



AMMONIAK/LUFT-EXPLOSIONER Landskrona-försöken 1996

T Carlsson, S Lamnevik, K Niréus, K Ormegard, B Sandberg

Risikanalysgruppen

Postadress
Grindsjön
14725 TUMBA

Besöksadress
Grindsjön

Telefon
08-7063000

Telefax
08-7064143

AMMONIAK/LUFT-EXPLOSIONER

Landskrona-försöken 1996

T Carlsson, S Lamnevik, K Niréus, K Ormegard, B Sandberg

Risikanalysgruppen

Postadress
Grindsjön
14725 TUMBA

Besöksadress
Grindsjön

Telefon
08-7063000

Telefax
08-7064143

SAMMANFATTNING

FOA har av Statens Räddningsverk fått i uppdrag att utföra försök under v 644 i Landskrona med ammoniak/luft-explosioner i container (beställning nr 9580-01, 1996-10-07). Försöken har omfattat:

Verifiering av tändenergier från laboratorieprov

Tryckmätningar vid olika avlastningsareor och turbulensfall

Temperaturmätning i brandskyddsdräkter (kompleta med andningsapparater och hjälmar)

Försöken, som var mycket lyckade, visade:

Elektriska gnistor tänder ammoniak/luftblandningar

Tändenergin är måttlig

Glödlampor kan fungera som tändkälla

Explosionsförloppet är ej våldsamt om avlastningsarea finns

Bra branddräkt med andningsapparat ger överlevnad vid explosion i liten lokal med avlastningsarea

Detta betyder att ägare till kylmaskinrum med ammoniak som kylmedium bör ägna tid åt att:

Avlägsna belysningsarmatur med nakna glödlampor

Kartlägga elutrustningen, identifiera och skydda kontakter som kan ge gnistor/ljusbågar

Utarbeta rutiner för heta arbeten i kylmaskinrum så att tändning av ammoniak undviks.

Kartlägga avlastningsarean till det fria. Skador vid en eventuell explosion kan undvikas om avlastningsarean är större än 0,5 % av kylmaskinrummets totala inneryta (tak + golv + väggar).

INNEHÅLL

	sid
Sammanfattning	2
Uppdraget	4
Försökscontainer	5
Försök med olika tändkällor	6
Svetslåga	6
Elektrisk gnista	7
Glödlampa med och utan hölje	8
Lysrör	9
Tryck vid explosion	10
Tom container	10
Container med turbulensökande hinder	13
Container med mindre öppning till det fria	15
Provning av branddräkter	16
Brandskyddsdräkt RB 90	16
TST brandskyddsdräkt	18
Slutsatser	20
Referenser	21
Bilaga 1 (Tryckregistreringar)	
Bilaga 2 (Temperaturregistreringar)	

UPPDRAGET

FOA har av Statens Räddningsverk fått i uppdrag att utföra försök under v 644 i Landskrona med ammoniak/luft-explosioner i container (beställning nr 9580-01, 1996-10-07). Försöken skall omfatta:

Verifiering av tändenergier

Tryckmätningar vid olika avlastningsareor och turbulensfall

Temperaturmätning i brandskyddsdräkter (kompletta med andningsapparater och hjälmar)

Försöken är en komplettering av tidigare gjorda försök i container (Lamnevik, 1994) och pålaboratorium (Carlsson & Lamnevik, 1996).

De tidigare utförda arbetena visade att blandningar av ammoniak och luft ej tändes av rödglödande motstånds-tråd, att tändning kunde ske med elektrisk gnista men att det därvid var lättare att tända (krävdes lägre energi) med induktiv gnista jämfört med kapacitiv gnista.

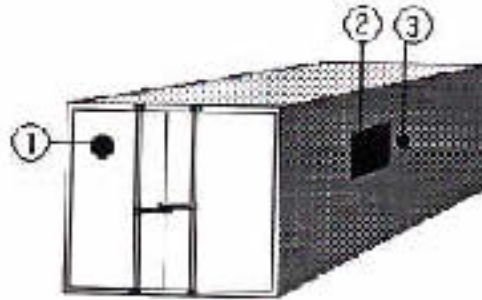
Ett önskemål var också att undersöka huruvida belysningen i kylmaskinrum kunde utgöra en potentiell tändkälla vid ett ammoniak-läckage. Tändning tänktes i så fall kunna ske om kall, vätskeformig ammoniak råkade träffa en naken tänd glödlampa eller lysrör så att glashöljet sprack av temperaturchocken och glödtråden exponerades fritt för ammoniak/luft.

Uppdraget har utförts i samarbete med Roland Bengtsson med medarbetare på ESQ Management i Landskrona och har följts på plats av Anders Lindberg, Ammonia Partnership AB.

Från FOA har deltagit Stefan Lamnevik (projektledare), Tomas Carlsson (tändkällor), Kjell Niréus (temperaturmätningar), Kaj Ormegard (foto och video) och Bertil Sandberg (tryckmätningar).

FÖRSÖKSCONTAINER

Som försökscontainer användes den som användes vid de tidigare försöken, en stålcontainer med innermåten 2,3 x 2,4 x 7,5 m (bredd x höjd x längd). Containern hade ett kvadratisk hål på ena långsidan på 1 x 1 m, som fungerade som avlastningsarea. Hålet var under försöken täckt med en plastfilm, som tejpades fast.



Figur 1. Försökscontainer.

- 1 Fönster för filmning
- 2 Avlastningsarea, 1 m²
- 3 Uttag för tryckmätning

Vid försökens början var containern helt tom. Plankgolv och tidigare inredning som simulerade apparater i kylmaskinrum var borttagna.

Ammoniak leddes in via ett rör på långsidan mittemot fönstret. Innan försök med ammoniak gjordes kontrollerades att alla inre ytor i containern var torra. Torkning gjordes vid behov med en större varmluftfläkt.

Alla försök videofilmades genom ett litet plexiglasfönster i ena dörren, se figur 1.

Tändning med glödlampa utan glashölje och elektriskt gnistgap gjordes vid den kortsida som saknade dörrar.

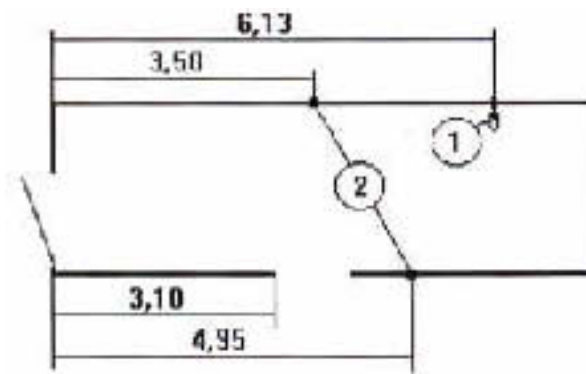
FÖRSÖK MED OLIKA TÄNDKÄLLOR

Svetslåga

Försöken med svetslåga gjordes för att fastställa vid vilken koncentration en ammoniak/luft-blandning säkert tändes.

Två försök gjordes, där en 10 cm lång, svagt reducerande svetslåga utgjorde tändkällan.

Svetslågan tändes varefter ammoniak i gasform släpptes in. Svetslågan var placerad vid 1 i figur 2, se nedan. Ammoniak togs från en tank som stod på en våg, vilken kontinuerligt visade vikten digitalt, i containern införd mängd ammoniak registrerades vid tändning.



Figur 2. Containern sedd uppifrån.

1 Svetslåga, höjd över golv 1,03 m

2 Tryckgivare, höjd över golv 1,03 m

Tändning skedde efter 8 kg respektive 6 kg insläppt vikt ammoniak. Detta motsvarar en koncentration i containern av 26,4 respektive 19,8 vol-% vid +10 °C, vilket är 120 respektive 90 % av stökiometrisk koncentration (22 vol-%).

Med anledning av dessa resultat låstes samtliga experiment i containern till insläpp av **7 kg** ammoniak, d v s **23 vol-%** ammoniak eller **105 % av stökiometrisk koncentration.**

Elektrisk gnista

Laboratorieförsök hade visat att tändning av ammoniak/luft-blandningar kan ske med gnistor från uppladdade kondensatorer eller strömgenomflutna induktanser, förutsatt att gnistgapets längd är större än 3,3 mm. Optimalt gnistgap area 5 mm (Carlsson & Lamnevik, 1996).

Erforderliga minsta tändenergier vid laboratorieförsöken (vid stökiometrisk blandning, 22 vol-%) var ca 300 mJ vid gnistor från kondensatorer och ca 30 mJ vid gnistor från induktanser.

Vid försöken i containern valdes därför att använda gnistgap med 5 mm gap och tändning med 12 V tändspole med induktans 6,2 mH och resistans 1,8 ohm. Energin per gnista ($1/2LI^2$) var 130 mJ.

Gnistgapen var placerade på en lodrät ramp med 40 cm mellan varje och början 40 cm över golvnivå. Varje gnistgap matades av en separat tändspole.

Gnistgapen kunde avfyras individuellt eller samtliga på en gång. Båda sätten användes vid försöken.

Glödlampa med och utan hölje

Glödtråd från glödlampor hade vid tidigare laboratorieförsök visat sig kunna tända ammoniak/luft-blandningar.

Vid försöken användes därför en lodrät ramp, liknande den för gnistgap, men med hållare för glödlampor med E27 sockel på var 40 cm.

Glödlampor, 60 W och 100 W, slogs sönder i sin förpackning. Det gick relativt lätt att med måttliga slag krossa glödlampans yttre glashölje utan att fördärva glödtråden. Resterande sockel med mittståndare och glödtråd skruvades sedan in i glödlampshållarna i rampen.

Varje glödtråd tändes individuellt och fick därvid full nätspänning, 230 V. Då spänning läggs på brinner tråden av (oxidation med luftsytret).

Vid försök i containern tände ammoniak/luft-blandningen varje gång tändning med naken glödtråd från glödlampa provades.

En hel, dvs med intakt glashölje, tänd 100 W glödlampa utsattes sedan för stänk av flytande (kondenserad) ammoniak. Glashöljet sprack därvid av temperaturchocken, varefter glödtråden antände ammoniakångorna, se figur 3. Vi detta försök var inte containern fylld med ammoniak/luft-blandning.



Figur 3. När kondenserad ammoniak träffar en 100 W glödlampa spricker denna så att tändning sker

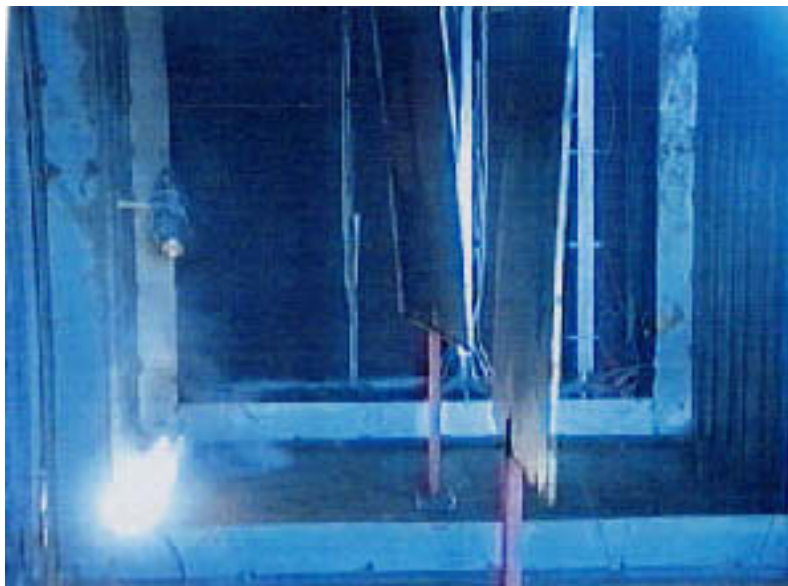
Lysrör

Vid tidigare laboratorieförsök har visats att nakna glödtrådar från lysrör kan tända ammoniak/luft-blandningar på samma sätt som en glödlampa utan glashölje kan.

I Landskrona provades om lysrör som träffades av flytande ammoniak skulle spricka och sedan tända ammoniakångor i närheten. Vid dessa försök användes en lysrörsarmatur med 2 x 58 W lysrör, avsedd för allmän belysning inomhus. Själva lysrören är normalt täckta av en plastkupa, men denna var borttagen vid försöken.

Då flytande ammoniak hälldes från ett Dewarkärl ner på de tända, nakna lysrören förgasades ammoniaken, men lysrören höll. Det enda synbara som hände var att de delar som träffades av ammoniakstrålen gick ned i lysintensitet, se figur 4.

Det är inte säkert att alla lysrörstyper är lika tåliga, provning med flytande ammoniak på tänd lysrör bör ske för varje särskild typ (18 W, 20 W, osv).



Figur 4. Då flytande ammoniak träffar ett tänd 2 x 58 W lysrör håller detta. Antändning sker ej av ammoniak.

TRYCK VID EXPLOSION

Vid alla försök i containern mättes trycket i tvåpunkter enligt figur 2. Som tryckmätare användes differenstryckgivare (Statham # 52543 +/- 25 psid). Trycksignalen spelades in på en transientrecorder Kontron WW 700.

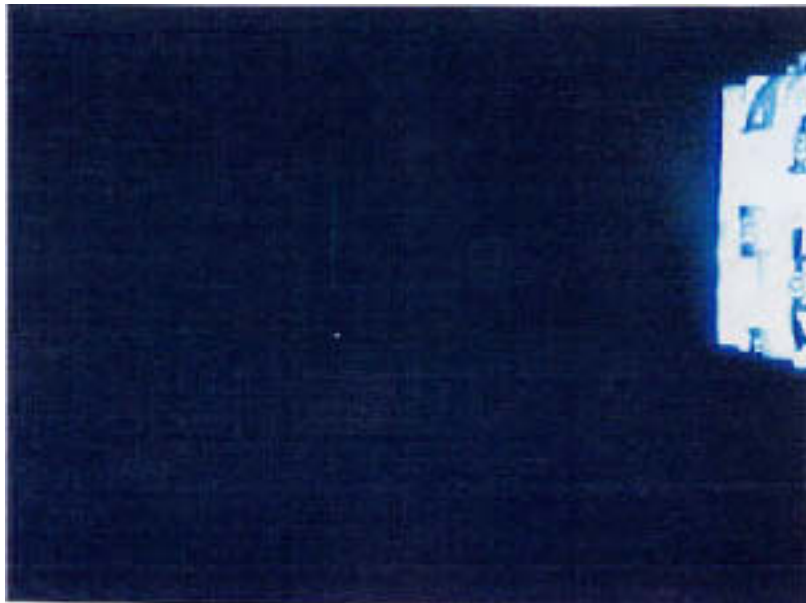
Förloppet vid explosion videofilmades också genom fönstret i ena dörren.

Tom container

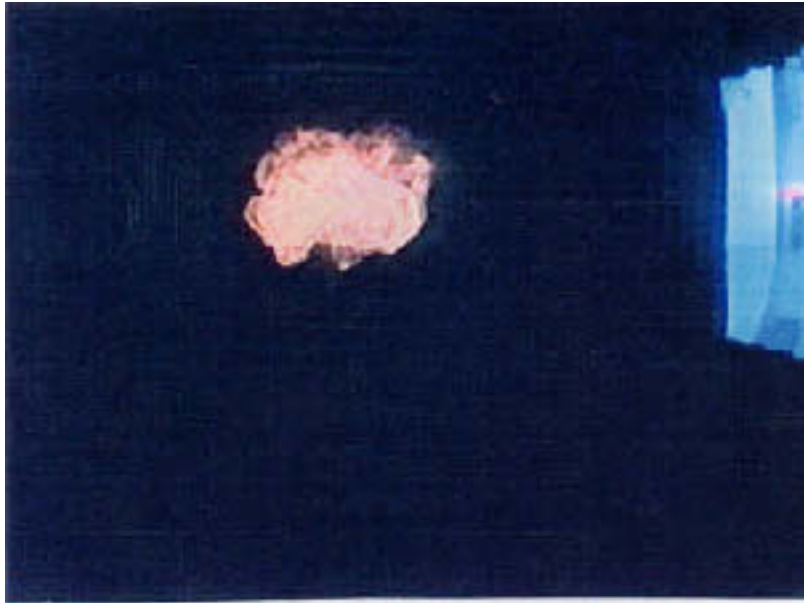
Alla försök gjordes med 23 vol-% ammoniak eller **105 % av stökiometrisk koncentration.**

Totalt gjordes 5 försök: 2 med svetslåga, 2 med elektrisk gnista och 1 med glödlampa utan glashölje. Tändning skedde vid första försöket i samtliga fall.

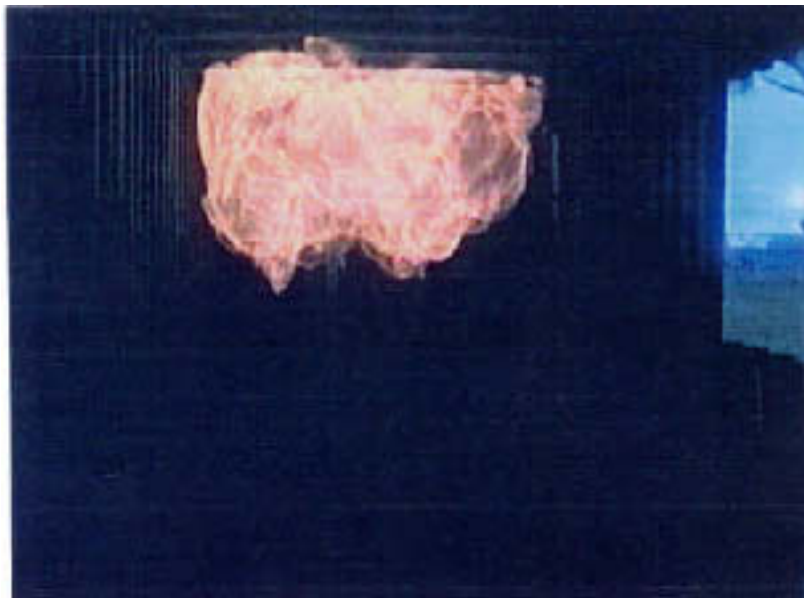
Generellt kan sägas att explosionsförloppet var lugnt och att flamhastigheten var låg och laminär tills flamfronten nådde någon vägg. Ett typiskt förlopp ser ut som figur 5-8 visar, nedan.



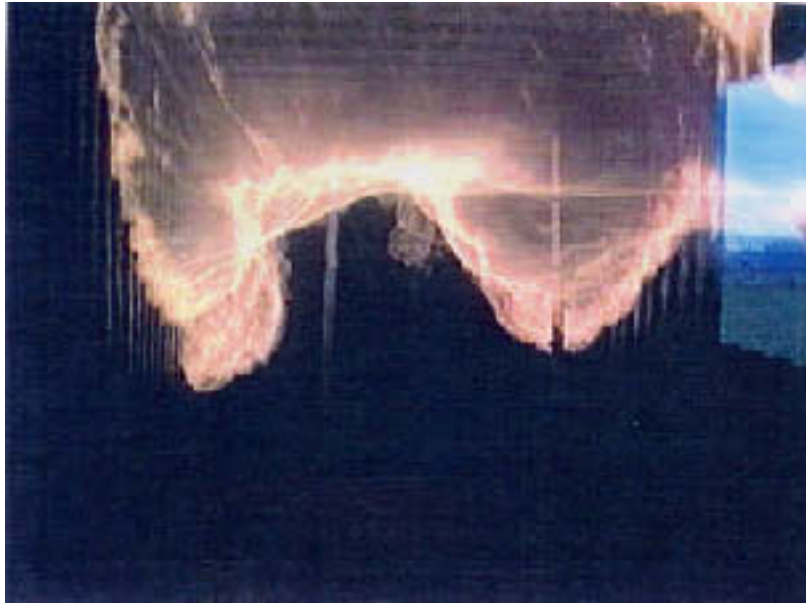
Figur 5. Antändning sker med elektrisk gnista 0,8 m över golv



Figur 6. Sfärisk flamexpansion under rörelse uppåt



Figur 7. Flammans övre del når taket



Figur 8. Flamfronten går nedå-utåt

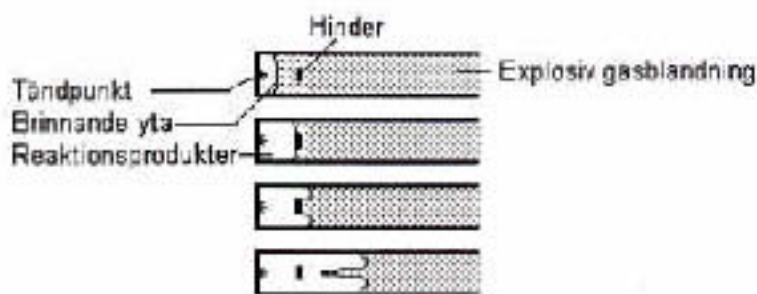


Figur 9. Laminär, nedåriktad flamma
nedanför fönstrets nivå

Tryck i tom container, 1 m ² avlastningsyta		
Tändkälla	Topstryck, kPa	Varaktighet, s
Svetslåga	0,24	1,3
Svetslåga	0,08	ca 4
Elektrisk gnista	0,21	1,5
Elektrisk gnista	0,19	1,4
Glödlamptråd	1,4	1,0

Container med turbulensökande hinder

Om den brinnande ytan per tidsenhet ökar så ökar volymen avgaser per tidsenhet och därmed trycket. Hinder i vägen för flamfronten ökar den brinnande ytan språngvis. Principen framgår av figur 10, nedan.



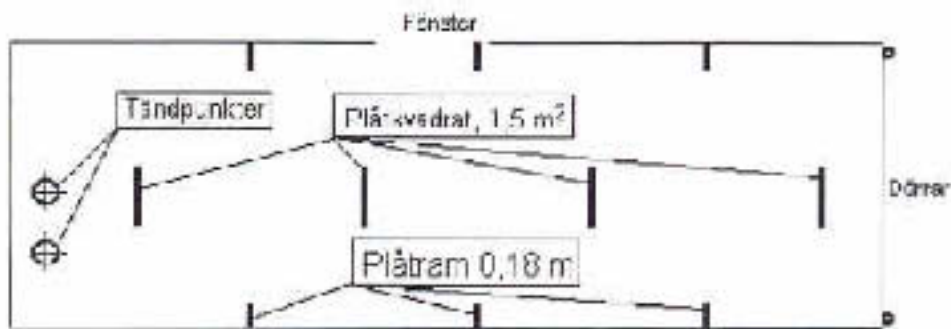
Figur 10. Hinder i flamfrontens väg ökar den brinnande ytan och därmed trycket

Ytan av ett hinder i flammans riktning i ett visst tvärsnitt delat med tvärsnittsarean där är ett mått på andelen hinder och brukar kallas ytblockeringskvoten. Mellanrummet mellan hinder i strömningsriktningen brukar kallas pitch eller hinderintervall.

Vid försöken i Landskrona användes en **ytblockeringskvot** av **30 %** och en **pitch** av **1 m**. Det var ursprungligen tänkt att även använda ytblockeringskvoterna 10 och 20 %, men detta avstod man från eftersom inverkan på trycket var måttlig redan vid 30 %.

I kylmaskinrum bedöms ytblockeringskvoten ligga under 30 %, i varje fall för större anläggningar.

Vid 30 % ytblockeringskvot och pitch 1 m gjordes 3 försök, 2 tända med glödlampa utan hölje, 1 tänd med elektrisk gnista. Hindren i containern utgjordes av plåtar enligt figur 11, nästa sida.



Figur 11. Hinderkonfigurering,
30 % ytblockeringskvot, pitch 1 m

Flamutbredningen blev nu mycket mera komplex, förbränningsförloppet snabbare och trycket högre.



Figur 12. Flamma vid 30 % ytblockeringskvot

Tryck i container, 1 m² avlastningsyta, 30 % ytbl.kvot

Tändkälla	Topptryck, kPa	Varaktighet, s
Gödlamptråd	0,22	1,5
Gödlamptråd	0,65	1,5
Elektrisk gnista	0,80	1,7

Container med mindre öppning till det fria

Vid dessa försök täcktes fönstrets öppning i containern till hälften med plåt, så att den fria arean blev mindre.

Hindren behölls vid dessa försök, dvs **ytblockeringskvoten var 30 %** och **pitch 1 m**.

Två försök gjordes vid avlastningsytan **0,5 m²**. Båda tändes med elektrisk gnista.

Tryck i container, 0,5 m² avlastningsyta, 30 % ytbl.kvot

Tändkälla	Topptryck, kPa	Varaktighet, s
Elektrisk gnista	2,4	3,6
Elektrisk gnista	1,3	5,2

Ett försök gjordes vid avlastningsytan **0,25 m²**. Tändning skedde med elektrisk gnista.

Tryck i container, 0,25 m² avlastningsyta, 30 % ytbl.kvot

Tändkälla	Topptryck, kPa	Varaktighet, s
Elektrisk gnista	1,0	6,0

PROVNING AV BRANDDRÄKTER

Brandskyddsdräkt RB 90

Dockor (vanliga skyltdockor) kläddes i underställ, huva, hjälm och full Räddningsdräkt RB 90. Både Spiro och Dräger andningsapparat (exkl. gastuber) provades.

Temperaturprover (termoelement krom/alumel) anbringades på dockans "hud"-yta på 5 platser:

Ansikte
Höger arm
Mage
Höger lår
Rygg

Dockorna placerades i containern, dels inne **vid** den **långvägg** som saknade fönster, dels **vid** själva **fönstret**. Containern fylldes med ammoniak/luft-blandning (ammoniakkoncentration 105 % av stökiometrisk koncentration). Ytblockeringskvot 30 % och pitch 1 m användes.

UPPMÄTTA TEMPERATURSTEGRINGAR		
Mätpunkt	Vid vägg	Vid fönster
Ansikte	23	16
Höger arm	9	14
Maga	4	8
Höger lår	25	8
Rygg	4	4

Visiret till Spiro andningsapparat blev bubbligt, men höll tätt. Båda andningsapparaterna gick att andas genom efter test.

Dräkten ändrade färg efter testen. Huvan blev i ett fall bränd på utsidan (viktigt att stänga väl i halsen!).



Figur 13. Räddningsdräkt RB 90.
Hjälm under huvan. Spiro andnings-
apparat.

TST brandskyddsdräkt

Liksom vid brandskyddsdräkt RB 90 användes underställ, huva, hjälm och full brandskyddsdräkt. Både Spiro och Drager andningsapparat (exkl. gastuber) provades.

Temperaturprover (termoelement krom/alumel) anbringades på dockans "hud"-yta på 5 platser:

Ansikte
Höger arm
Mage
Höger lår
Rygg

Dockorna placerades i containern, dels inne **vid** den **långvägg** som saknade fönster, dels **vid** själva **fönstret**. Containern fylldes med ammoniak/luft-blandning (ammoniakkoncentration 105 % av stökiometrisk koncentration). Ytblockeringskvot 30 % och pitch 1 m användes.

UPPMÄTTA TEMPERATURSTEGRINGAR		
Mätpunkt	Vid vägg	Vid fönster
Ansikte	22	26
Höger arm	19	13
Mage	11	6
Höger lår	-	11
Rygg	7	3

Visir klarade sig. Detaljer till andningsapparater blev brända men apparaterna gav luft efter testen.

Dräkten ändrade färg efter testen.



Figur 14. TST brandräkt
Spiro andningsapparat

SLUTSATSER

Genom utförda prov har visats:

Elektriska gnistor tändes ammoniak/luft-blandningar

Tändenergin är måttlig

Glödlampor kan fungera som tändkälla

Explosionsförloppet är ej vådsamt om avlastningsarea finns

Bra branddräkt med andningsapparat ger överlevnad vid explosion i liten lokal med avlastningsarea

Detta betyder att ägare till kylmaskinrum med ammoniak som kylmedium bör ägna tid åt att:

Avlägsna belysningsarmatur med nakna glödlampor

Kartlägga elutrustningen, identifiera och skydda kontakter som kan ge gnistor/ljusbågar

Utarbeta rutiner för heta arbeten i kylmaskinrum så att tändning av ammoniak undviks.

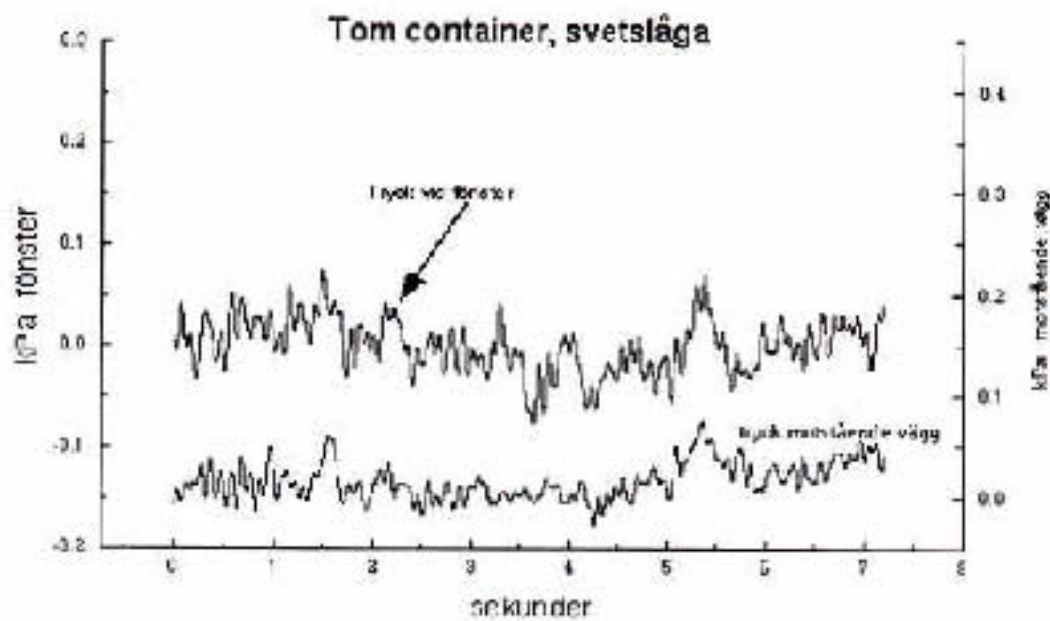
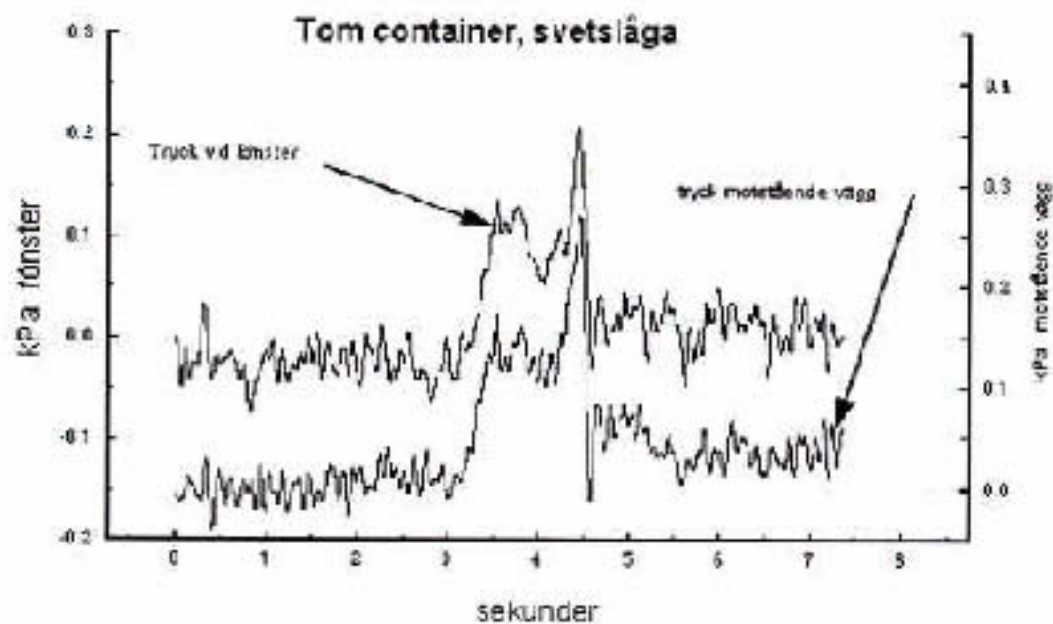
Kartlägga avlastningsarean till det fria. Skador vid en eventuell explosion kan undvikas om avlastningsarean är större än 0,5 % av kylmaskinrummets totala inneryta (tak + golv + väggar).

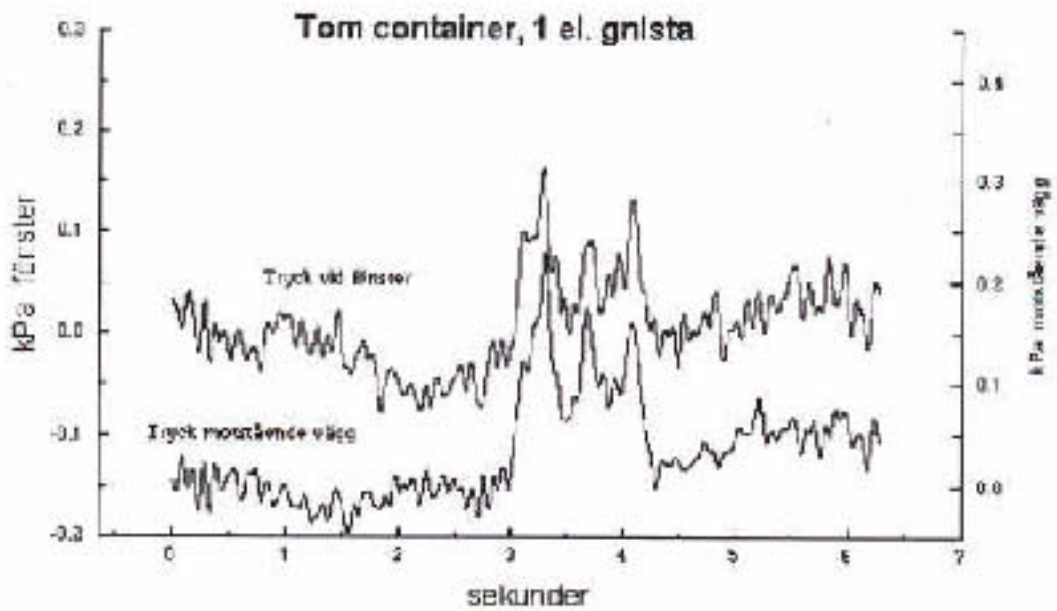
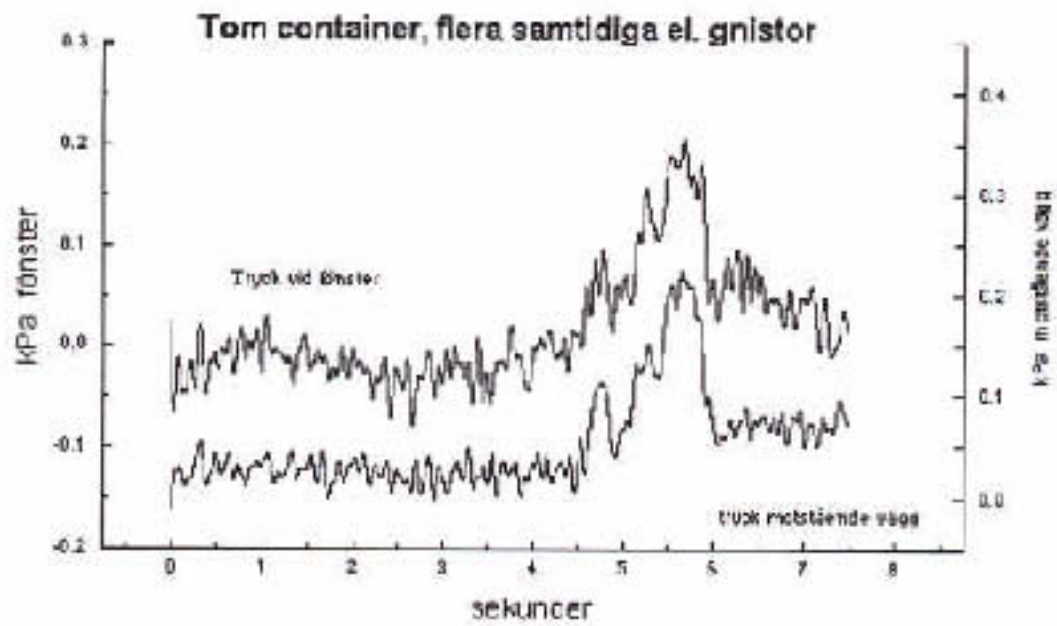
REFERENSER

S Lamnevik, Explosion av ammoniak/luft-blandningar, Landskrona-försöken 1994, FOA dnr 95-36,S

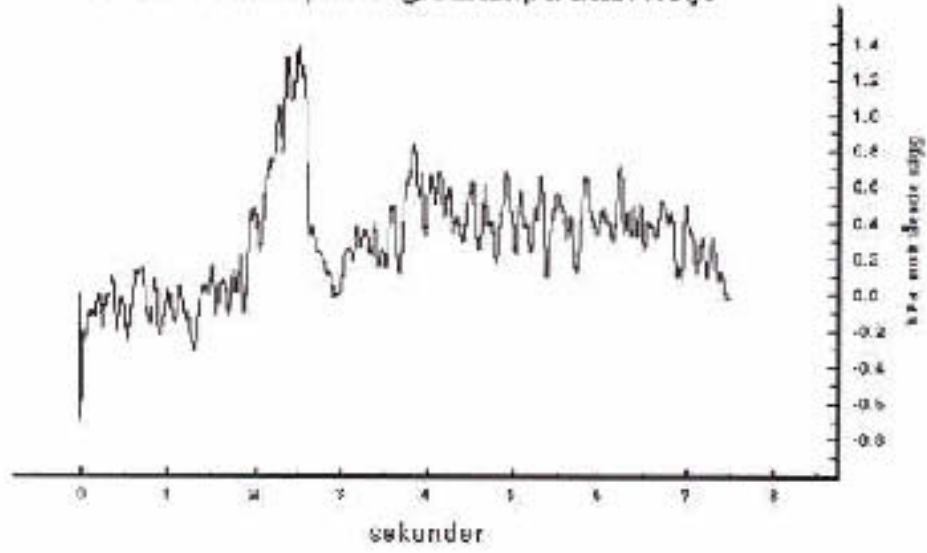
S Lamnevik, Ammoniak/luft-explosioner, Litteratur- och erfarenhetsstudie FOA dnr 95-3262/S

T Carlsson & S Lamnevik, Bestämning av minsta tändningsenergi vid explosion av ammoniak/luft-blandningar, FOA dnr 96-2169/S

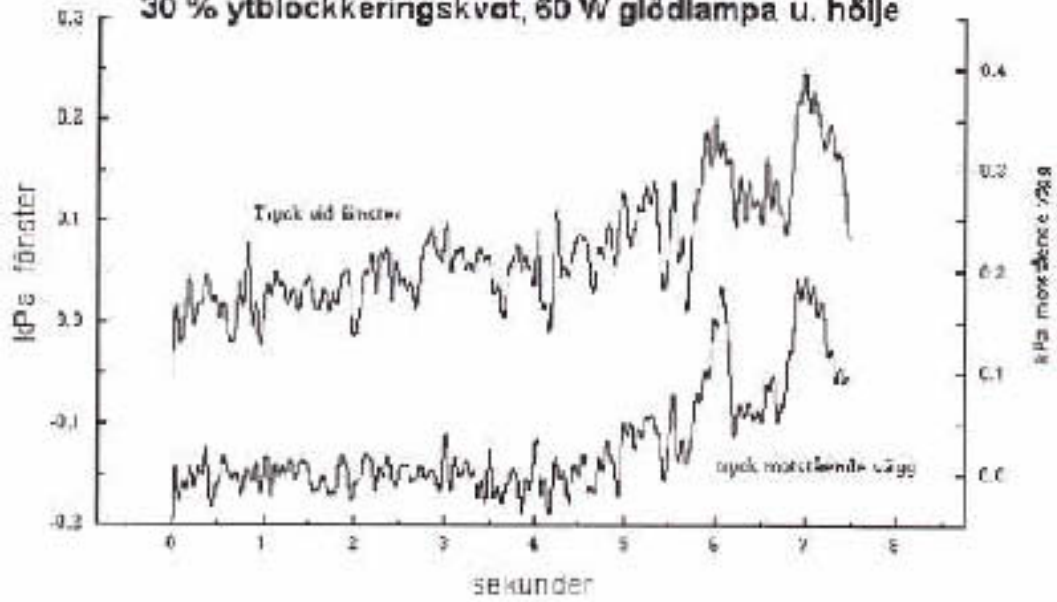


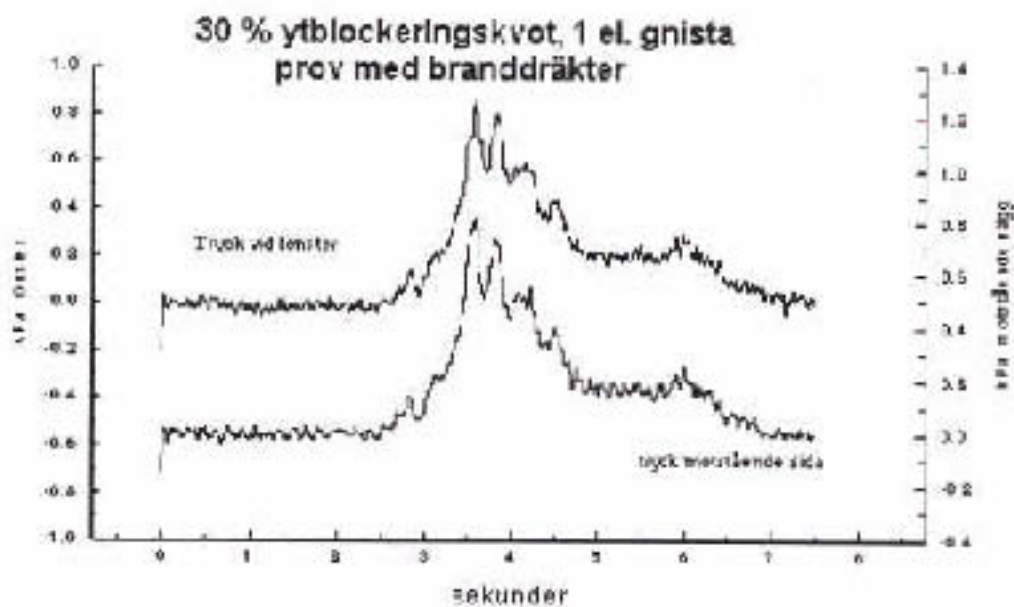
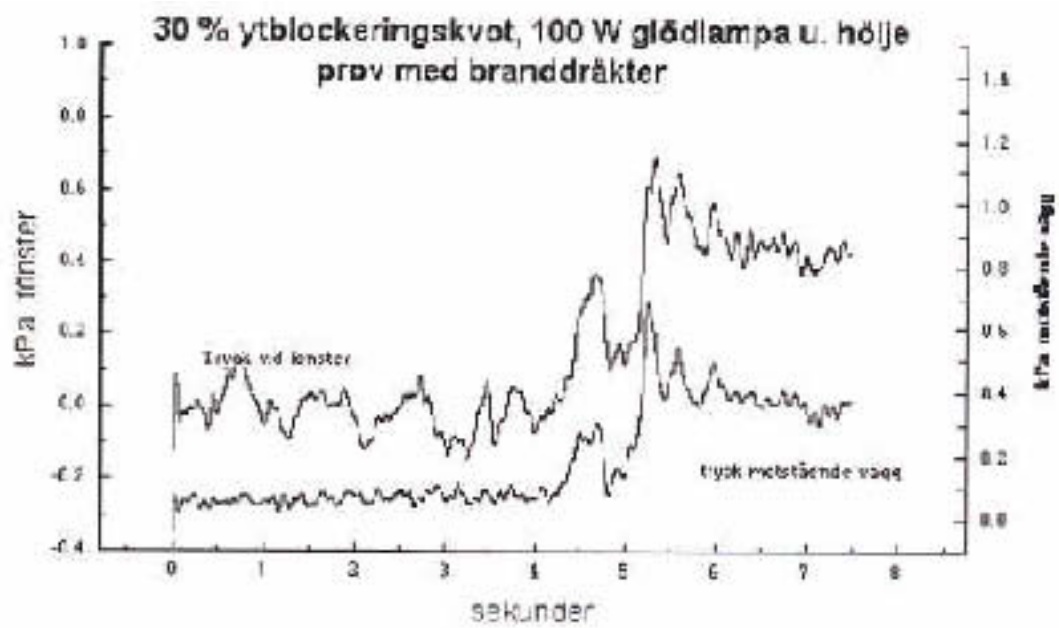


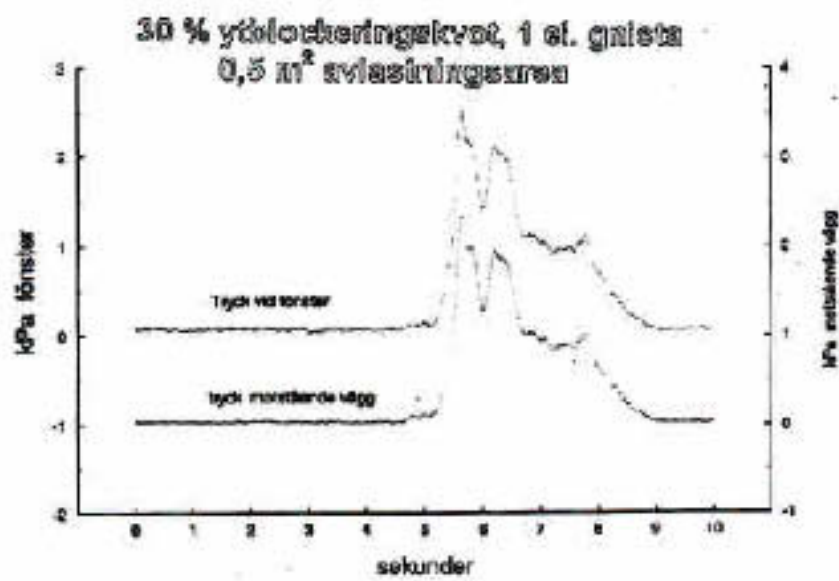
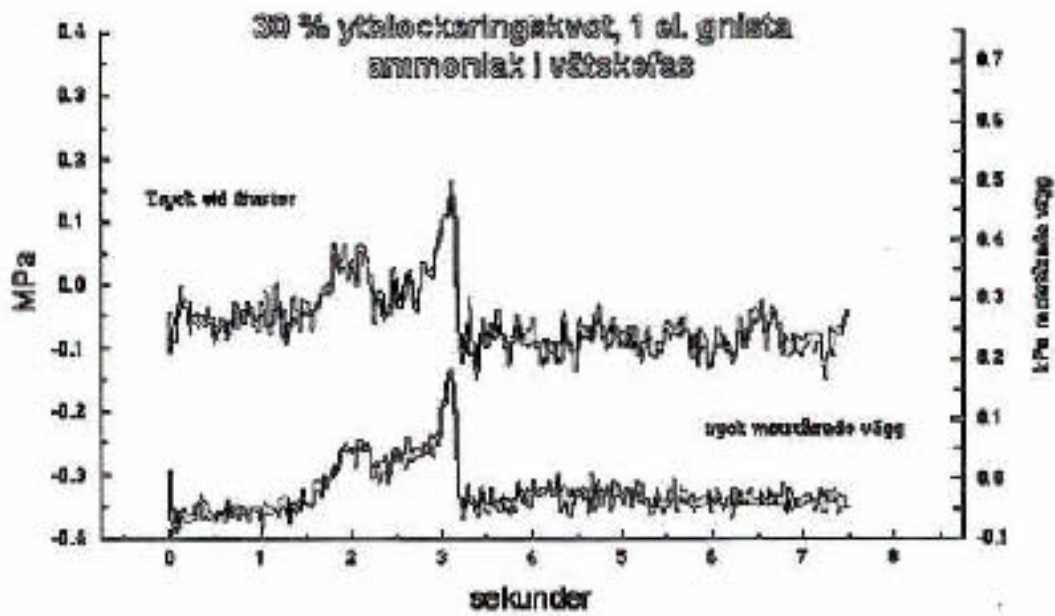
Tom container, 60 W glödlampa utan hölje

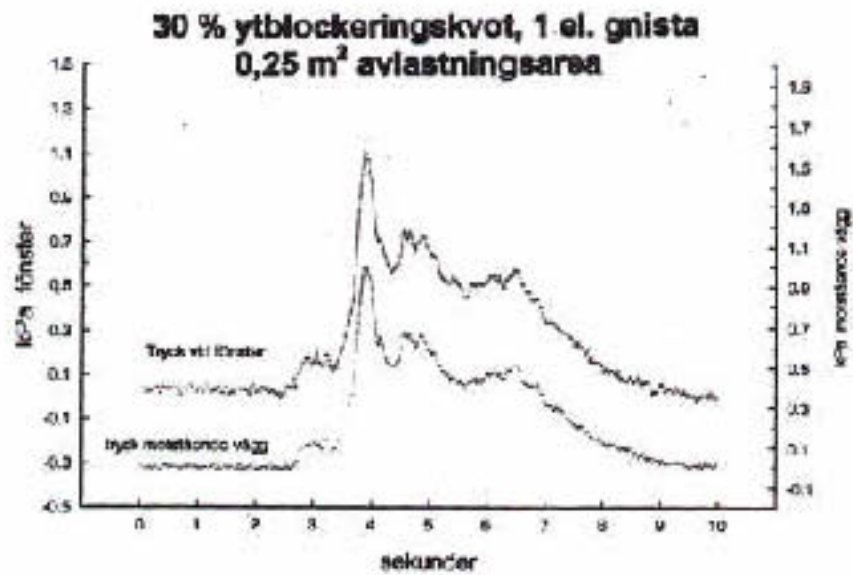
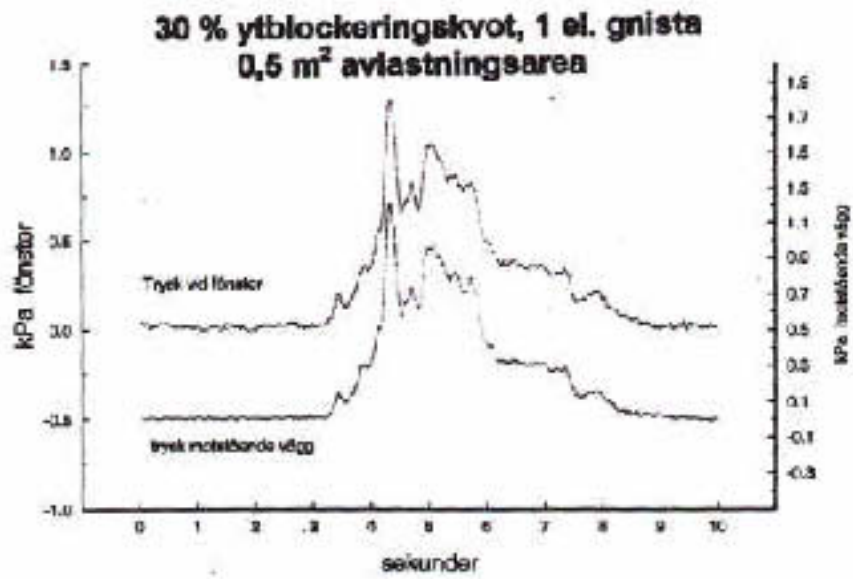


30 % ytblockkeringskvot, 60 W glödlampa u. hölje



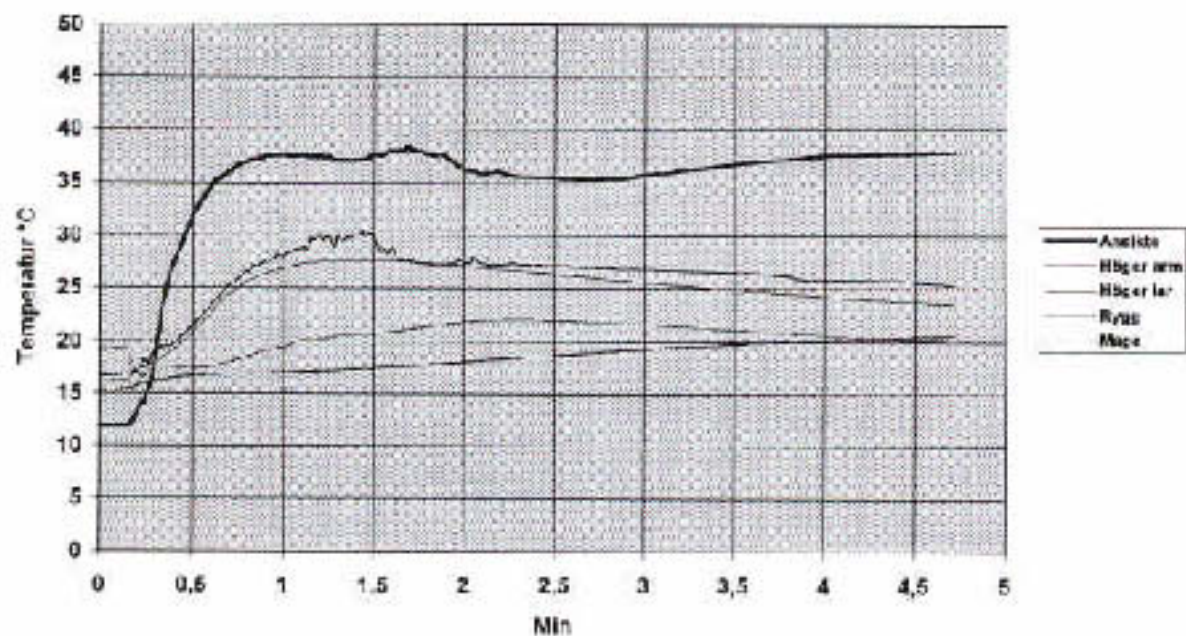






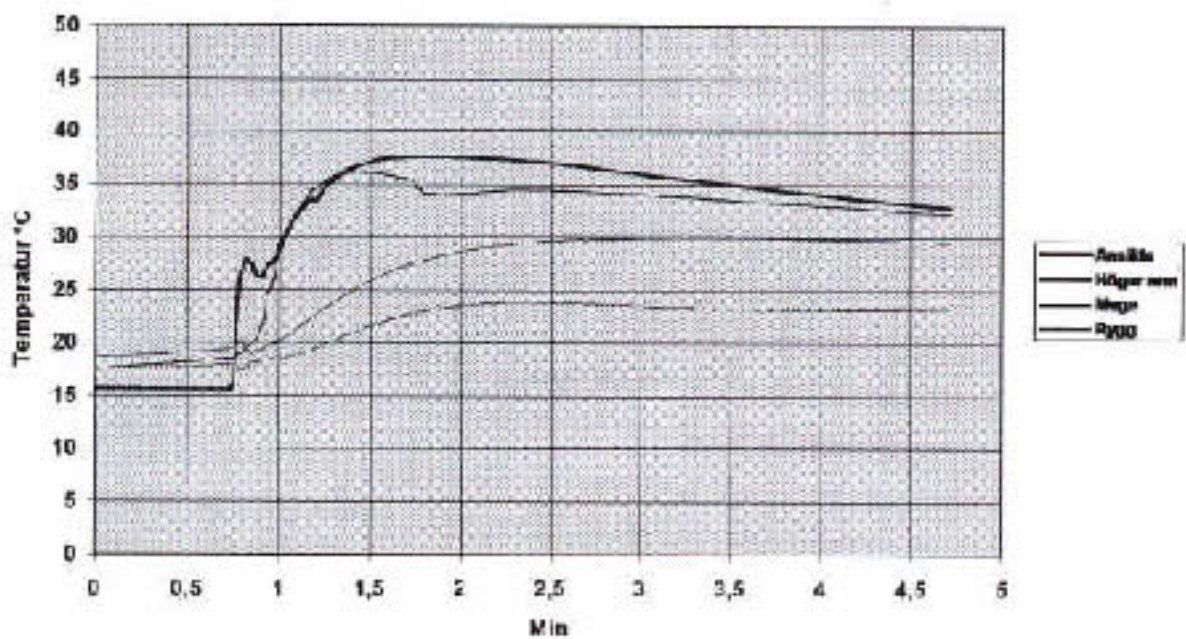
VID FÖNSTER

TST Branddräkt



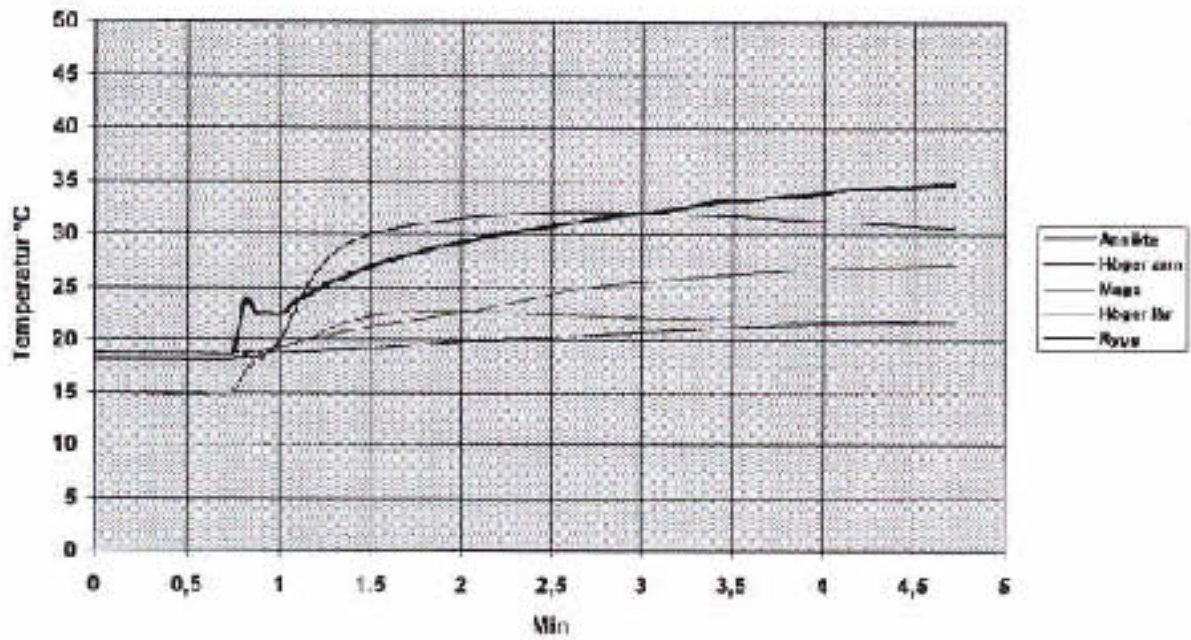
VID VÄGG

TST Branddräkt



VID FÖNSTER

Räddningsdräkt 90



VID VÄGG

Räddningsdräkt 90

