppställningar

En mängd olika försök behövde genomföras för att få en bra bild av aerosolens generella egenskaper och dess egenskaper i samband med spänningssatta komponenter.

Alla försöken utfördes i en låda med innermått 0,55 m x 0,55 m x 1,65 m (BxDxH) med regelkonstruktionens volym bortdragen gavs en total volym av 0,482 m<sup>3</sup>. Lådan tillverkades av regler och ett skal bestående av 9 mm gipsskiva. För att kunna se vad som hände i lådan kläddes en sida med byggplast. Alla skarvar tätades med fogmassa för att minimera läckage. Patronerna innehållandes aerosol utlöstes med hjälp av en spänningsgenerator ställd på 24V.

### 4.1 Släckegenskaper

Aerosolers släckegenskaper är väldokumenterade men en fråga som inte är besvarad är hur inträngningsförmågan är i ett skåp placerat i ett rumskyddat utrymme är?

#### 4.1.1 Utlösningstid

Den tid det tar från dess att aerosolpatronen aktiveras till dess att allt släckmedel lämnat patronen, detta undersöktes med en våg.

En 20g FirePro placerades på en digital våg vilken kopplades till IMPlog. Patronen aktiverades och viktminskningen loggades.

#### 4.1.2 Containerförsök

Släckförsöken utfördes på Räddningstjänstskolan i Revinge i en modifierad lastcontainer. Containern hade en volym av 26,3 m<sup>3</sup> och var isolerad med mineralull. För att kunna dra in termoelement och annat kablage fanns ett 30 cm<sup>2</sup> hål i sidan, detta tillsammans med porten gjorde att containern inte var helt tät, denna otäthet kan dock anses som försumbar då tryckmätningar ej genomfördes i fullskaleförsöken. I detta utrymme ställdes två skåp, ett med naturlig och ett med mekanisk ventilering, in. I dessa skåp placerades heptanbål med en effekt av 1,7 kW/styck ut, se Bilaga A för beräkning.

I varje skåp placerades en brännare i botten av skåpet och en i mitten. Ute i rummet placerades ytterligare fem heptanbål, se Bilaga C för placering. Samtliga brännare förseddes med termoelement för att kunna övervaka om och när bränderna släcktes under försöken. Termoelementen kopplades till IMPlog som registrerade när brännarna slocknade. I mitten av rummet installerades 5 termoelement i en vertikal linje för att övervaka temperaturförändringarna i rummet under försöket. För placering av skåp, brännare, termoelement och aerosolgeneratorer se bilaga C.

Totalt genomfördes fyra försök med två olika fabrikat som installerades enligt distributörers instruktioner. När alla brännare tänts så stängdes containern och efter en kort förbrinntid utlöstes släckmedlet manuellt. Försöken pågick tills alla brännare slocknat eller att man bedömde att de inte skulle släckas (15-18 minuter). Även i de försök där samtliga brännare släcktes relativt tidigt så pågick försöket i minst 12 minuter för att kunna studera temperaturförändringar i rummet. Inför försök två riktades PGA behållarna om för att undersöka om ett cirkulärt flöde kunde skapas och vilken effekt ett sådant kunde ha på släckverkan i containern.

## 4.2 Påverkan på byggnader och teknisk utrustning

Detta avsnitt beskriver försök som togs fram för att kontrollera huruvida aerosoler har någon omedelbar påverkan på elektriska komponenter och för att se om utlöst PGA utgör ett hot mot en byggnads integritet.

### 4.2.1 Påverkan på en persondator

För att utreda huruvida en normalutrustad persondator klarar av att utsättas för en omgivning med utlöst aerosol, placerades en vanlig PC med sidopanelerna bortmonterade i ovan nämnda låda (Figur 4.1). Lådan förslöts och aerosolpatronen utlöstes, därefter fick datorn stå i gång, i denna miljö till dess att all aerosol hade sedimenterat på golvet. Till försöket användes en släckmedelskoncentration av  $80 \text{ g/m}^3$ .

### 4.2.2 Högspänningsförsök

Huruvida aerosolen påverkade ledningsförmågan mellan två strömsatta punkter undersöktes genom att med hjälp av kraftiga kondensatorer och ett varierbart gnistgap.

Varje försök utfördes i två delar, ett referensförsök utan utlöst aerosol och ett med utlöst aerosol i lådan. Ett gnistgap (se Figur 4.2) bestående av två variabla spetsar sänktes ner ca 3 cm i lådan och tre försöksserier med avstånden 1, 2 och 2,5 mm genomfördes. Samtliga försök med aerosol utfördes med en aerosolhalt av  $80 \text{ g/m}^3$ . En spänning på 6kV togs från en högspänningsgenerator, denna spänning leddes genom en 50  $\mu\text{m}$  Ferrad kondensator för att få en lämplig tid mellan överlagen.

Data loggades med hjälp av IMPlog. För att få rätt styrka på spänningen konstruerades en spänningsdelare som kopplades över gnistgapet. 24 timmar efter utfört försök kontrollerades hur stor påverkan den aerosol som fastnat på elektroderna hade på överlagsspänningen.

Högspänningsgenerator, kondensator, spänningsdelare, IMPlog och gnistgap kopplades samman enligt Bilaga B.



Figur 4.1. Den exponerade datorn.

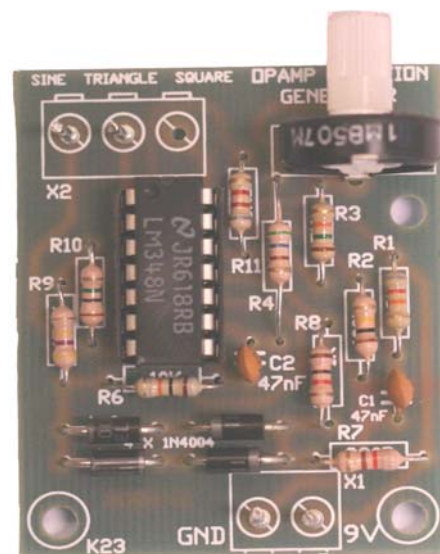


Figur 4.2. Gnistgaper.



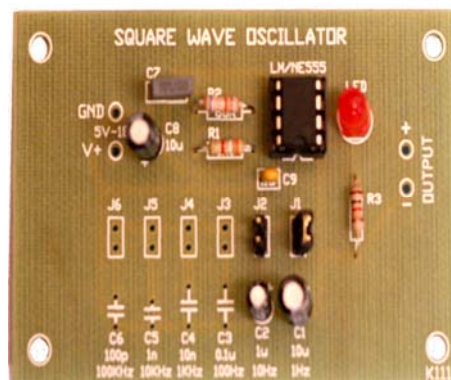
### 4.2.3 Svagströmsförsök

Aerosolens ledningsförmåga över svagströmskretsar kontrollerades med hjälp av att låta aerosolen sedimentera på kretskort. Två typer av försök utfördes; med och utan släckning, detta för att se om restprodukterna hade annorlunda egenskaper än den opåverkade aerosolen. Inför försöken konstruerades två identiska set bestående av tre olika typer av kretskort. Korten bestod av vanliga kretskomponenter som t.ex dioder, kondensatorer, transistorer, resistorer m.m. (Figur 4.3 -4.5). Anledningen till detta var att undersöka om kretsarna påverkades olika beroende på om släckning skett eller ej.



#### 4.2.3.1 Utan släckning

Kretskorten monterades i botten av lådan och strömsattes (olika typer av kort, 3 och 9V). Korten kopplades till IMPlog för att kunna mäta förändringar i spänningen. Efter att lådan förslutits loggades referensvärden. När aerosolen utlösts i lådan loggades värden en gång i timmen under en, dryg, veckas tid för att se om kretsarna påverkades. Ett försök med  $40\text{g}/\text{m}^3$  aerosolkoncentration utfördes.

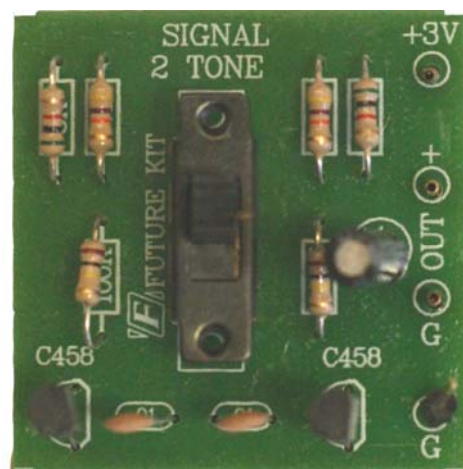


#### 4.2.3.2 Med släckning

Samma försökupställning som i 4.2.3.1 med undantag för att 3 cl heptan placerades i en behållare 20 cm från lådans botten. Efter att lådan förslutits loggades referensvärden. Därefter antändes heptanet och fick brinna 10 sekunder innan aerosolen utlöstes. När aerosolen utlöstes loggades värden en gång i timmen under en dryg veckas tid för att se om kretsarna påverkades. För att kontrollera när flaman släcktes monterades termoelement, kopplade till IMPlog, 10cm över flaman.

#### 4.2.4 Tryckuppbyggnad

Hur stort tryck utlösning av aerosolen ger undersöktes med en digital manometer. Denna kopplades till lådan med hjälp av en plastslang kopplad till ett munstycke i lådans topp. Manometern kopplades till IMPlog och data samlades under utlösningstiden.  $40\text{g}/\text{m}^3$  aerosol användes.



Figur 4.3→4.5: Kretskorten som användes i lågspänningsförsöken.

### 4.3 Påverkan på människa

Följande avsnitt beskriver de försök som utfördes i brandteknisks laboratorium i LTH avseende hälsoaspekter.

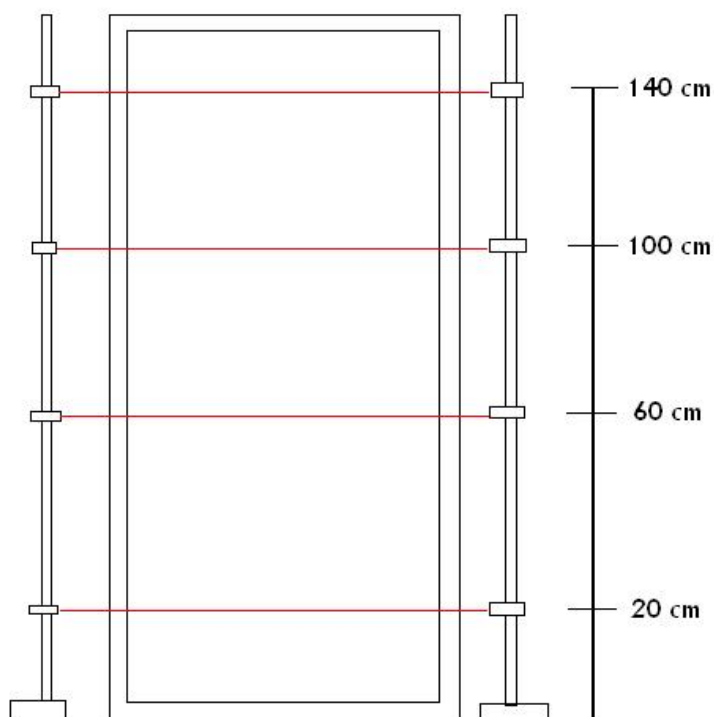
#### 4.3.1 Partikelstorlek

Partiklarnas storlek och fördelning mättes av Anders Gudmundssen vid avdelningen för ergonomi och aerosolteknik LTH. Med hjälp av pumpar, filter och utspädningsutrustning samlades aerosolen upp och analyserades i aerosoltekniks lokaler.

#### 4.3.2 Siktbarhetsförsök

Hur snabbt aerosolen sedimenterar och därmed förbättrar sikten undersöktes med hjälp av laser

Med lådan ställd på högkant borrades hål genom sidorna för att kunna sända laser genom den. 4 strålar sändes genom lådan på olika nivåer 20, 60, 100 och 140cm från botten (Figur 4.6). På motsatt sida från lasrarna monterades ljusmätare som kopplades till IMPlog. Lådan förseglades innan försöken utfördes. Innan aerosolen utlöstes gjordes en referensmätning av ljusintensiteten. Därefter utlöstes aerosolen och mätningar av ljusintensiteten utfördes varje halvtimme under 10 timmar. En aerosolkoncentration av  $40\text{g/m}^3$  användes under försöket. En förslutningsanordning konstruerades så att hålen skulle kunna tätas mellan mätningarna.



**Figur 4.6.** Försöksupställningen vid siktbarhetsförsöken.

#### 4.3.3 Ljudnivå

Den ljudstyrka aerosolpatronerna alstrar vid utlösning undersöktes med en decibelmätare. För att undersöka vilken ljudnivå knallen från en aerosolpatron som aktiveras ger kopplades en analog decibelmätare till PICOlog. Mätaren placerades 1 meter från patronen och data loggades varje millisekund. En 20g FirePro användes.

#### **4.3.4 Toxicitet**

Mätningar av hur toxiskt innehållet av den utlösta aerosolen var utfördes av prof. G. Holmstedt vid Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lunds tekniska högskola. Ämnena som var av intresse var CO, CO<sub>2</sub> Och NH<sub>3</sub>. Försöken utfördes i samma låda som ovan nämnts, för försöksuppställning se bilaga D.



## 5 Resultat

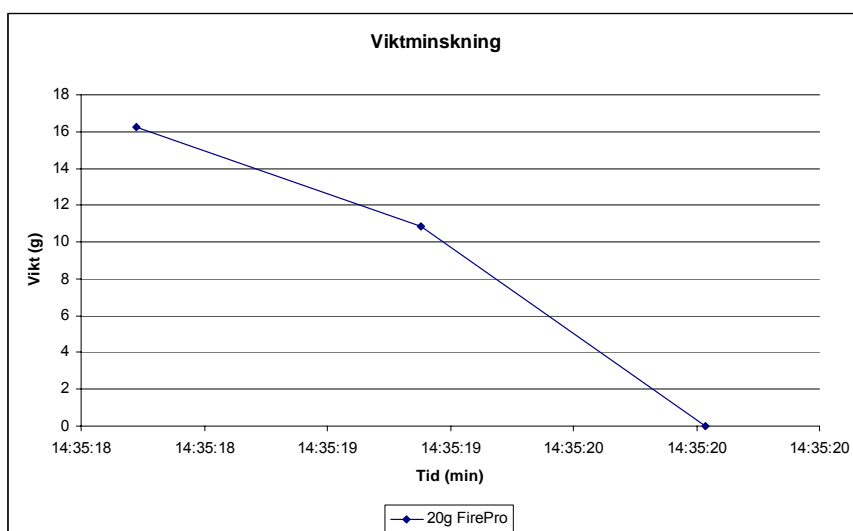
I detta kapitel redovisas de resultat försöken genererat, resultaten från partikelmätningar utförda av avdelningen för ergonomi och aerosolteknologi redovisas även här.

### 5.1 Släckegenskaper

Resultaten från de försök som relaterar till PGAs släckegenskaper redovisas i detta avsnitt.

#### 5.1.1 Utlösningstid

Figur 5.1 visar att en FirePro 20-E har en utlösningstid på ~2 sekunder, vilket är något kortare än tiden producenten har angivit. För större storlekar gjordes inga mätningar med dataloggen, tiden togs från aktivering till dess att inget längre hördes. Resultatet av detta var att de tider tillverkaren angett stämde överens med de tider som observerades.



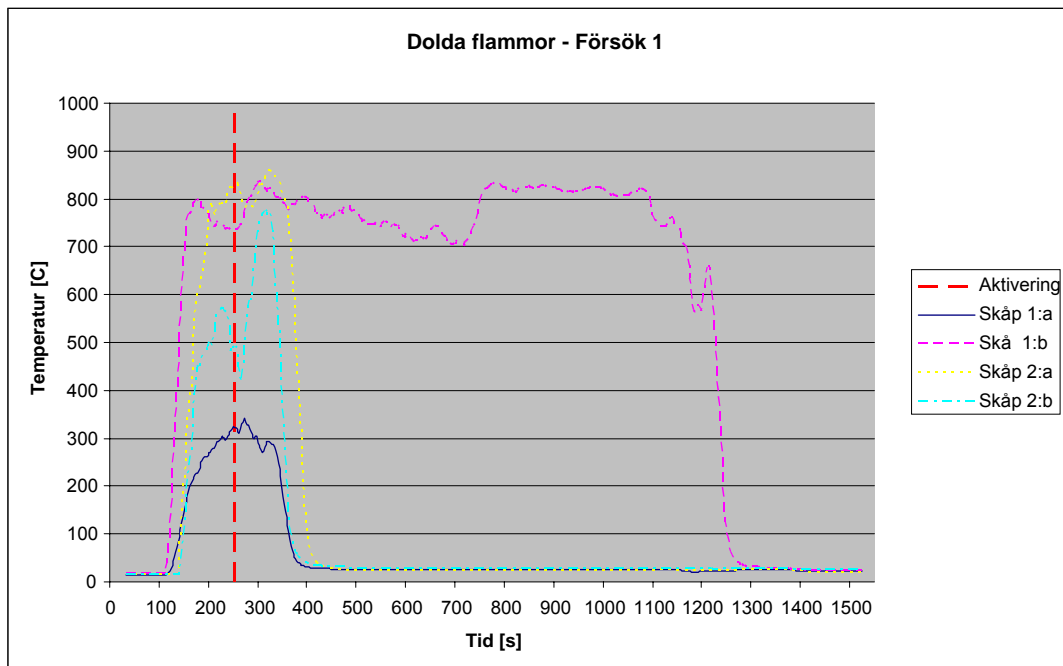
Figur 5.1

## 5.1.2 Containerförsök

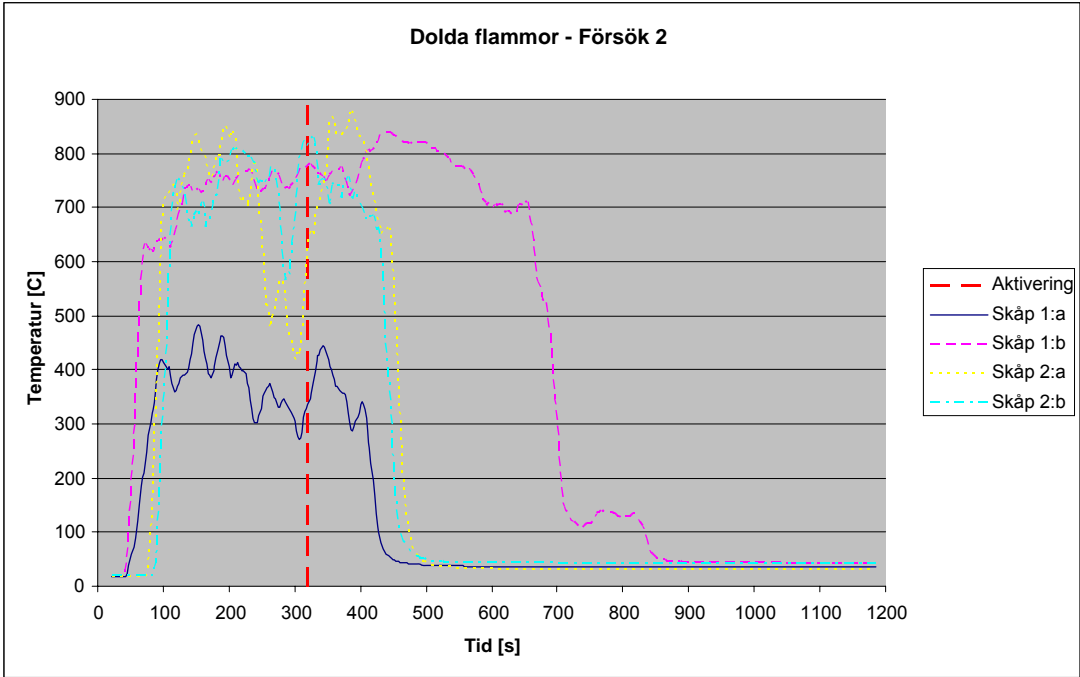
Resultaten från storskaleförsöken i Revinge redovisas nedan, alla försök utfördes två gånger för att ge större datamängd.

### 5.1.2.1 Bränder i skåp

Resultaten visar att 3 av 4 bränder släcktes inom 2 minuter från dess att släckmedlet aktiverats. I försök 1 (Figur 5.2) släcktes bål 1:B först när bränslet tog slut, skåpet med mekanisk ventilation, (se Figur C.2 i bilaga C) och i försök 2 (Figur 5.3) släcktes samma bål efter ca.8 minuter.



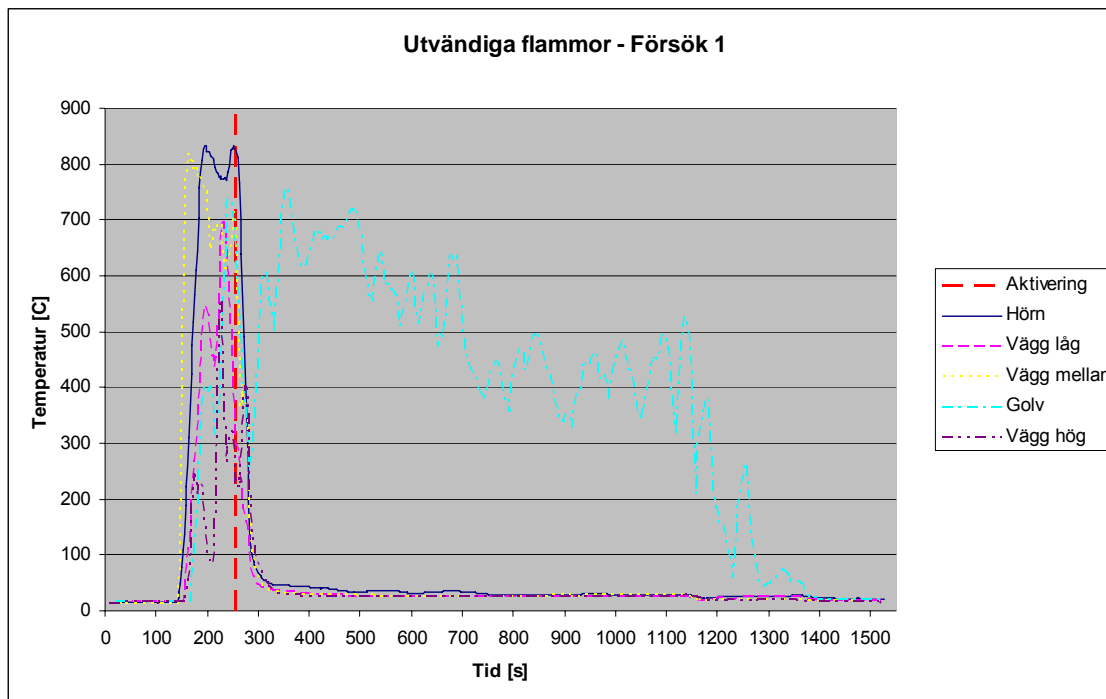
Figur 5.2. Släcktid för olika brännare.



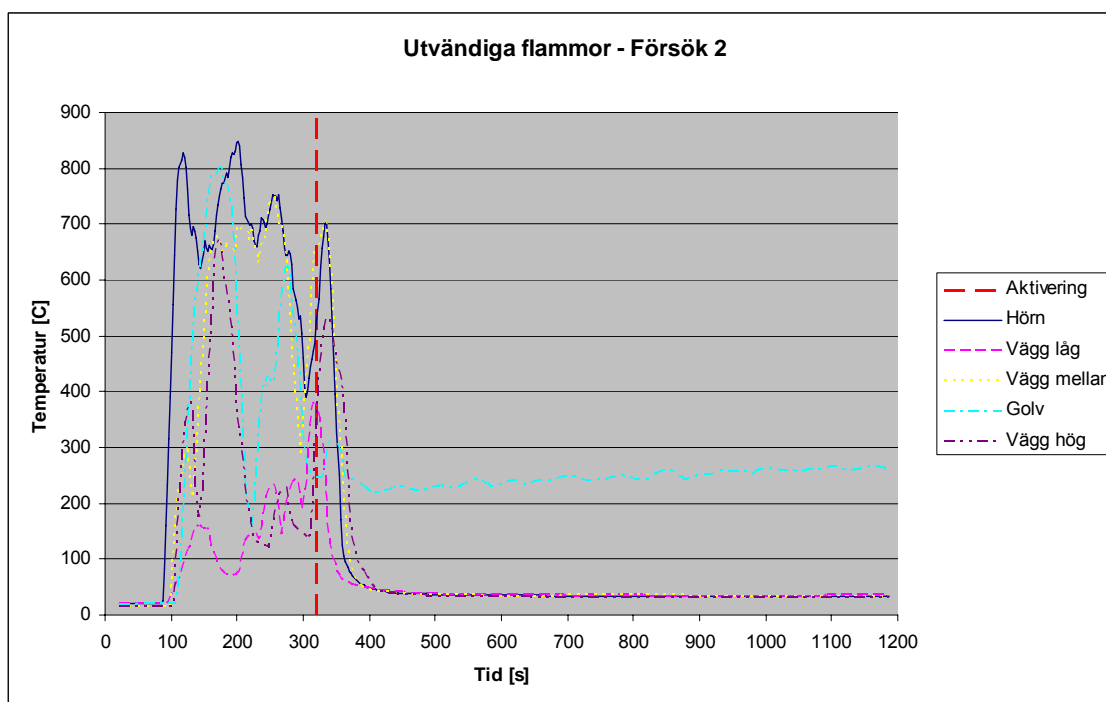
Figur 5.3. Släcktid för olika brännare.

### 5.1.2.2 Utvändiga flammor

Båda försöken visar att bålens släcks omgående efter det att aerosolen aktiverats, med undantag av det bål som stod placerat på golvet mitt i rummet (bål 9 se figur C.3 i bilaga C). I försök 1 (Figur 5.4) släcks detta bål ca 18 minuter in i försöket. Inför försök 2 riktades PGA behållarna om för att se om ett cirkulärt flöde av aerosol kunde skapas i containern. Utfallet av detta var betydligt bättre, vilket figur 5.5 visar. Visserligen släcktes bålet inte men det brann vidare med kraftigt reducerad effekt.



Figur 5.4. Släcktid för olika brännare.

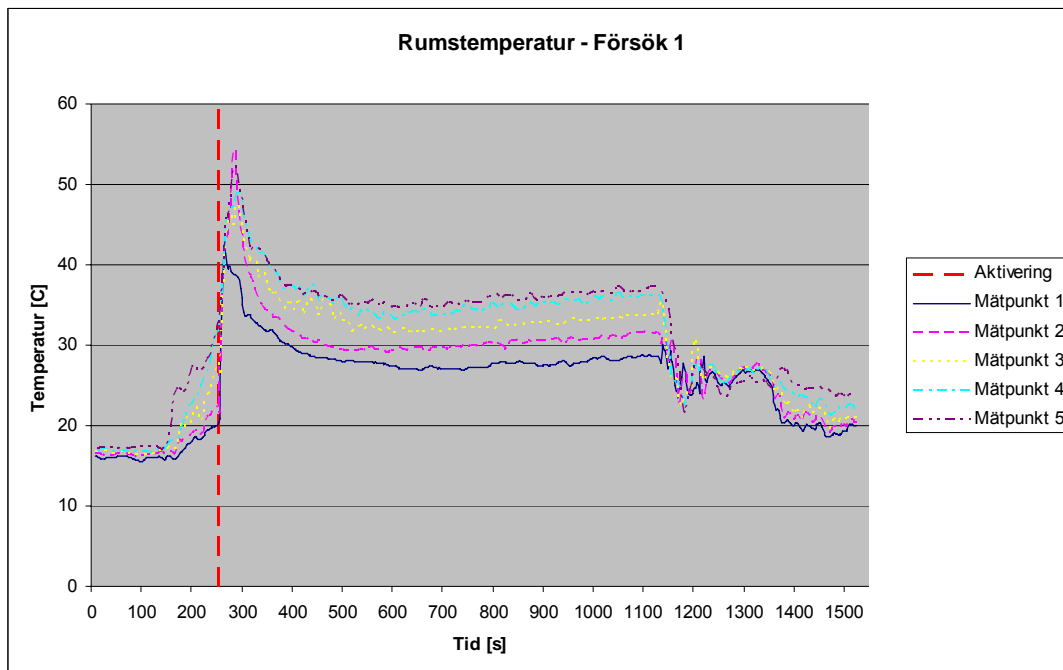


Figur 5.5. Släcktid för olika brännare.

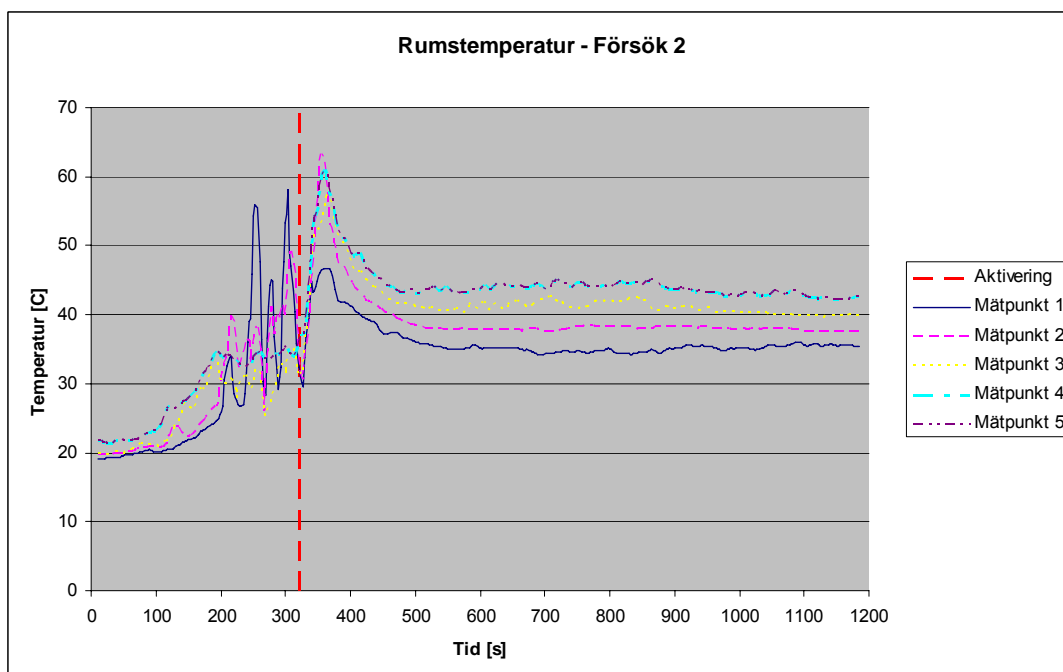


### 5.1.2.3 Rumstemperatur

Resultaten visar att temperaturen i inneslutningen ökar något efter att släckmedlet utlösts. Men i förhållande till temperaturökningen från bålarna så är denna ökning marginell. Diagrammen visar att temperaturen efter släckning av alla utom ett bål lägger sig på en konstant nivå. I försök 1 (Figur 5.6) släcktes det sista bålet 1100 sekunder in i försöket och i försök 2 (Figur 5.7) släcktes det aldrig. För placering av termoelement se figur C.5 i bilaga C.



Figur 5.6. Rumstemperaturförändringar.



Figur 5.7. Rumstemperaturförändringar.

## 5.2 Påverkan byggnader och elektrisk utrustning

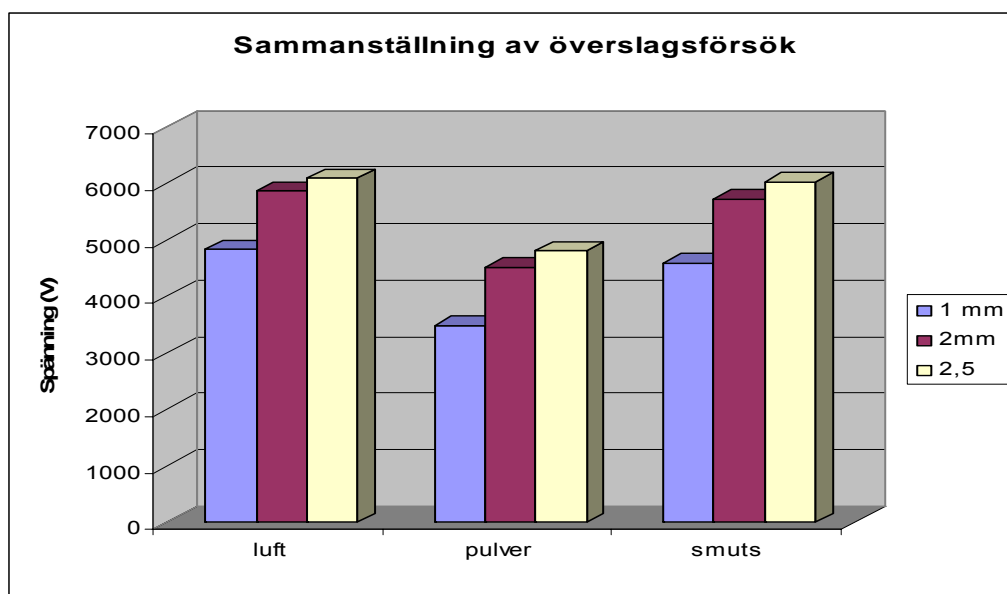
I följande avsnitt redovisas resultaten från de försök som utfördes för att kontrollera påverkan på konstruktioner och elektrisk utrustning.

### 5.2.1 Påverkan på en persondator

Efter att ha varit placerad i lådan i en vecka plockades datorn ut ur lådan och en funktionstest utfördes. Datorn stängdes av, startades och program kördes utan problem. Datorn har sedan försöken utfördes kontrollerats vid ett antal tillfällen och ingenting tyder på att den har blivit skadad. Det kan nämnas att försöken utfördes i augusti 2007 och, i skrivande stund (april 2008), fungerar datorn fortfarande som den ska.

### 5.2.2 Högspänningsförsök

Resultaten från de utförda försöken visar att aerosolen har en viss påverkan på överslagsspänningen. Spänningen som krävs för överslag vid ett 1 mm gnistgap är 4500 V i luft och 3000 V med utlöst aerosol (Figur 5.8 och Tabell 5.1 - 5.3). Liknande skillnader återfinns vid 2 mm och 2,5 mm gnistgap. Den ansamlade mängden aerosol på stiftet (benämnd smuts i figur 5.8) bidrog till viss del till att en lägre överslagsspänning men skillnaden var liten i förhållande till sänkningen som uppkom av den luftburna aerosolen.



Figur 5.8. Sammanställning av högspänningsförsöken

#### 1mm

Utan pulver	Med pulver	Sänkning %	Smutsig	Sänkning %
4832	3481	28,0	4590	5,0

#### 2mm

Utan pulver	Med pulver	Sänkning %	Smutsig	Sänkning %
5868	4518	23,0	5734	2,3

#### 2,5mm

Utan pulver	Med pulver	Sänkning %	Smutsig	Sänkning %
6092	4814	21,0	6033	1,0

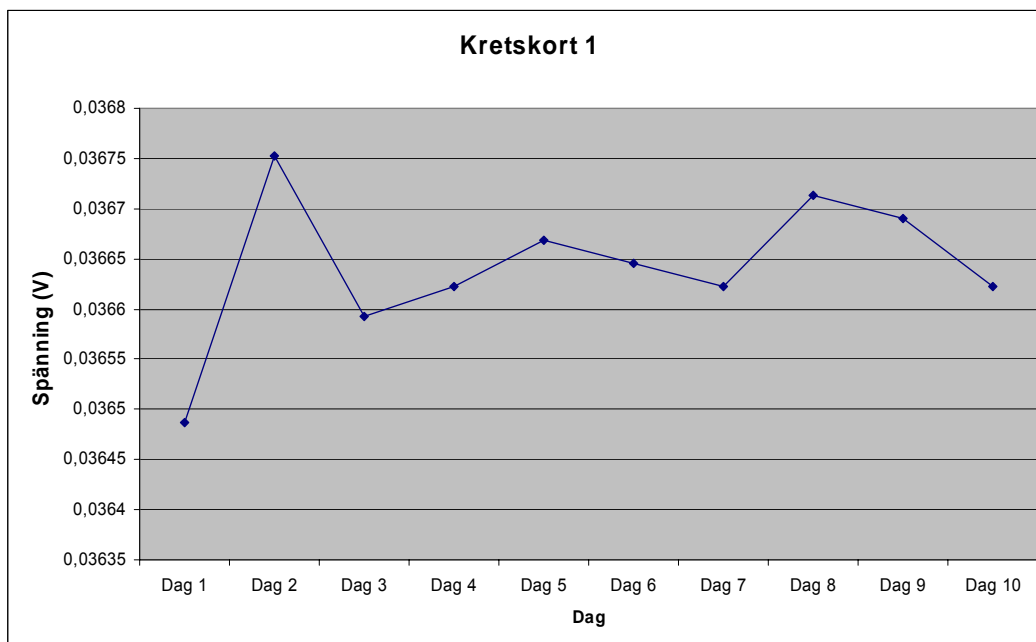
Tabell 5.1→5.3. Sammanställning av förändringar i överslagsspänning i de olika försöken.

## 5.2.3 Svagströmsförsök

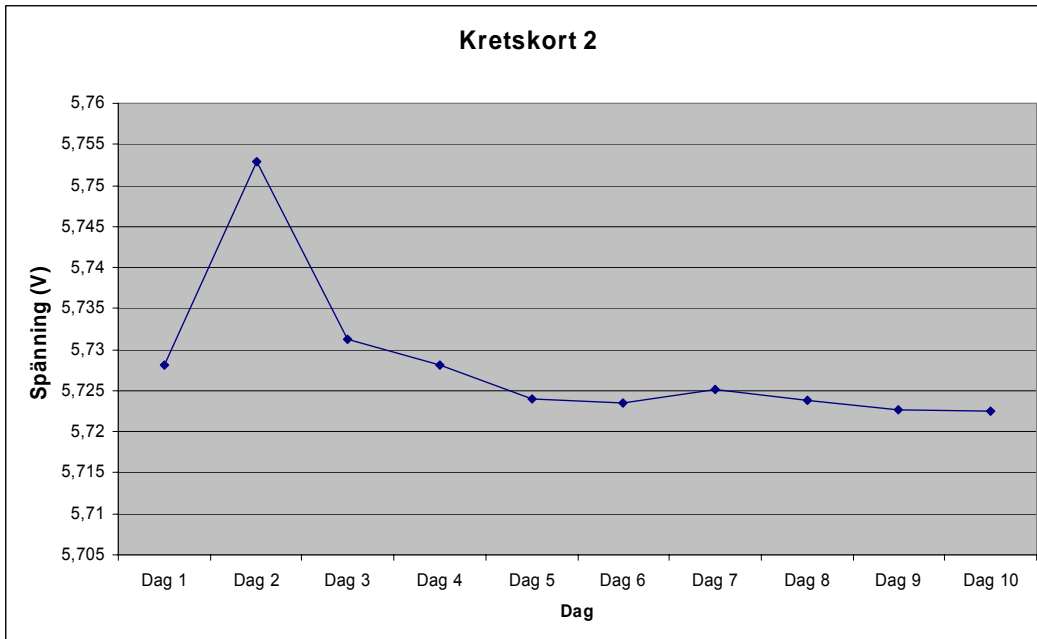
Resultaten från svagströmsförsöken redovisas nedan.

### 5.2.3.1 Utan släckning

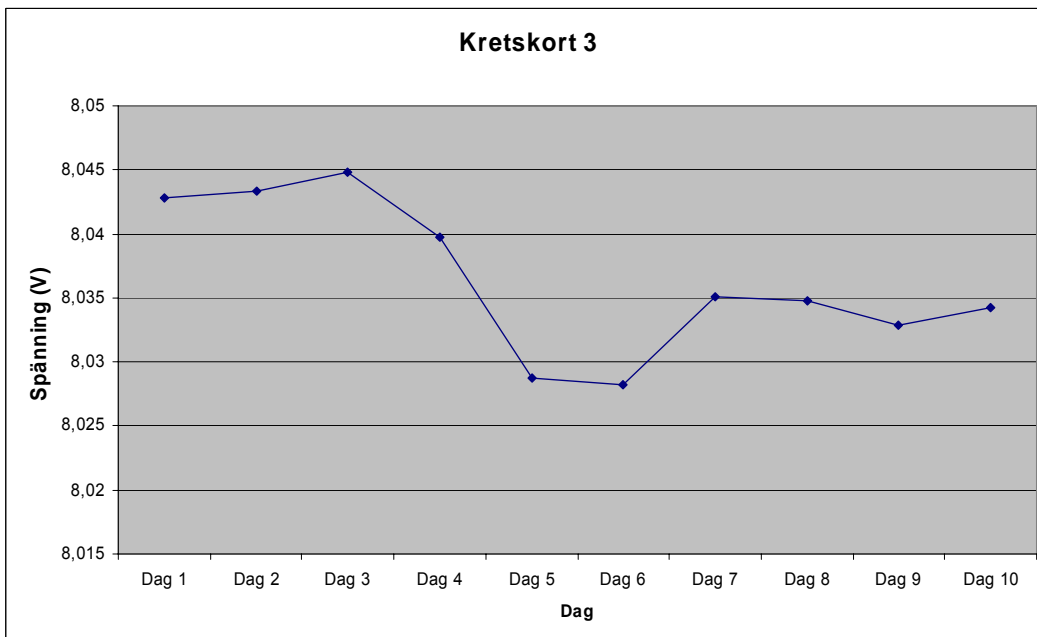
Under de tio dagar försöken pågick kunde ingen nämnvärd förändring av strömstyrkan påvisas på något av korten 1-2 (Figur 5.9 - 5.10). Den sedimenterade PGA'n hade bildat ett tunt lager över kretskorten, tjockleken på detta lager mättes aldrig då antagandet att ett tunt lager PGA har samma effekt som ett tjockare lager då det endast är i kontaktytan mellan kort och PGA som eventuella krypstömmar kommer att uppstå. På kort 3 syntes en svag sänkning av spänningen men denna var 0,01 V, vilket Figur 5.11 visar, och. Förändringarna i sin helhet är så små att det sannolikt beror på naturliga fluktuationer i strömförsörjningen eller resistansförändringar p.g.a. temperaturskiftningar snarare än aerosolens inverkan.



Figur 5.9. Spänningsförändring över krets 1.



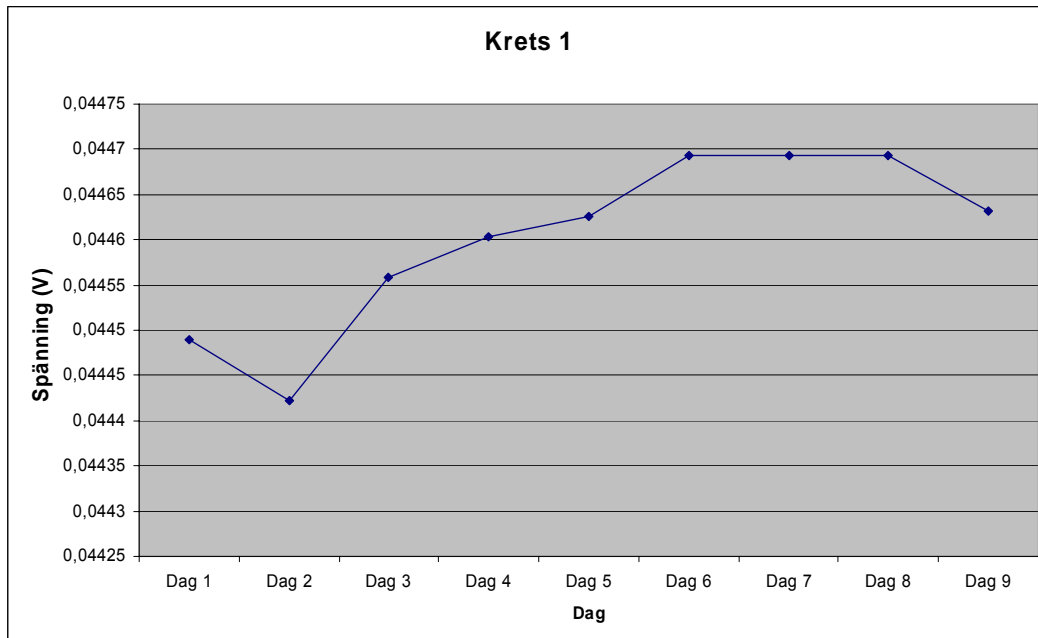
**Figur 5.10.** Spänningsförändring över krets 2.



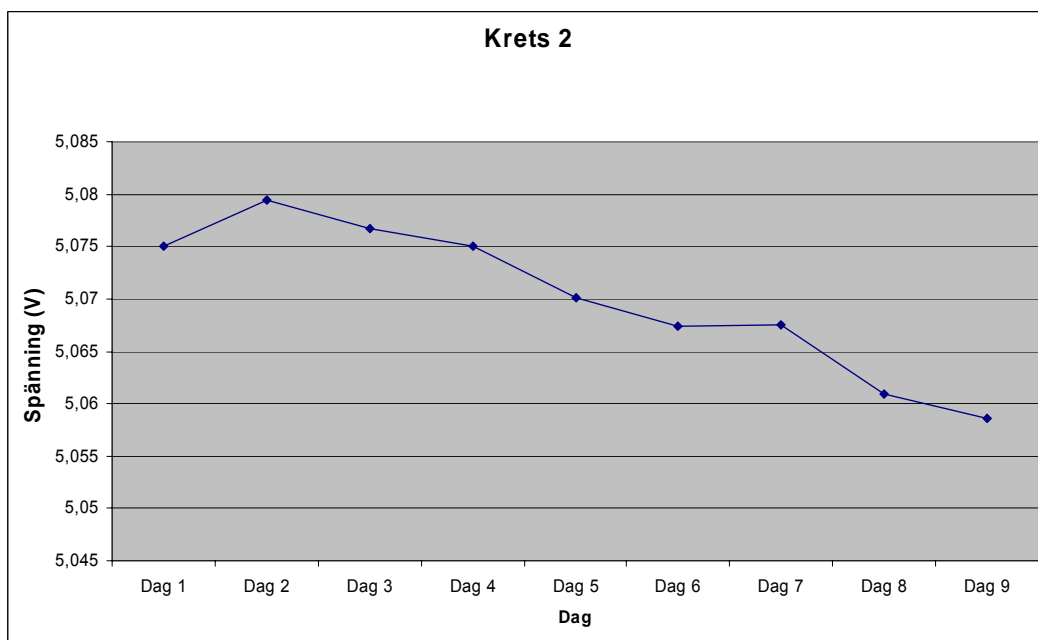
**Figur 5.11.** Spänningsförändring över krets 3.

### 5.2.3.2 Med släckning 40g/m<sup>3</sup>

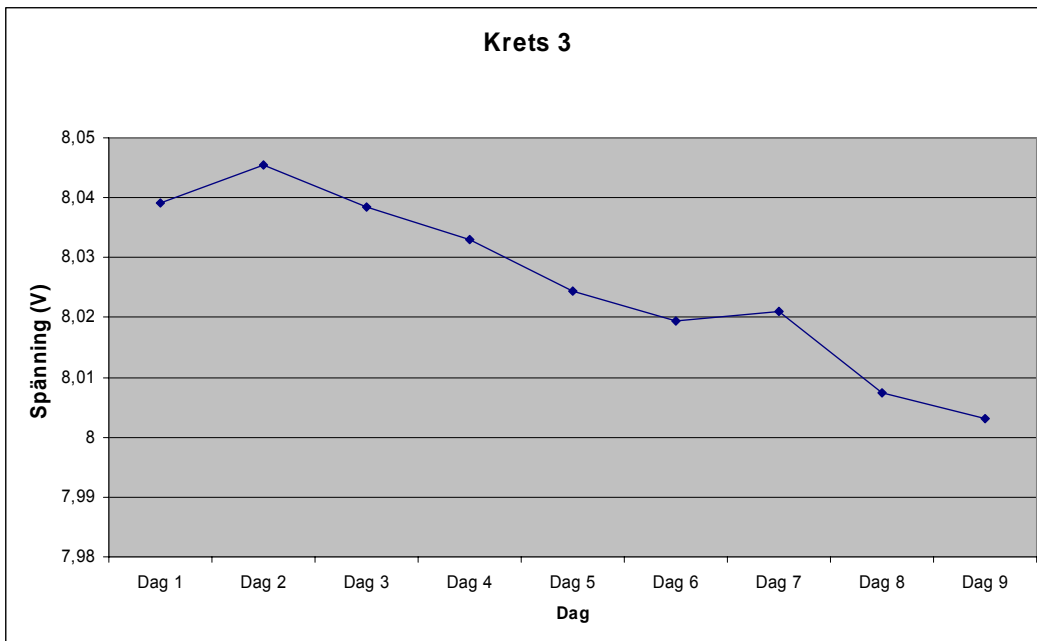
Försöken med släckning gav ungefär samma resultat som utan släckning och inga nämnvärda förändringar registrerades (Figur 5.12 – 5.14). Noterbart är att med en aerosolkoncentration av 40g/m<sup>3</sup> gick flammans ej att släcka. Detta innebar att en stor del av släckmedlet reagerade med flammans och att stora mängder av restprodukter bildades.



Figur 5.12. Spänningsförändring över krets 1.



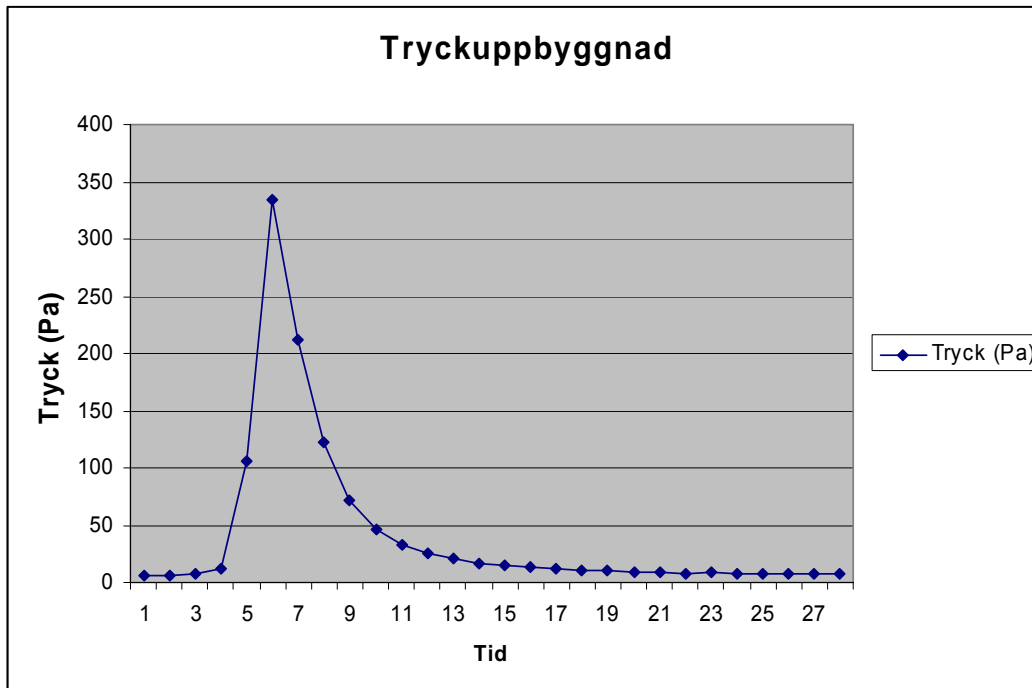
Figur 5.13. Spänningsförändring över krets 2.



Figur 5.14. Spänningsförändring över krets 3.

## 5.2.4 Tryckuppbyggnad

I lådan uppmättes ett maximalt tryck av ~350Pa (Figur 5.15). Denna tryckuppbyggnad sker under tiden som aerosolen utlöses, därefter sjunker trycket snabbt till normala nivåer.



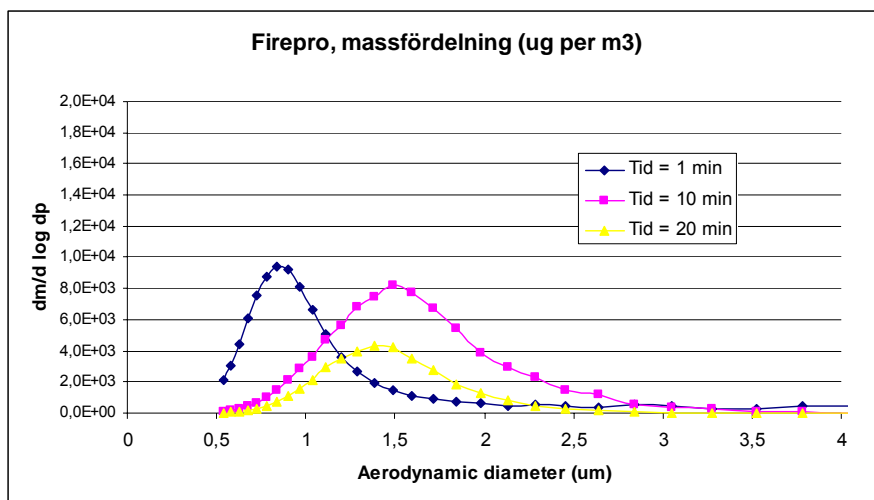
Figur 5.15. Tryckuppbyggnad i lådan vid utlösning av en 20g FirePro.

## 5.3 Påverkan på människa

Resultaten från försöken som syftade till att undersöka påverkan på hälsan redovisas i följande avsnitt.

### 5.3.1 Partikelstorlek

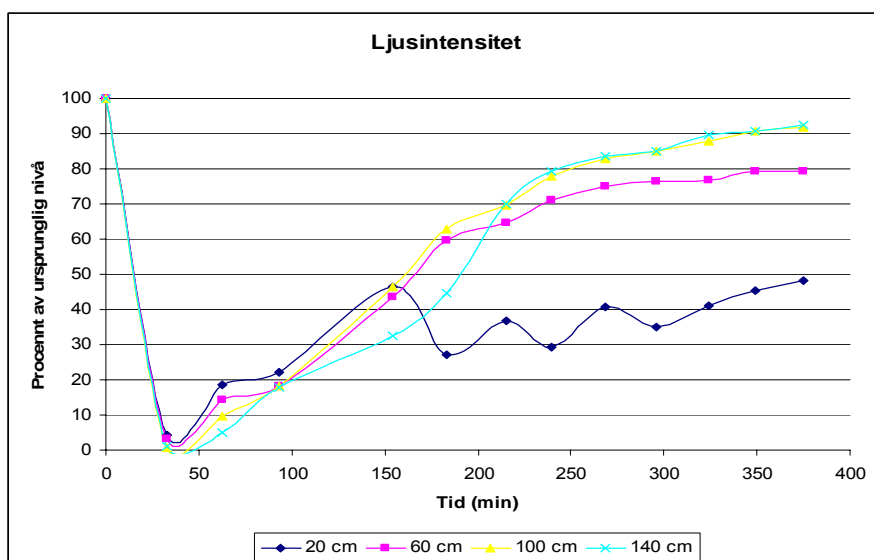
Resultaten av de mätningar utförda av avdelningen för ergonomi och aerosolteknologi vid LTH visar att majoriteten av massan initialt har en aerodynamisk diameter av  $0,8 \mu\text{m}$  men efter hand ökar storleken något till  $1,5 \mu\text{m}$ , (Figur 5.16). Konsekvenserna av detta är att släckmedlet är väldigt effektivt, men samtidigt är den aerodynamiska storleken sån att partiklarna har en tendens att fastna på väggarna på grund av statisk elektricitet [12]. Detta blir väldigt tydligt när den uppmätta koncentrationen i lådan beaktas, mätningar visar att en designkoncentration av  $40\text{g}/\text{m}^3$  endast ger  $2\text{g}/\text{m}^3$  partiklar i lådan, det vill säga 5 % effektivitet. Denna koncentration av partiklar kunde mätas direkt efter utlösande av PGA och vidare mätningar under försökets gång visade på samma resultat.



Figur 5.16. Massfördelning aerodynamisk diameter ( $\mu\text{m}$ ).

### 5.3.2 Siktbarhetsförsök

Resultaten från sedimentationsförsöken är som förväntade, aerosolen har en väldigt långsam fallhastighet. Sju timmar in i försöket var sikten som bäst 90% av den ursprungliga (Figur 5.17). Efter att försöket avslutades upptäcktes att lasern på 20cm nivån hade flyttats under försökets gång, vilket innebär att resultaten från den mätserien ej är korrekta. Den aerodynamiska diametern som nämns i föregående avsnitt kan kopplas till sikten, med hjälp Tabell 2.3, vilket, t.ex., ger att en koncentration av  $40 \text{ g/m}^3$  ger en sikt på 4 cm. Detta värde stämmer väl överens med observationerna som gjordes.

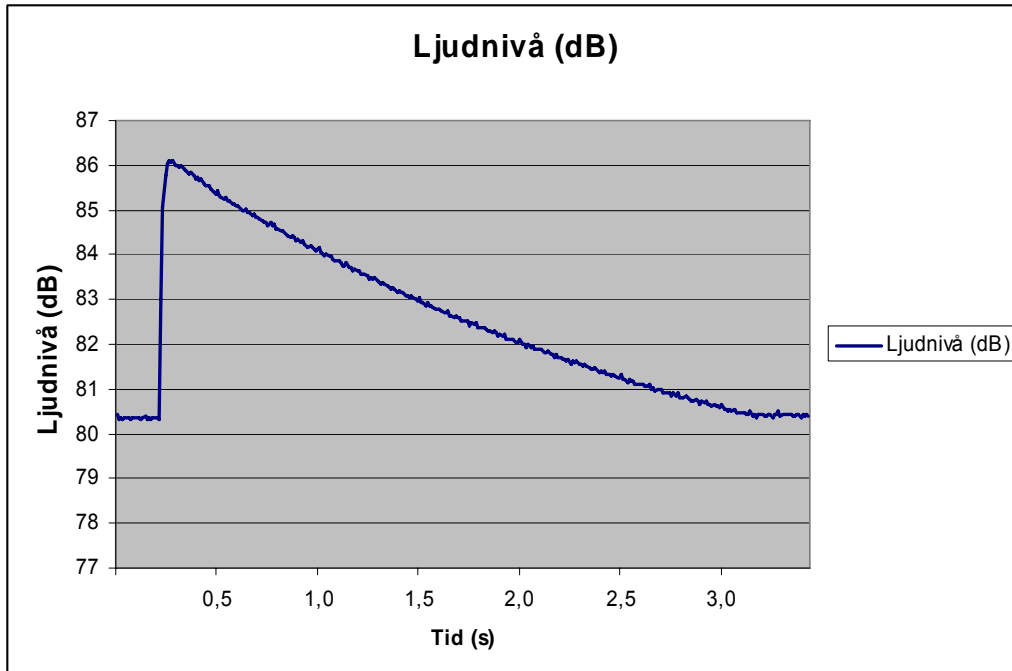


Figur 5.17. Siktförbättring över tid. 100% är perfekt sikt. Enligt diagrammet ser det ut som att det tog 30 minuter innan sikten var nere på 0%. Detta är p g a den första mätningen efter utlösning gjordes först efter 30 minuter. Siktbedsättningen tog i realiteten endast ett par sekunder (visuell observation).



### 5.3.3 Ljudnivå

Vid försöken uppmättes en ljudnivå av 86dB på ett avstånd av 1 meter från ljudkällan (Figur 5.18).



Figur 5.18. Ljudnivåkurva vid utlösning av en 20g FirePro.

### 5.3.4 Toxicitet

Resultaten från försök utförda av prof. G. Holmstedt avdelningen för brandteknik och riskhantering vid Lunds tekniska högskola, visar att nivåerna av CO hamnar på 1030 ppm, nivåerna av CO<sub>2</sub> hamnar på 4400 ppm och NH<sub>3</sub> nivåerna på 648 ppm. För resultat och beräkningar se bilaga D.



## 6 Diskussion

I detta kapitel diskuteras resultaten gentemot teori och rådande lagstiftning.

### 6.1 Släckegenskaper

Släckegenskaperna var som förväntat mycket goda, resultaten diskuteras i följande avsnitt.

#### 6.1.2 Utlösningstid

Enligt NFPA 2010 skall 95% av släckmedelskoncentrationen ha infunnit sig inom 10 sekunder. I försöken med FirePro 20-E konstateras det att aerosolpatronen töms på ca 2 sekunder, vilket är väl inom gränserna för godkännande enligt NFPAs regelverk.

#### 6.1.3 Fullskaleförsök

Resultaten från försöken blev de förväntade med undantag av att det övre dolda bålet i det skåpet med mekanisk ventilation inte släcktes. I efterhand konstaterades det att fläkten i skåpet sannolikt såg till att aerosolen aldrig nådde flammen på grund av skåpets invändiga geometri i förhållande till bålet och fläktens placering. I skåpet med naturlig ventilation släcktes bålet däremot fort. Slutsatsen som dras av detta är att mekanisk ventilation kan hjälpa till att dra in aerosol till dolda utrymmen, men den kan lika gärna dra bort aerosolen från det tänkta målet. Med naturlig ventilation drar flammorna till sig aerosolen och släcks.

Problemet med att släcka lågt placerade bränder kan lösas genom att tänka igenom placering av aerosolgeneratorerna i rummet. Försök med en annan produkt vid samma tillfälle uppvisade initialt samma svårighet att släcka lågt placerade bränder. Men efter en justering av riktningen, i vilken aerosolen strömmar ut, släcktes även de lågt placerade bålet. Tanken var att skapa ett cirkulerande flöde av aerosoler i inneslutningen och detta föll mycket väl ut.

### 6.2 Påverkan byggnader och utrustning

Resultaten gav de svar som behövdes för att kunna gå vidare med ytterligare försök.

#### 6.2.1 Påverkan på en persondator

Påverkan på en persondator utfördes egentligen som ett inledande försök för att kontrollera hur aerosolen skulle utlösas och för att se så att den inte direkt påverkade elektriska komponenter negativt. Då ingenting hände med datorn under försöket beslutades att den skulle kontrolleras med jämna mellanrum. 8 månader efter försöket fungerar den fortfarande. Hårddisken bör ha sugit in en hel del av aerosolen dock utan skadligt resultat. En sak som ej kontrollerats är huruvida läshuvudet på en CD/DVD-ROM kan ha påverkats av sedimenterad aerosol, detta för att datorn saknade denna komponent.

#### 6.2.2 Högspänningsförsök

Den största sänkningen av överslagsspänningen som uppmättes var ~25%. Detta är förvisso ingen obetydelsefull sänkning men det är rimligt att anta att säkerhetsavstånden till högspänningsanläggningar är betydligt större i procent räknat. T.ex anger IEC 60076 att minsta avstånd mellan spänningsförande delar skall vara 70mm för spänningar upp till 7,2 kV – vilket är jämförbart med de spänningar som berörts i denna rapport [11]. När det gäller personsäkerhet så anger Elsäk-FS 1999:5 ett säkerhetsavstånd, för människor, om 6 meter i vertikal ledd vid spänningar över 40kV [10]. Detta säkerhetsavstånd är flera potenser högre än

det faktiskt möjliga överslagsavståndet och en 25%-ig sänkning är därmed inte av någon större betydelse.

### **6.2.3 Svagströmsförsök**

Komponenterna som utsattes för försöken blev kraftigt nedsmutsade av sedimenterad aerosol, detta utan att visa någon betydande funktionsförändring. Under försöken med släckning noterades en mycket liten sänkning av spänningen på de olika korten, om denna beror på aerosolen eller andra faktorer som temperaturskillnader i brandlabbet är svårt att avgöra. Sänkningarna var av storleksordningen 0,01 V under en vecka och kan ses som obetydlig i sammanhanget då en sanering av det brandskadade utrymmet säkerligen hade inletts inom en vecka i ett verkligt fall.

### **6.2.4 Tryckuppbyggnad**

Mätningarna visade att trycket i lådan ökar till ~350 Pa övertryck.

Byggnadskonstruktionsmässigt är detta en relativt liten ökning och fönster och väggar skall klara av detta utan problem. Man kan jämföra detta med att den mänskliga trumhinnan, som är en betydligt svagare ”konstruktion”, bara drabbas av rupturer i 1% av faller vid tryck på 25 kPa – dvs ~70 gånger högre tryck. [

## **6.3 Påverkan på människa**

De mest överraskande resultaten var de som kunde kopplas till vår hälsa, speciellt i fallen med toxicitet och partikelstorlek inte gav de förväntade resultaten.

### **6.3.1 Partikelstorlek**

Mätningarna visade att partikelstorleken var något mindre än den producenten angett, detta innebär att släckmedlet är något mer effektivt och att partiklarna har en förmåga att fastna på väggar. Vidare visade mätningarna av koncentrationen att endast 5 % av den dimensionerande koncentrationen återfinns, detta förklaras delvis genom att 60 % av aerosolen kommer ut i gasfas, resterande 35 % antas då fastna på väggar eller i behållaren.

Den viktiga faktorn när det rör hälsorisker är att partiklar av denna storlek påverkar hela andningsapparaten då de är små nog att nå ner i alveolerna. Studier har genomförts på råttor med ett liknande släckmedel. Resultatet från den studien visade bland annat att luftvägar irriterades och att 20 % av djuren visade tecken på lunginflammation efter 7 dagar. Det är värt att nämna att djuren utsattes för höga koncentrationer i en sluten miljö och under relativt lång tid. [9]

### **6.3.2 Siktbarhetsförsök**

Jämfört med Tabell 2.3 stämmer sikten bra överens med resultaten från försöken. En fråga väcks dock när det beaktas att endast 5 % av den tänkta koncentrationen faktiskt återfinns. Har tabellen konstruerats med detta i åtanke? Eller är det så att det är den gasformiga aerosolen som försämrar sikten? Det viktiga i sammanhanget är dock att sikten blir i stort sett obefintlig och förblir så under flera timmar.

### **6.3.3 Ljudnivå**

Enligt AFS 2005:16 3§ är den tillåtna ljudimpulsnivån 135dB, FirePro 20-E genererar som mest en nivå av 86dB när den utlöses. Denna nivå är klart under detta gränsvärde och således fullt acceptabel. Vidare står det att en daglig bullerexponeringsnivå ej skall överstiga 85dB/8H även

här hamnar FirePro 20-E under rekommenderade nivåer då utlösningstiden tillika bullertiden endast är ett par sekunder.

#### **6.3.4 Toxicitet**

Som resultaten visar är varken CO eller CO<sub>2</sub> nivåerna något som ger en omedelbar skada på människor, IDLH för CO respektive CO<sub>2</sub> ligger på 1200 ppm och 40000 ppm, CO halten hamnar enligt mätningarna på 1030 ppm det vill säga strax under IDLH och således är exponeringar på 30 minuter ingen fara för människor. CO<sub>2</sub> halten hamnar på 4400 ppm vilket är långt under IDLH värdet och kan bortses från, såtillvida miljöaspekter inte beaktas. Men även med miljön i åtanke är det inga större mängder som alstras av en utlöst PGA.

Ammoniakhalten hamnar på 648 ppm vilket är nästan dubbla IDLH, som är 300 ppm, och blir därmed ett problem vid exponeringar. Litteraturen säger att en exponering av 700 ppm kan ge skador på ögonen med potentiell förlorad syn som resultat, dock står det att detta kan ske vid exponeringar på upp till en timme. Vidare kan det läsas att EPGR-3 (Emergency Responce Planning Guidelines) nivån ligger på 750 ppm det vill säga att dödliga skador kan förväntas vid 60 minuters exponering av 750 ppm [16].



## 7 Slutsats

De slutsatser som kan dras av denna rapport är få men viktiga, försöken med persondatorn visar att hushållselektronik är väldigt motståndskraftig mot aerosolen. Efter att ha utsatts för PGA under flera dagar visar datorn inga som helst tecken på nedsatt funktionalitet. Högsämsningsförsöken visar att koncentrationen av släckmedel i rummet är direkt avgörande för sänkning av gnistenergin, men med den dimensionerande koncentrationen sänks inte den energi som krävs för ett överslag så mycket att det ska utgöra ett hot med dagens standardiserade säkerhets avstånd i åtanke.

Försöken med svagströmskretsarna visar inte heller på någon större påverkan när de utsätts för PGA. Ett av korten visar dock en liten förändring men huruvida detta är på grund av aerosolen eller beror av andra faktorer, som kortslutning av mätkablar, kan ej avgöras då försöken ej övervakades med annat än datalog under en längre tid. Noterbart är att anslutningskontaktarna på det aktuella kortet var väldigt små och låg nära andra punkter på kortet minsta lilla rörelse på anslutningskabeln gav stora utslag på dataloggen. De andra korten visar ingen förändring vilket leder till slutsatsen att mätningarna på kort 3 delvis är felaktiga.

Den aerodynamiska diametern innebär att släckmedlet är mycket effektivt, till och med bättre än vad som anges av tillverkaren. Med tanke på att en stor del av aerosolen lätt fastnar på väggar eller andra ytor är det viktigt att installationen sker på ett sådant sätt att plymen riktas bort från ytor i konstruktionen för att undvika detta. Studier som gjorts med liknande släckmedel visar att effektiviteten ökar med volymens storlek, större rumsvolym ger en större släckeffektivitet.

När en PGA utlöses försämras sikten till i det närmaste obefintlig och bibehålles så under relativt lång tid vilket gör att den släckande koncentrationen kommer att upprätthållas under en lång tid. Detta innebär dock att även sikten kommer att vara reducerad under lång tid vilket avsevärt försämrar utrymning. PGA är dock inte tänkt att användas i utrymmen som normalt är bemannade men risken måste ändå beaktas även för utrymmen där personer enbart vistas högst tillfälligtvis. En kombination av utrymningslarm med en fördröjning av aktivering av släckmedlet borde vara den bästa lösningen.

Försöken visar att tryckuppbyggnaden när den aktuella storleken utlöses inte kommer att utgöra något hot mot byggnadsstrukturen. Däremot kan det vara obehagligt att vistas i ett rum när en PGA löses ut. Arbetsmiljöverket anger en gräns för impuls ljud vid 135 dB, den aktuella storleken på PGA överskrider inte denna ljudnivå vid aktivering.

Toxiciteten är ett bekymmer men endast vid längre exponeringar. Gas och partiklar kan ge permanenta skador på människor och detta måste beaktas vid användning av PGA-system.

Sammanfattningsvis:

- Ingen påverkan på datorer
- Liten påverkan på överslagsenergin
- Ingen påverkan på svagströmskretsar
- Låg effektivitet i små utrymmen men ändå väldigt effektivt
- Viktigt att installationen är rätt genomtänkt
- Obefintlig sikt under lång tid
- Inga konstruktionskrav med tanke på tryck

- Ljudnivåer under gränsvärdena
- Kort utlösningstid
- Farligt för hälsan vid exponeringar längre än 30 minuter
- Ej lämpligt att installera i utrymmen där personer normalt vistas

### **Vidare studier**

Försöken som genomförts är inte heltäckande utan endast en fingervisning. Det finns ett antal vidare studier som författarna till denna rapport ser som behövliga eller nyttiga inför framtiden.

- Mer djuplodande korrosionsanalyser. Inom ramen för detta arbete gick detta inte att genomföra vilket lämnar kvar en del frågor angående vilka material som kan tänkas angripas av olika PGA-märken. Skillnader i fuktinnehåll i luften samt vad som brunnit kan påverka den kemiska sammansättningen.
- CFD-modellering. Genom att mäta hastigheter och massflöden ut olika modeller skulle det vara möjligt att genomföra datorgenererade försök där man kan bedöma olika geometrier och vilka konsekvenser detta får för olika sätt att installera PGA-system.
- Mer omfattande påverkansförsök på finmekaniska system. En dators hårddisk fungerade efter lång tid efter en lång exponering. Detta är dock ingen garanti för finmekaniska system inte kan ta skada.



## 8 Referenser

- [1] P. Kangedal, T. Hertzberg och M. Arvidsson, *Pyrotekniskt genererade aerosoler för brandsläckning – en litteraturstudie*, Brandforsk Rapport 2001:28
- [2] S. Särdaqvist, *Vatten och andra släckmedel*, Karlsstad, Räddningsverket, 2002
- [3] Muntlig kommunikation med A. Gudmundsson, Institutionen för Ergonomi och Aersolteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2008
- [4] NFPA 2010: Standard for Fixed Aerosol Fire-Extinguishing Systems, National Fire Protection Association.
- [5] AFS 2005:16 ISBN 91-7930-45-9 Elanders Gotab 47355, Stockholm 2005
- [6] J. Vitali, C. Kibert och J. Akers, *Pyrogenic aerosol fire suppressants: Engineering of delivery systems and corrosion analysis*, HOTWC 96, NMERI.
- [7] Muntlig kommunikation med G. Holmstedt, Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska högskola, 2008
- [8] Firepro produktinformation. Erhållen med produktleverans.
- [9] E. Smith et al, *The Toxicological Assessment of a Fire Suppressant and Potential Substitute for Ozone Depleting Sustances*, Naval Medical Research Institute Detachment (Toxicology), USA
- [10] Elsäk-FS 1999:5, ISSN 1103-405X, Elanders Gotab, Stockholm 1999
- [11] IEC 60076-SER, *Power transformers – all parts*, International Electrotechnical Commission, 2008-02-27
- [12] Kimmel E.C, Smith E.A., Reboulet J.E., Black B.H., Sheinson R.S., and Carpenter R.L. *Physical and chemical characteristics of SFE fire suppressant atmospheres. Comparison of small with large laboratory atmospheres. Contribution to conference*, HOTWC 1995 (Halon Options Technical Working Conference
- [13] B. Karlsson, J.G. Quintiere, *Enclosure Fire Dynamics*, CRC press LLC, Boca Raton, Florida, USA, 2000, s 30
- [14] D. Drysdale, *An introduction To Fire Dynamics*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, England, 1998, s 164

- [15] Y.A. Çengel, R. H. Turner, *Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences*, McGraw-Hill, Singapore, 2005, s 529
- [16] RIB XM, Beslutsstöd för Räddningstjänst, Statens Räddningsverk
- [17] Fischer S, m.fl, "Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor, metoder för bedömning av risker" Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1995

## Bilaga A. Effektberäkning och beräkning av storlek på kärl.

Beräkningar på flammans effekt utgår från en sänkning av syrehalten i lådan med 1 % (enligt överenskommelse med Professor Göran Holmstedt). Beräkningen av storleken på det kärl bränslet ska brinna i utgår från den verkliga effekten på flammen.

### X.1. Effektberäkning av flammen.

Lådans volym:  $V_L = 1,66 \text{ m} \times 0,55 \text{ m} \times 0,55 \text{ m}$  (h x b x d) ger en volym av  $0,50 \text{ m}^3$ .

Omgivnings temperatur:  $T_a = 20^\circ\text{C}$ .

Luftens densitet:  $\rho_a = \frac{353}{T_a} = 1,205 \text{ kg/m}^3$ .

Massa luft i lådan:  $m_L = V_L \cdot \rho_a = 0,605 \text{ kg}$ .

Massprocent syre i luft: 23 %.

Andel  $\text{O}_2$  i lådan:  $m_L \cdot 0,23 = 0,139 \text{ kg}$ .

Tillåten  $\text{O}_2$  förbrukning:  $0,139 \text{ kg} \cdot 0,01 = 0,00139 \text{ kg}$ .

Energi innehåll  $\text{O}_2$ : 13,1 MJ/kg.

Maximal energiförbrukning:  $0,139 \text{ kg} \cdot 13,1 \text{ MJ} = 0,0182 \text{ MJ} = 18,22 \text{ kJ}$ .

Brinntid: 15 sekunder.

Flammans effekt:  $\frac{18,22 \text{ kJ}}{15 \text{ sekunder}} = 1,215 \text{ kW}$ .

Förbrännings effektivitet Heptan: 70%. [13]

Verklig effekt på flammen:  $\dot{Q} = \frac{1,215 \text{ kW}}{0,7} = 1,736 \text{ kW}$ .

### X.2. Beräkning av kärlets storlek.

$$\dot{Q} = A_f \cdot \dot{m}'' \cdot \Delta H_{\text{eff}} \quad [13]$$

$$\dot{Q} = 1,736 \text{ kW}.$$

$$\dot{m}''_{\text{Heptan}} = 0,101 \text{ kg/m}^2\text{s}. \quad [14]$$

$$\Delta H_{\text{eff Heptan}} = \Delta H_{C_{\text{Heptan}}} \cdot \chi = 45 \text{ MJ/kg} \cdot 0,70 = 31,5 \text{ MJ/kg} = 31500 \text{ kJ/kg}.$$

Kärlets area:  $A_f = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}'' \cdot \Delta H_{eff}} = 0,000546 \text{m}^2$ .

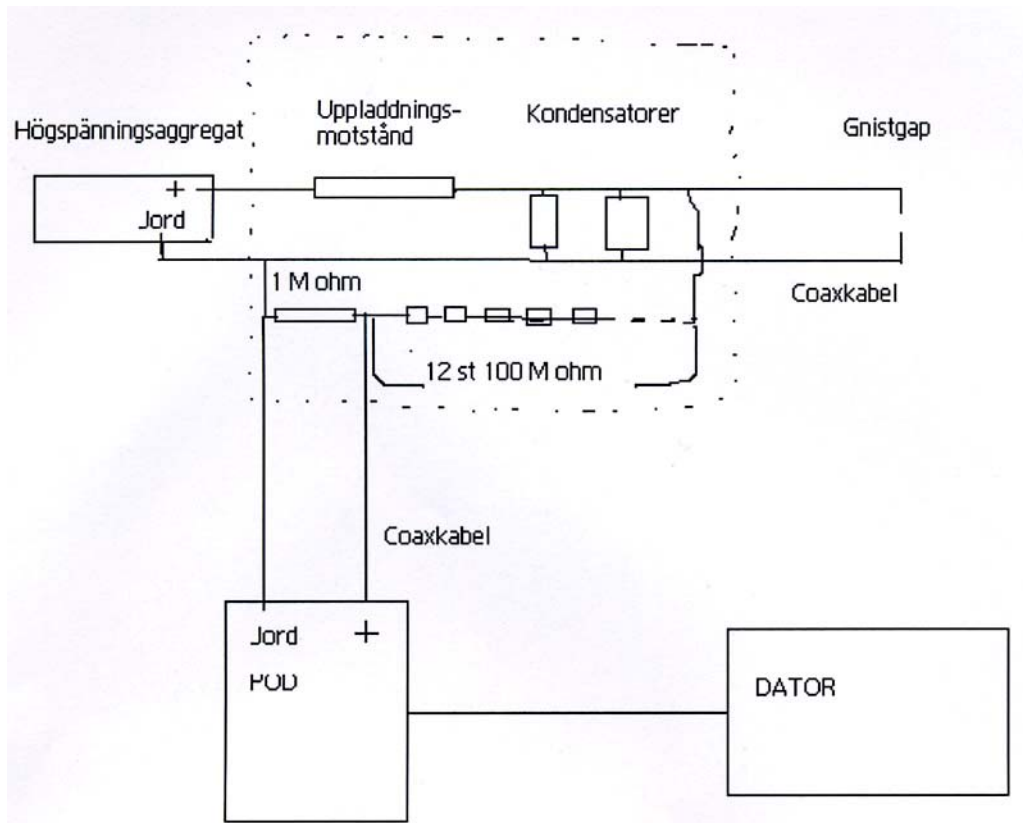
Kärlets radie:  $\sqrt{\frac{0,000542 \text{m}^2}{\pi}} = 0,0132 \text{m}$ .

Kärlets diameter: 2,64 cm.

## Bilaga B – Högspänningstest

### Kopplingschema

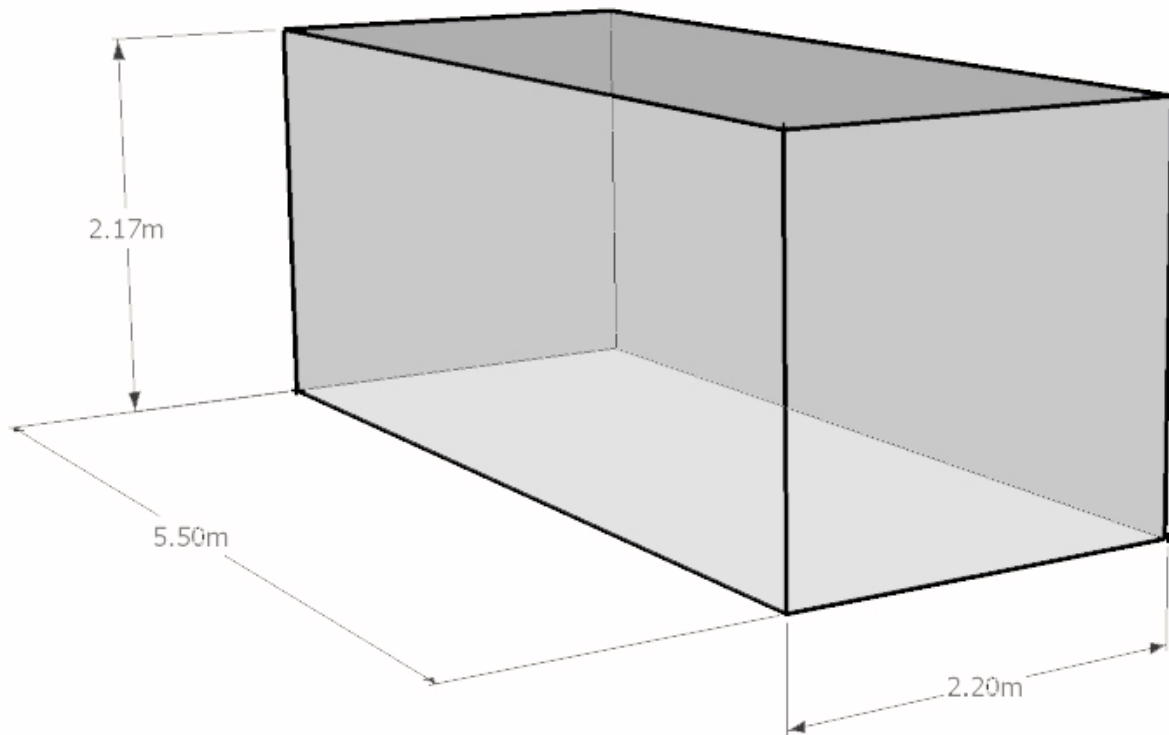
Figur B.1 visar hur utrustningen till högspänningsförsöken kopplades samman.



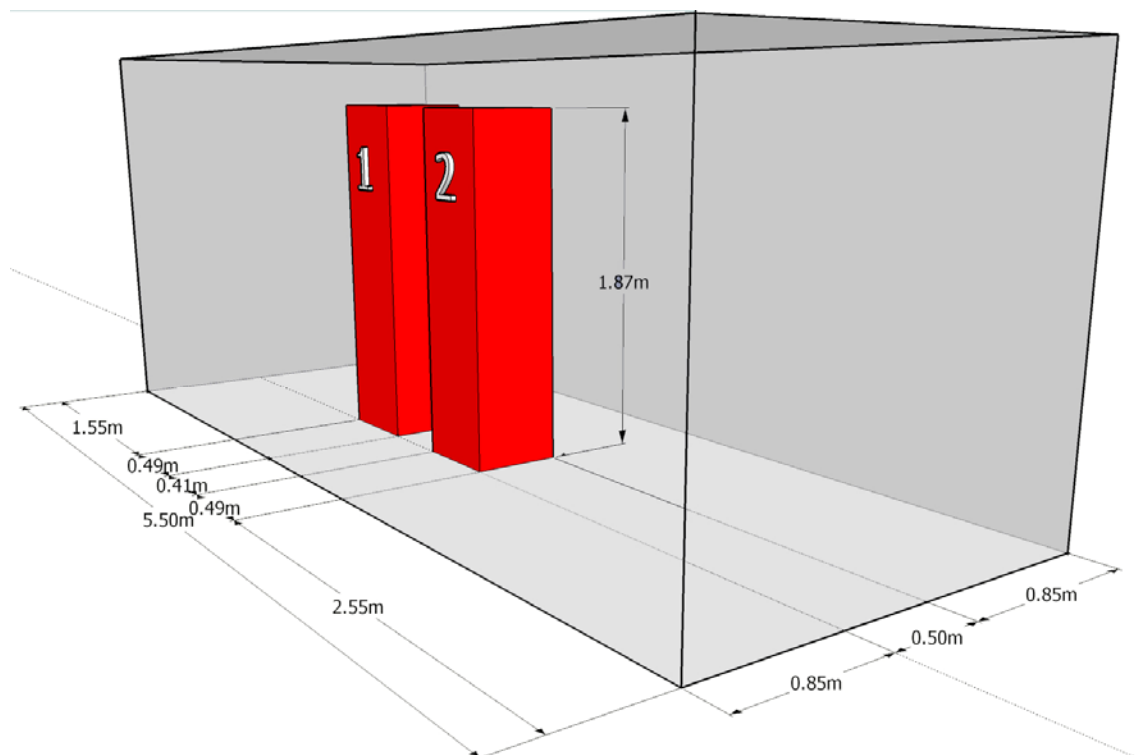
**Figur B.1.** Kopplingschema till högspänningsförsöken.



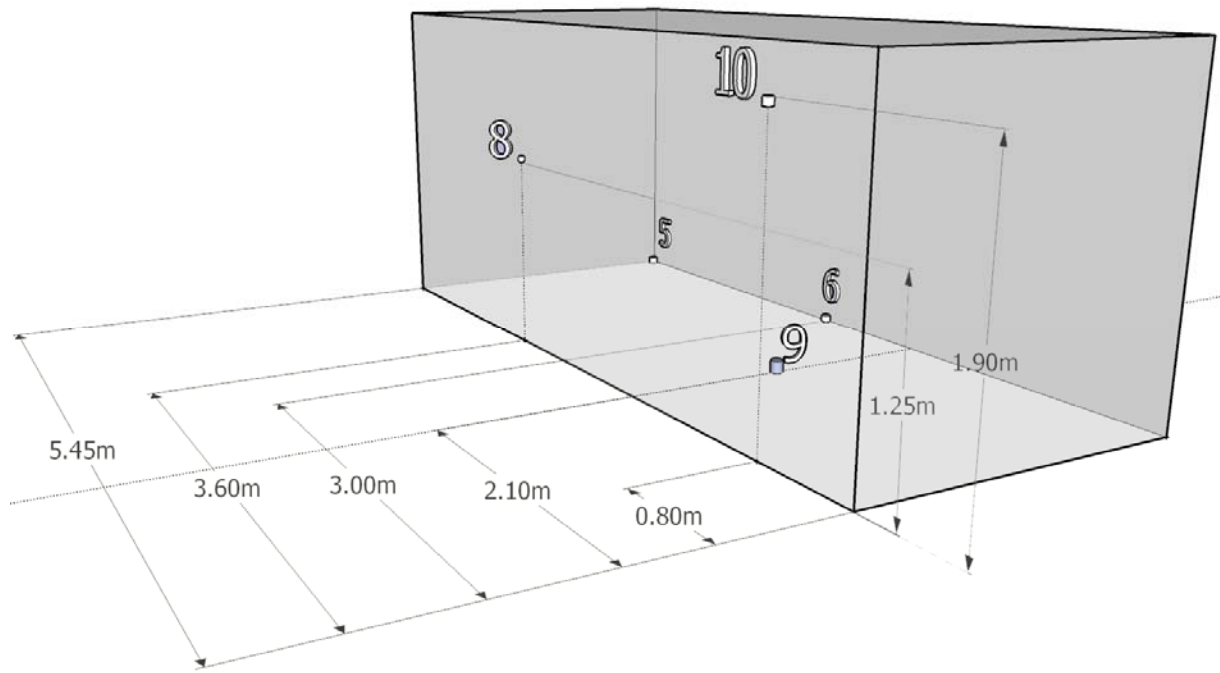
## Bilaga C – Försöksuppställning vid släckförsök



**Figur E.1.** Containermått



**Figur E.2.** Skåpens placering i containern. Skåp 1 är mekaniskt ventilerat och skåp 2 har endast naturlig ventilation.

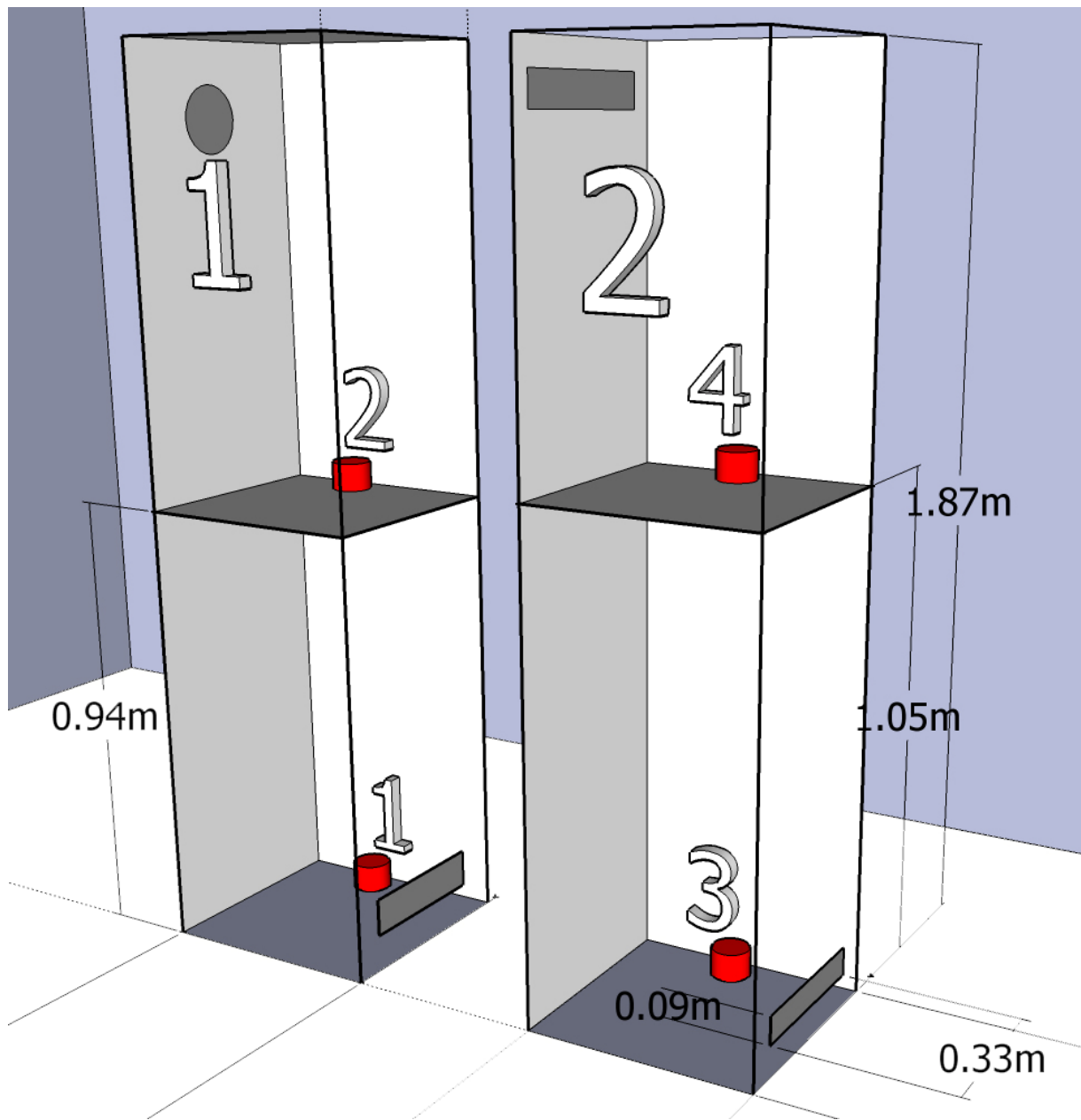


**Figur E.3.** Placering av brännare i containern.

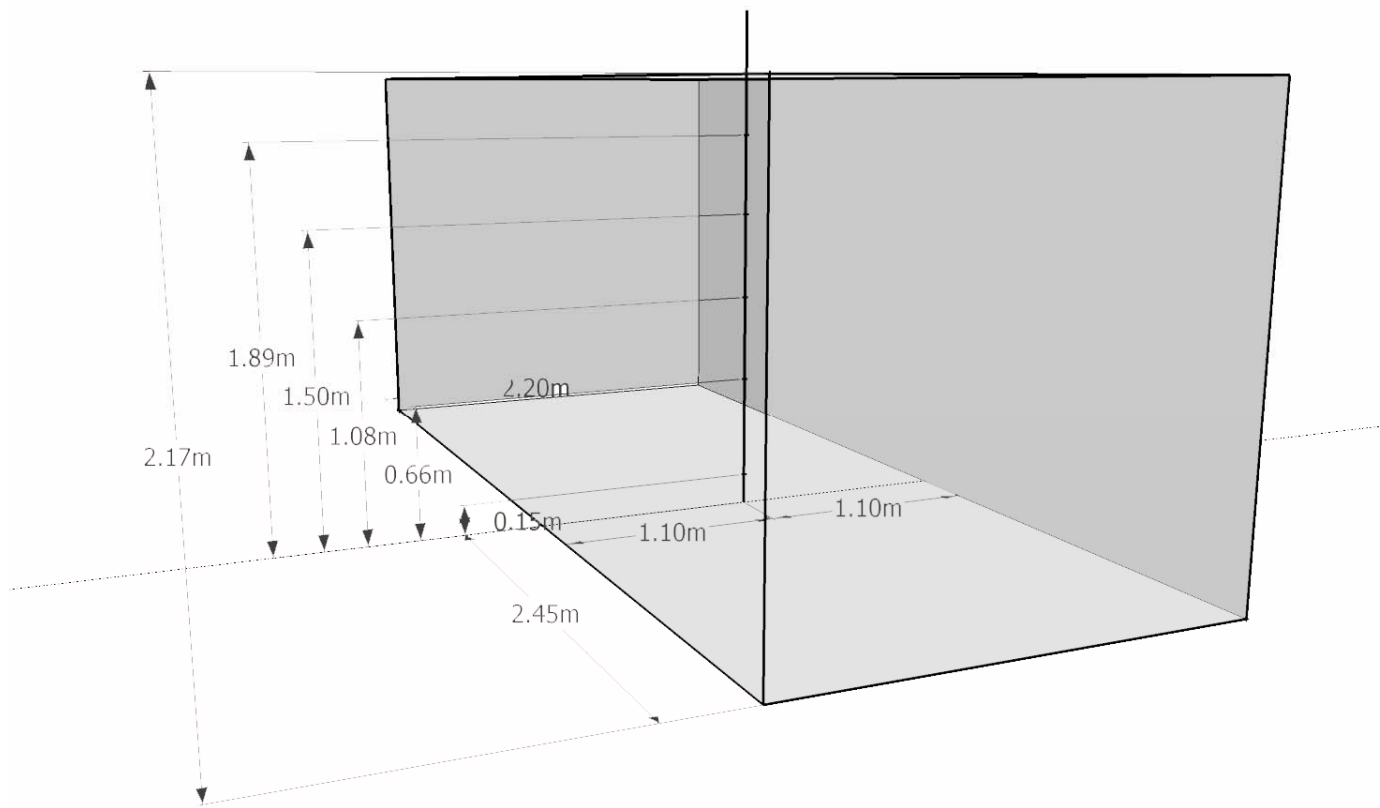
Brännarnas nummer har i rapporten givits namn för enklare förståelse.

Nummer	Namn
Brännare 1	Skåp 1:A
Brännare 2	Skåp 1:B
Brännare 3	Skåp 2:A
Brännare 4	Skåp 2:B
Brännare 5	Hörn
Brännare 6	Vägg låg
Brännare 8	Vägg mellan
Brännare 9	Golv
Brännare 10	Vägg hög

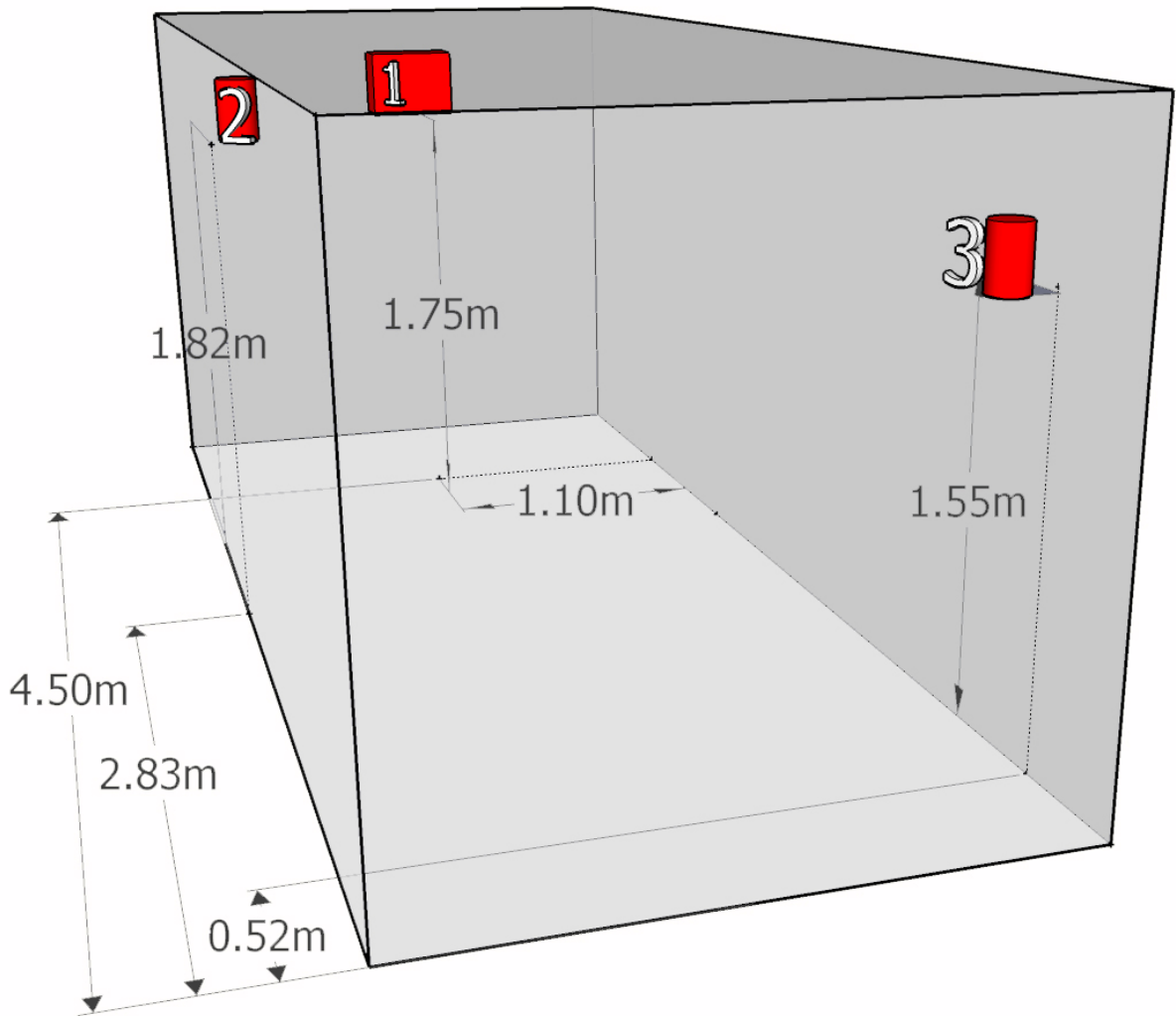




**Figur E.4.** Placering av brännare i skåpen.



**Figur E.5.** Placering av termoelement.



**Figur E.6.** Placering av släckmedelsgeneratorer.



## Bilaga D – Analys av gasproduktion

### Småskaleprov för analys av CO, CO<sub>2</sub> och ammoniak (NH<sub>3</sub>)

Vid försöken användes den försöksutrustning som finns vid LTH och som använts för utvärdering av tidigare småskaletester med aerosolsläckmedel.

Försöksrummets volym var 482.5 liter (beräknat genom att mäta upp geometrin. I försöksrummet placerades en patron av släckmedlen inne i rummet motsvarande c:a 40 g/m<sup>3</sup> i dimensionerande koncentration.. Ovanför patronen placerades en fläkt för att fördela aerosolen jämt i försöksvolymen.

Vid försöken mättes medelkoncentrationen av CO, CO<sub>2</sub> och O<sub>2</sub> och NH<sub>3</sub> (ammoniak)

#### Försöksutförande:

Före de två försöken, ett med vardera släckmedel, kalibrerades CO och CO mätarna med kalibreringsgaser :

Kalibreringsgas 1 innehöll 200 vol ppm CO och 0.5 vol% CO<sub>2</sub> med 2% noggrannhet

Kalibreringsgas 2 innehöll 2000 vol ppm CO och 5 vol% CO<sub>2</sub> med 2% noggrannhet

Därefter monterades aerosolpatronen i provvolymen varefter:

Tid

0 sekunder patronen utlöses elektriskt fläkten är igång vid starten.

4-5 minuter gasprovtagning för NH<sub>3</sub> analys (gasprovet tvättades i utspädd svavelsyra varefter det sändes till SP för analys av NH<sub>3</sub> enligt ”4500-NH<sub>3</sub> F Phentane Method”)

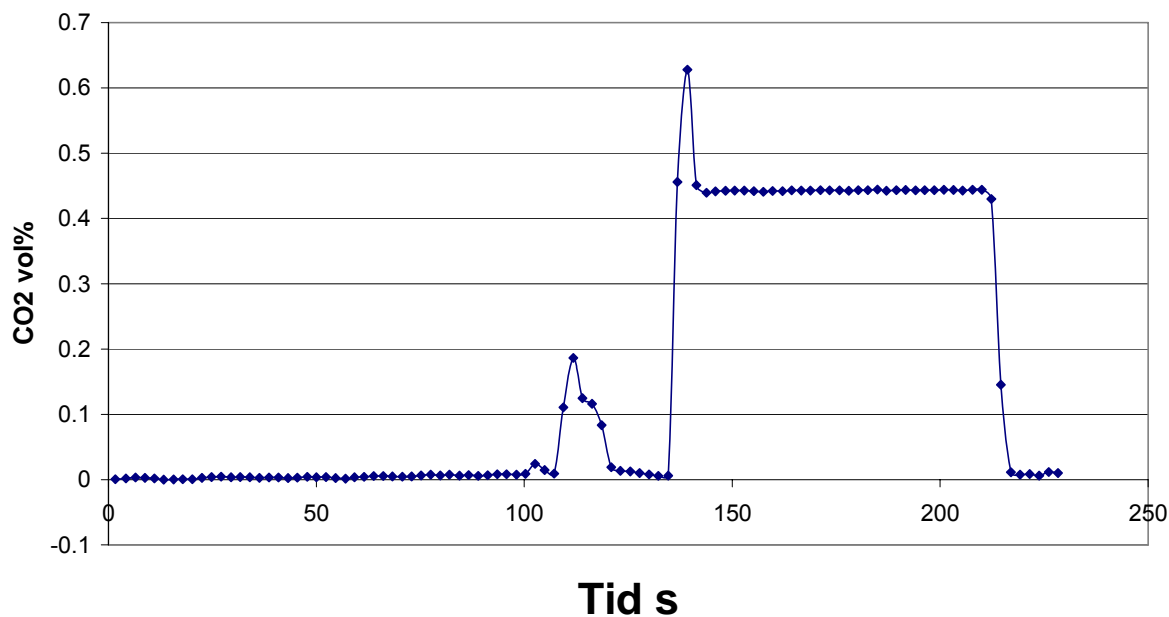
6-8 minuter on line mätning av CO, CO<sub>2</sub> och O<sub>2</sub>.

10 minuter försöket avslutades

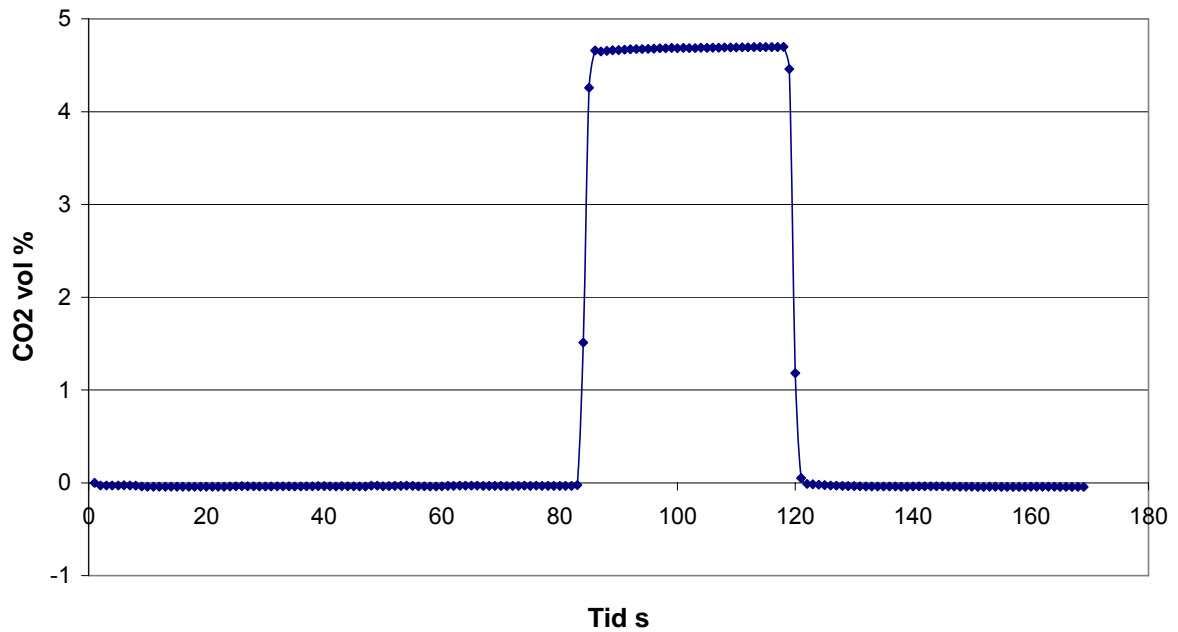
## RESULTAT

### CO<sub>2</sub> kalibrering

0.5 vol % CO i kalibreringsgasen



### 5 vol % CO i kalibreringsgasen



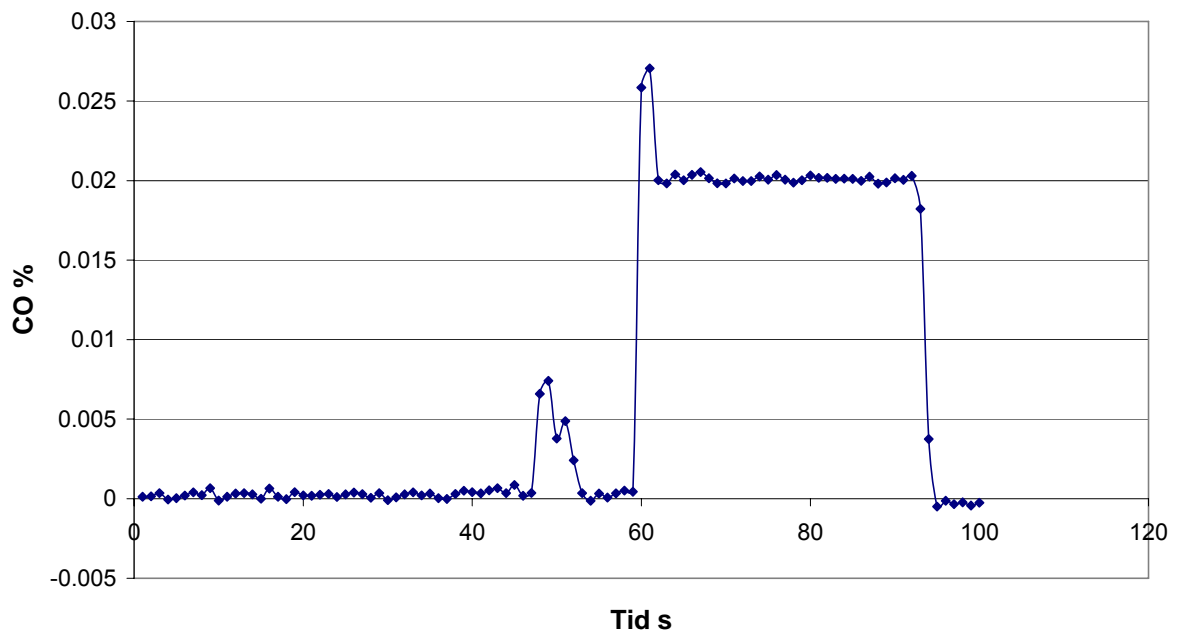
### Resultat av CO2 kalibreringen:

Vid 0.5 vol% mäter den fel med faktorn  $0.5/0.443 = 1.13$  (13 % för lite)

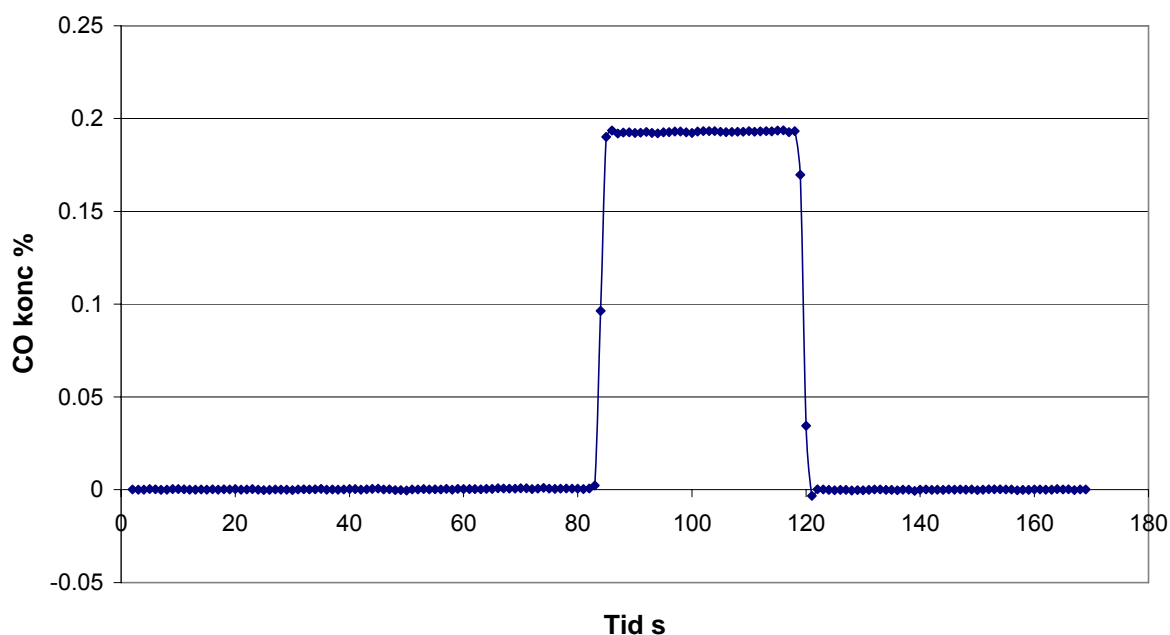
Vid 5 vol% mäter den fel med fasktorn  $5/4.68 = 1.07$  (7 % för lite)

### CO kalibrering

#### 200 ppm CO i kalibreringsgasen



### 2000 ppm CO i kalibreringsgasen



#### Resultat av COkalibreringen:

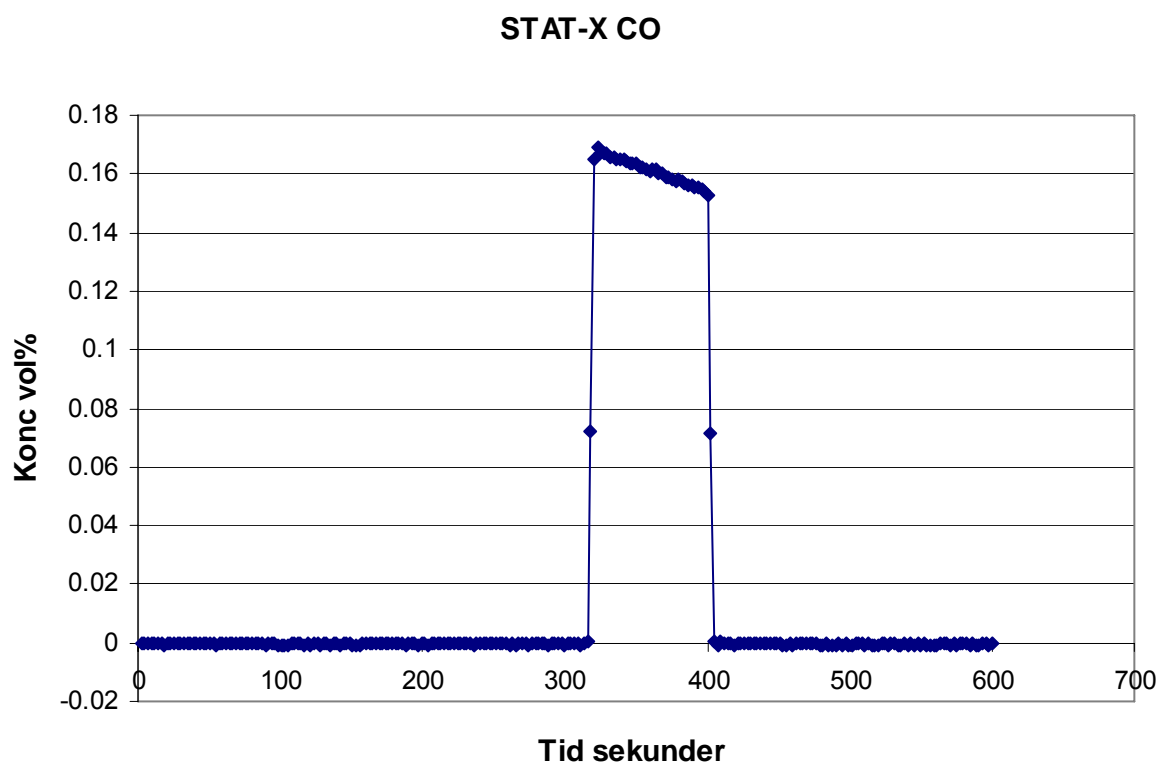
CO mäter rätt vid 200 ppm

Vid 2000 ppm mäter den fel med faktorn  $2000/1930 = 1.036$  (3.6% för lite)

#### Mätresultat med STAT-X och PIREPRO

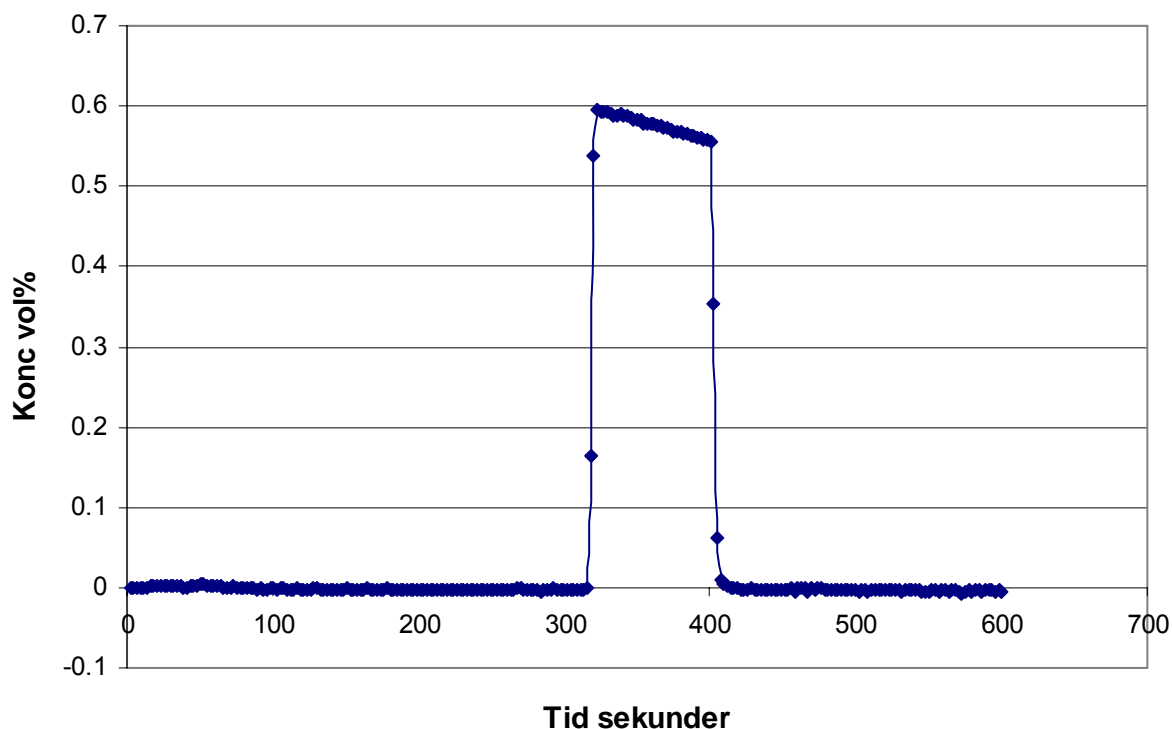
Mätningarna ägde rum i lilla boxen vi LTH:s brandlaboratorium. Boxen hade en volym av 482.5 liter. En kapsel aktiverades varefter en fläkt fick fördela brandgaserna jämt i rummet. Ingen vätskebrand fanns i boxen. Efter c:a 6 minuter slogs analysatorns pump till och gas strömmade till analysatorn. Då mätning skedde i ett slutet rum medförde analysatorn gasflöde att trycket i brandrummet långsamt sjönk vilket medförde att utslagen på mätarna minskade med tiden. Vid försöken mättes även dels släckmedelspatronens vikt före och efter försöken och dels togs mellan 4-5 minuter gasprover för senare analys av ammoniakhalt vid SP i Borås.

## Resultat från STAT-X





## STAT-X CO2



### Beräkningar för STAT-X

#### CO medelkoncentration i brandrummet

Vid försöken uppmättes 0.17 vol% CO vilket efter korrektion =  $0.17 * 1.036 = 0.176$  vol%  
dvs 1760 ppm

Volym i buren, 482.5 liter temperatur c:a 50 C.

Total mängd CO  $0.0018 * 482.5 = 0.87$  liter CO på 23.2 g viktsförlust i behållaren.

I vikt motsvarar detta grovt  $0.87/24 = 0.036$  mol CO som väger  $0.036 * (12+16) =$  c:a 1 g  
varav  $12/28 = 0.43$  gram är kol och 0.57 gram är syre.

1 gram släckmedel producerar således  $0.87/23.2 = 0.038$  liter CO

#### CO2 medelkoncentration i brandrummet

Vid försöken uppmättes 0.6 vol% CO2 vilket efter korrektion =  $0.6 * 1.13 = 0.68$  vol%.

Volym i buren, 482.5 liter temperatur c:a 50 C.

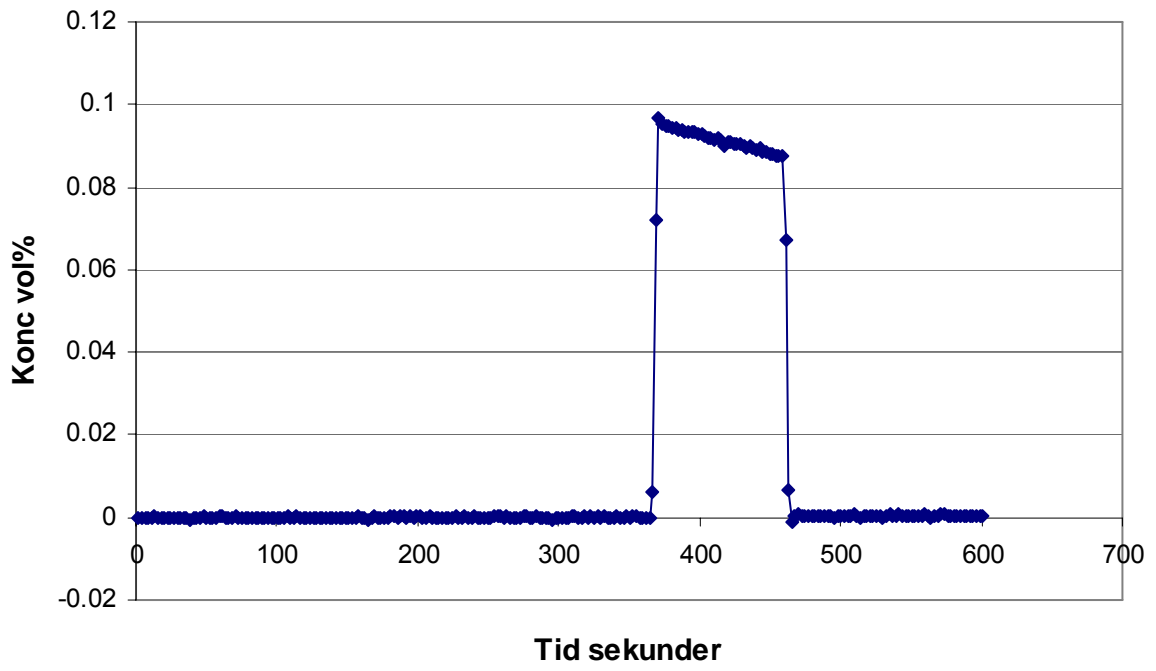
Total mängd CO  $0.0068 * 482.5 = 3.28$  liter CO2 på 23.2 g viktsförlust i behållaren.

I vikt motsvarar detta grovt  $3.28/44 = 0.137$  mol CO2 som väger  $0.137 * (12+32) =$  c:a 6 g  
varav  $12/44 = 1.54$  gram är kol och 4.46 gram är syre.

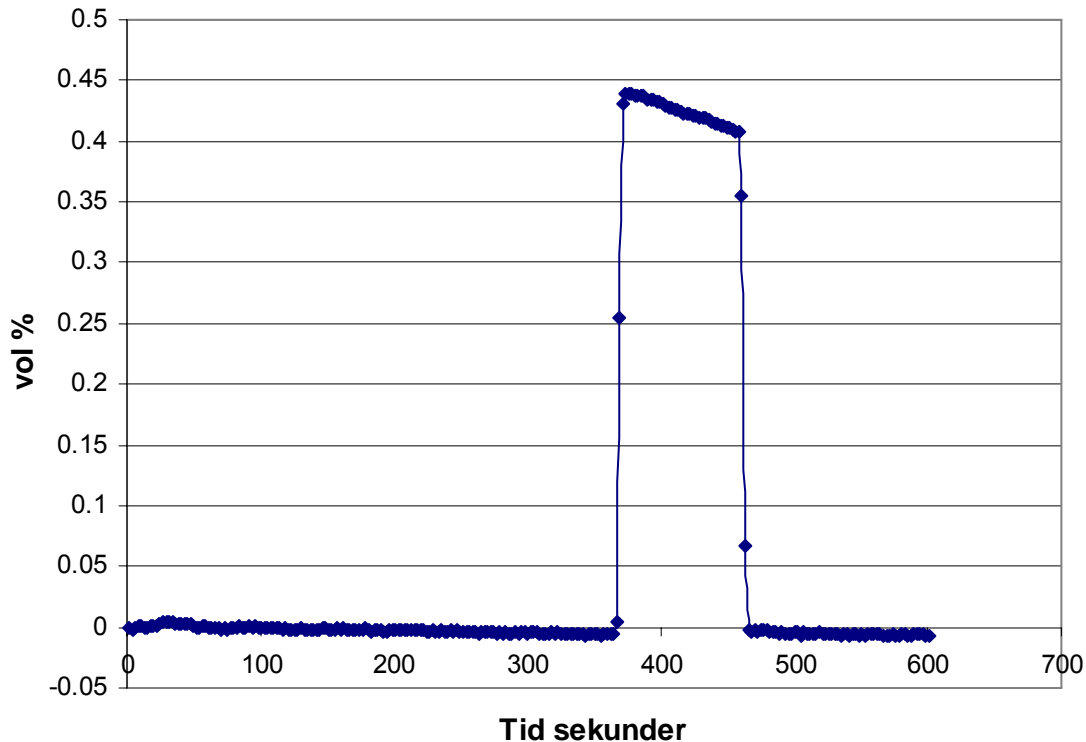
1 gram släckmedel producerar  $3.28/23.2 = 0.137$  liter CO2

# Resultat från FIREPRO

## FIREPRO CO



## FIREPRO CO2



### Beräkningar för FIREPRO

#### CO medelkoncentration i brandrummet

Vid försöken uppmättes 0.099 vol% CO vilket efter korrektion =  $0.099 * 1.036 = 0.103$  vol%  
dvs 1030 ppm

Volym i buren , 482.5 liter temperatur c:a 50 C.

Total mängd CO  $0.00103 * 482.5 = 0.50$  liter CO på 20 (?) g viktsförlust i behållaren.

I vikt motsvarar detta grovt  $0.5/24 = 0.021$  mol CO som väger  $0.021 * (12+16) =$  c:a 0.58 g  
varav  $12/28 = 0.25$  gram är kol och 0.33 gram är syre.

1 gram släckmedel producerar således  $0.5/20 = 0.025$  liter CO

#### CO2 medelkoncentration i brandrummet

Vid försöken uppmättes 0.44 vol% CO2 vilket efter korrektion =  $0.44 * 1.13 = 0.50$  vol%.

Volym i buren , 482.5 liter temperatur c:a 50 C.

Total mängd CO  $0.0068 * 482.5 = 2.4$  liter CO2 på 20 g viktsförlust i behållaren.

I vikt motsvarar detta grovt  $2.4/24 = 0.1$  mol CO2 som väger  $0.1 * (12+32) =$  c:a 4.4 g  
varav  $12/44 = 1.2$  gram är kol och 3.2 är syre.

1 gram släckmedel producerar  $2.4/23.2 = 0.103$  liter CO2

Övriga mätningar:

Mätning med paramagnetisk syrgasanalysator misslyckades på grund av tryckminskningen i boxen. Mätaren tål ej tryckskillnader mellan provrum och omgivning på grund av sin konstruktion.

### **Resultat av Ammoniak mätning vid småskaleförsök**

STAT-X

Provvoly m absorbentvätska 0.1 L

Extraherad volym gas 5 L ( 5 m/min under 1 min)

Uppmätt mängd NH<sub>3</sub> enligt (SP F8 13464) 20 mg/L vilket motsvarar

2 mg i provet som innehöll 0.1 L absorbentvätska

2 mg NH<sub>3</sub> i 5 L volym vilket motsvarar

$2 \text{ mg} = 2/17 = 0.118 \text{ mMol}$  i 5 liter vilket motsvarar

$0.118 * 24 / (1000 * 5) = 0.000564$  dvs. 564 ppm medelkoncentration i rummet

(1 mol = c:a 24 liter vid atm tryck och 50 C)

FIREPRO

Provvoly m absorbentvätska 0.1 L

Extraherad volym gas 5 L

Uppmätt mängd NH<sub>3</sub> enligt (SP F8 13464) 23 mg/L vilket motsvarar

2.3 mg i provet som innehöll 0.1 L absorbentvätska

2.3 mg NH<sub>3</sub> i 5 L volym vilket motsvarar

$2.3 \text{ mg} = 2.3/17 = 0.135 \text{ mMol}$  i 5 liter vilket motsvarar

$0.135 * 24 / (1000 * 5) = 0.000648$  dvs. 648 ppm medelkoncentration i rummet

(1 mol = c:a 24 liter vid atmosfäriskt tryck och 50 C)

### **Resultat av Ammoniak mätning vid fullskaleförsök (försök nr 4)**

#### **Försök utfördes endast vid ett prov med STAT-X**

Provvoly m absorbentvätska 0.1 L

Extraherad volym gas 4.5 L ( 4.5 l/min under 1 min)

Prov 1.1

Uppmätt mängd NH<sub>3</sub> enligt (SP F8 13464) 16 mg/L vilket motsvarar

1.6 mg i provet som innehöll 0.1 L absorbentvätska

1.6 mg NH<sub>3</sub> i 4.5 L gas vilket motsvarar

$1.6 / 17 = 0.1 \text{ mMol}$  i 4.5 gasvolym vilket motsvarar (Molekylvikt NH<sub>3</sub> = 17)

$0.1 * 24 / (4.5 * 1000) = 0.000533$  dvs. 533 ppm medelkoncentration i rummet

(1 mol = c:a 24 liter vid atm tryck och 50 C)

Prov 1.2 gav ingen NH<sub>3</sub> detekterad. Denna absorbentvätska låg i serie med 1.1 dvs 1.1 absorberade all ammoniak

Prov 2

Provvoly m absorbentvätska 0.1 L

Extraherad volym gas 13.5 L ( 4.5 l/min under 3 minuter)

Uppmätt mängd NH<sub>3</sub> enligt (SP F8 13464) 55 mg/L vilket motsvarar

5.5 mg i provet som innehöll 0.1 L absorbentvätska

5.5 mg NH<sub>3</sub> i 13.5L volym vilket motsvarar

$5.5 \text{ mg} = 5.5/17 = 0.32 \text{ mMol}$  i 13.5 liter vilket motsvarar

$0.32 * 24 / (1000 * 13.5) = 0.000574$  dvs. 574 ppm medelkoncentration i rummet

(1 mol = c:a 24 liter vid atm tryck och 50 C)

## Personriskvärdering:

**IDLH värder är:** the maximum [concentration](#) of a hazardous [material](#) from which one could escape within 30 minutes with no escape-impairing symptoms or irreversible health effects. The National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) recommends use of [IDLH](#) to select appropriate respirators. [If](#) adequate [data](#) does not exist for the precise establishment of the [IDLH](#) data, an independent certified industrial hygienist, industrial toxicologist, or appropriate regulatory agency [should](#) make this determination. [SEMI S2-91] .

**IDLH** värdena för CO och NH<sub>3</sub> är:

### CO 1200 -1500ppm (varierar något i litteraturen)

The current Occupational Safety and Health Administration (OSHA) permissible exposure limit (PEL) for CO is 50 ppm as an 8-hour time-weighted average (TWA) [29 CFR 1910.1000\*]. The NIOSH recommended exposure limit (REL) for CO is 35 ppm as an 8-hour TWA and a ceiling limit (CL) of 200 ppm [NIOSH 1992]. The NIOSH recommended immediately dangerous to life and health concentration (IDLH) for CO is 1,200 ppm. The IDLH is the concentration that could result in death or irreversible health effects, or prevent escape from the contaminated environment within 30 minutes. The American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) has adopted a threshold limit value (TLV) for CO of 25 ppm as an 8-hour TWA [ACGIH 1992a]

### NH<sub>3</sub> 300-500 ppm (varierar något i litteraturen)

#### Effects of Anhydrous Ammonia

Vapor Conc. (ppm)	Effects	Period
5-10	odor threshold	-
25	noticeable odor	NIOSH REL (8 hr TWA exposure limit)
35	“	NIOSH 15 min max. exposure (STEL)
50	Detectable by most people	OSHA Permissible Exposure Limit (PEL) No injury from prolonged, or repeated exposure
100	strong odor	
134	Irritation of the nose & throat	Eight hours maximum exposure
150	very strong odor	½ Immediately dangerous to life & health (IDLH)
300		IDLH
400	major throat irritation	Ordinarily, no serious results following short exposures

700	Coughing, severe eye irritation, may lead to loss of sight	One hour, maximum exposure
1,700	convulsive coughing, Serious lung damage, death unless treated	No exposure permissible (may be fatal < 1/2 hr)
2,000	Skin blisters and burns within seconds	No exposure permissible
5,000	respiratory spasms, strangulation, asphyxia, suffocation within minutes	No exposure permissible (rapidly fatal)
15,000	burns & blisters skin	

**Sammanfattning:**

**Båda släckmedlen ger CO och NH<sub>3</sub> koncentrationer som är högre eller i paritet med IDLH värdena för respektive gaser vid en dimensionerande koncentration av släckmedel på c:a 40 g/m<sup>3</sup>.**