

Utvärdering av dämpningsmetoder för livräddning med lägre skyddsnivå vid olycka med kondenserad gas

ANDRÉ APPELBLAD, HÅKAN ERIKSSON, LARS HÄGGLUND,
JERKER THORPSTEN, MARIANNE THUNÉLL, HÅKAN WINGFORS,
PÄR WÄSTERBY, LILLEMOR ÖREBRAND



André Appelblad, Håkan Eriksson, Lars Hågglund,
Jerker Thorpsten, Marianne Thunéll, Håkan
Wingfors, Pär Wästerby, Lillemor Örebrand

Utvärdering av dämpningsmetoder för livräddning med lägre skyddsnivå vid olycka med kondenserad gas

Titel	Utvärdering av dämpningsmetoder för livräddning med lägre skyddsnivå vid olycka med kondenserad gas
Title	Evaluation of methods of impact for lifesaving rescue operations at a lower level
Rapportnr/Report no	FOI-R--4032--SE
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2014
Antal sidor/Pages	37 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	MSB
Forskningsområde	2. CBRN-frågor och icke-spridning
FoT-område	
Projektnr/Project no	E4111/E41112
Godkänd av/Approved by	Mats Strömqvist
Ansvarig avdelning	CBRN-skydd och säkerhet

Lars Hedlund, Boliden Mineral AB Rönnskärsverken och Mattias Hagelin, Skellefteå räddningstjänst, förbereder utsläppsförsöken. Samtliga foton i rapporten är tagna av FOI.

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk. All form av kopiering, översättning eller bearbetning utan medgivande är förbjuden.

This work is protected under the Act on Copyright in Literary and Artistic Works (SFS 1960:729). Any form of reproduction, translation or modification without permission is prohibited.

Sammanfattning

Försök att impaktera läckande kondenserad gas med hjälp av improviserad materiel (enkla, lättillgängliga föremål) har utförts. Försöken genomfördes med kontrollerade utsläpp ur behållare med tryckkondenserad ammoniak respektive svaveldioxid. Försöken visar att en impakteringsgrad på drygt 80 % kan uppnås och att gaskoncentrationen i luften på avstånd från utsläppskällan sänks vid impakteringen. Skyddseffekten hos branddräktsmaterial, avseende förmågan att stå emot gaser (svaveldioxid, ammoniak och klor), har undersökts på laboratorium. Försöken visade att de undersökta branddräkterna ger mycket kort skyddstid mot gas och att kyleffekten blir stor på insidan av materialen efter kemikalieexponering.

Den kunskap som erhållits vid dessa försök om de dämpande effekter som med enkla medel är möjliga att uppnå, i kombination med kunskap om skyddsutrustningens förmåga, kan utgöra ett stöd för arbetsledaren vid en insats vid en händelse med kondenserad gas.

Nyckelord: Kondenserade gaser, ammoniak, svaveldioxid, klor, spridningsbegränsning, impaktering

Summary

Field trials to impact leaking liquefied gas, using simple, accessible objects have been carried out. The experiments were conducted with controlled releases of liquefied ammonia and sulphur dioxide from containers. The protective ability of fire suit materials against gases was examined in the lab.

The experiments show that over 80% of the chemicals can be impacted and that the gas concentration in the air at a distance from the emission source is lowered when using the impaction methods.

The protective effect of fire suit material, regarding the ability to resist gases (sulphur dioxide, ammonia and chlorine), has been studied in the laboratory. The experiments showed that the investigated fire suits will give a very short protection against gas. There is a significant cooling effect on the inside of the material after exposure to the liquefied chemicals.

The knowledge obtained in these trials regarding the dampening effects that with simple means are achievable, combined with knowledge of the protective equipment capability, can be a support during risk analysis before responding to an incident with liquefied gas.

Keywords: Liquefied gases, ammonia, sulphur dioxide, chlorine, limitation of dispersion, aerosol impaction

Innehåll

1	Inledning	7
2	Försöksplanering	8
2.1	Nuläge olycksplats	8
2.2	Nedskalning	8
3	Material och metod	9
3.1	Fältförsök	9
3.1.1	Dämpningsutrustning	12
3.1.2	Mätning av gaskoncentration nedströms utsläppet	14
3.1.3	Personburna gasvarnare	18
3.1.4	RAPID	18
3.2	Laborativa försök.....	18
3.2.1	Försök med kemikalier i gasfas	19
3.2.2	Försök med kemikalier i vätskefas.....	20
4	Resultat	23
4.1	Fältförsök	23
4.1.1	Svaveldioxid, SO ₂	23
4.1.2	Ammoniak, NH ₃	26
4.1.3	Personburna mätare	27
4.2	Laboratorieförsök	28
4.2.1	Försök med kemikalier i gasfas	28
4.2.2	Försök med kemikalier i vätskefas.....	28
5	Diskussion	32
5.1	Fältförsök	32
5.1.1	Mätteknisk diskussion	32
5.2	Laboratorieförsök	33
6	Slutsatser	35
7	Acknowledgements	36
8	Referenser	37

1 Inledning

FOI har inom ramen för MSB:s 2.4-projekt *Utveckling av insatsmetoder för livräddning med lägre skyddsnivå vid olycka med kondenserad gas*, under ledning av Länsstyrelsen Västerbotten, genomfört laborativa försök och fältförsök tillsammans med Räddningstjänsten Umeå, Räddningstjänsten Skellefteå och Boliden Mineral AB, Rönnskärsverken. Projektet syftar till att utvärdera en metod för dämpning av gaskoncentration vid utsläpp av kondenserad gas. Resultatet från utvärderingen av metoden ska kunna användas som underlag vid riskbedömning vid en insats med utsläpp av kondenserad gas. Med hjälp av utvärderingen bedöms möjligheterna att vid lägre skyddsnivå (rökdykarutrustning) kunna begränsa spridning/riskområde från ett utsläpp av kondenserad gas och vid en olycka kunna agera tidigare och därmed öka förmågan att rädda liv och minska skador på miljö.

Nuvarande riktlinjer kräver att räddningstjänsten använder en särskild skyddsutrustning för att göra en insats vid den här typen av händelser. Denna utrustning finns inte tillgänglig hos varje räddningstjänst och det kan ta tid att få den till en olycksplats. Under den tiden kan exempelvis en skadad tank hinna läcka hela sitt innehåll och då är skadan redan skedd innan en insats kan påbörjas.

Tanken är att de begränsande åtgärderna ska utgöras av fysiska föremål som finns tillgängliga antingen i en brandbil eller att föremålen ska vara så allmängiltiga att de kan finnas att tillgå i stort sett var som helst.

En förstudie gjordes för att ta reda på hur ett försök skulle kunna utföras och vad som tidigare gjorts inom området [Thunéll *et al.* 2014].

Fältförsökets primära mål var att mäta effekterna av de begränsande åtgärderna med olika typer av föremål. Dämpningsmetoderna provades med de kondenserade gaserna svaveldioxid och ammoniak.

De laborativa försöken mäter det eventuella skydd mot kondenserad gas som befintliga dräkter som används inom räddningstjänsten kan ge. Även detta görs för att i riskbedömningen kunna väga för- och nackdelar med att tillämpa de begränsande åtgärderna vid en insats. Tester med och påverkan av svaveldioxid, ammoniak och klor i flytande form och gasform gjordes på tre modeller av dräkter för att utvärdera det befintliga personliga skyddet.

Sammantaget ger försöken och analysen av resultaten ett ökat stöd till operativ personal samt en ökad förmåga och förståelse för att begränsa konsekvenserna av en incident med kondenserad gas.

2 Försöksplanering

2.1 Nuläge olycksplats

Vid en olycksplats med farliga ämnen används begreppen het, varm och kall zon. I het zon har utsläpp skett eller pågår. Vid en olycka med farliga ämnen är rutinen att bara personal i särskild skyddsutrustning får vistas där. I varm zon räcker vanlig skyddsutrustning och i kall zon krävs ingen skyddsutrustning. Arbetsledaren bestämmer utifrån riskbedömning och föreskrifter, arbetarskyddsföreskrifterna (AFS), EU-direktiv och lokala föreskrifter, vilket personligt skydd som ska användas i den varma respektive heta zonen. Enligt nuvarande rutin sker livräddande åtgärder i het zon idag bara genom att drabbade snabbt förflyttas ur het zon för att påbörja först sanering och därefter vård och sjuktransport. Projektet vill betrakta spridningsbegränsande åtgärder som en livräddande insats då detta kan krympa den heta zonen och minska den mängd farliga ämnen som drabbade i het zon utsätts för.

2.2 Nedskalning

Vid ett läckage i t.ex. en tankvagn som innehåller ammoniak eller svaveldioxid kan ett hål av en golfbolls storlek antas ge upphov till ett läckage på ca 20 kg/s (norrländsk höst, + 10 °C) enligt RIB¹. Ett sådant läckage ger vid ett försök en hög kemikalieåtgång och snabbt mycket höga gaskoncentrationer, vilket kan leda till mättekniska problem. Vid impaktering av kemikalie från en sådan läcka erhålls dessutom snabbt en stor mängd kemikalie i vätskefas, vilket resulterar i onödigt höga risker vid hantering.

För att kunna studera skillnader mellan försök med odämpat utsläpp och dämpningsförsöken måste mätningar göras av hur stor gaskoncentrationen i luften är. Det beslutades därför att försöket, av mättekniska skäl, skulle skalas ner till lämpliga nivåer. Målsättningen blev att försöka nå ett läckage på 0,1 kg/s, som, om dämpningen skulle fungera till 100 % (vilket är orealistiskt bl.a. pga. den adiabatiska förångningen), skulle innebära 12 kg som maximal mängd impakterad kemikalie under två minuters utsläpp. Det bedömdes att de gaskoncentrationer som skulle uppstå vid utsläppen skulle hamna inom instrumentens mätintervall, för både odämpade och dämpade försök, om man för de högre koncentrationerna tog hjälp av spädustrustning.

¹ RIB är MSB:s informationskälla för alla som arbetar inom området samhällsskydd och beredskap, till exempel brandmän, poliser, transportörer, sjukvårdspersonal, kustbevakare och kommunala tjänstemän.

3 Material och metod

Fältförsökets primära mål var att mäta effekterna av olika typer av begränsande åtgärder/fysiska föremål vid utsläpp av de kondenserade gaserna ammoniak och svaveldioxid. Vid de laborativa försöken mättes genombrott av svaveldioxid, ammoniak och klor på material från tre av räddningstjänstens dräkter.

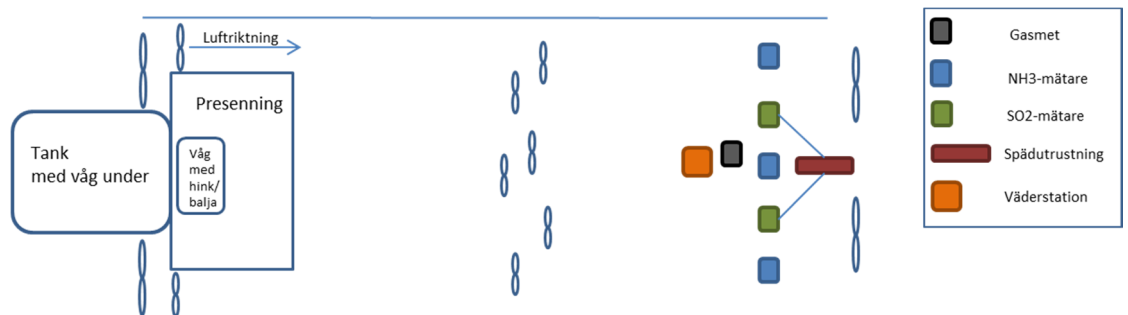
Vid några av försöken hade räddningstjänstpersonal som vistades nära utsläppsmunstycket, kemikalieämätare under sina brandställ för att registrera om kemikalier gick igenom eller inte, samt eventuell tid till larm.

3.1 Fältförsök

Fältförsöket utfördes under september 2014 med de kondenserade gaserna ammoniak och svaveldioxid vid södra försöksplatsen, Boliden Mineral AB Rönnskärsverken, Skelleftehamn. För att minska inverkan från väder och vind gjordes utsläppen av kondenserad gas i ett tält med öppna kortsidor, 20 x 5 x 2,20/2,50 m, (figur 1). För att istället simulera vind så att det blev likartade förhållanden vid samtliga försök användes 13 fläktar med kapaciteter på 20-250 m³/min i tältet (figur 1). Fläktarna gav en medelvind på 1,7-2 m/s. Detta uppmättes med upprepade avläsningar av vindmätare. Sex av de större fläktarna (ca 200 m³/min) placerades så att huvudflödet var riktat från utsläppsmunstycket mot motstående gavel där också två större fläktar var placerade, riktade ut genom tältets kortsida. De fem mindre fläktarna skulle skapa turbulens och blanda om luften i tältet för att uppnå en jämnare koncentration. De var placerade i mitten av tältet, något vinklade från huvudluftflödesriktningen. Med en tvärsnittsytta på ca 12 m² får man ett beräknat volymflöde på 17-20 m³/s eller ca 1000 m³/min och med en totalvolym på ca 230 m³ i tältet erhålls en ungefärlig beräknad uppehållstid för ett momentant och idealt utsläpp på ca 15 sekunder. Då flödet genom tältet inte är idealt, utan fläktar används för att medvetet skapa turbulens, blir uppehållstiden längre än för idealfallet. Med hjälp av en rökgenerator kunde en empirisk uppehållstid visuellt bestämmas till ca 30 sekunder. En väderstation var placerad i tältet under försöken för att registrera temperatur, luftfuktighet och vindhastighet. En principskiss återfinns i figur 2.



Figur 1. Tältet där utsläppen gjordes (vänster). Fläktar uppställda inne i tältet (höger).



Figur 2. Principskiss över tank för kemikalieutsläpp, samt tält med fläktomrörning och gasmätning.

Utsläppet av kondenserad gas gjordes från en tank med svaveldioxid respektive med ammoniak (figur 3). Ammoniaktanken, som totalt rymmer 510 kg, var fylld med 500 kg ammoniak och tanken för flytande svaveldioxid rymmer ca 3500 kg, men var fylld med 1500 kg vätska för att inte överskrida vågens maximala mätvikt, 3000 kg. Vid utsläppen var tankarna placerade på en väg med en noggrannhet på 0,01 kg. Genom att registrera hur mycket lättare tanken blev vid varje utsläpp kunde utsläppshastigheten och total mängd utsläppt ämne registreras. Ammoniak respektive svaveldioxid släpptes ut från tankarna med en källstyrka på ca 0,1 kg/s. Även några försök gjordes med källstyrkan 0,7 kg/s för att kunna göra en jämförelse med ett större utsläpp som mer liknande tyfallet, se avsnitt 2.2.



Figur 3. Tank med svaveldioxid placerad på väg (vänster). Slang mellan tank och munstycke (höger).

Från tankarna leddes gasen via en slang, 4 m lång för ammoniak och 10 m lång för svaveldioxid (figur 3) till ett munstycke (figur 4) som var fastsatt på en rektangulär plåtbit ca 1,4 m ovanför marken. Trycket vid utloppet registrerades med manometer. För svaveldioxid låg trycket kring 3 bar och för ammoniak ca 8 bar.



Figur 4. Munstycke för utspridning av ammoniak respektive svaveldioxid.

Innan försöken påbörjades gjordes mätningar i tältet för att få en uppfattning om hur bakgrunden såg ut, så kallade blankförsök. Därefter gjordes utsläpp med en källstyrka på ca 0,1 kg/s utan dämpning för att ta reda på maximal koncentration som uppstår i tältet vid ett utsläpp. Sedan gjordes likadana utsläpp fast med dämpande föremål vid utsläppsmunstycket. Under munstycket fanns en uppsamlingsbricka som samlade upp impakterad vätska vid dämpningsförsöken. Brickan lutade mot ena hörnet där det fanns ett hål med en slang fastmonterad på undersidan. Genom slangen leddes den impakterade vätskan ner i en hink som var placerad på en våg (figur 5). Därmed gick det att bestämma den mängd kemikalie som impakterades med respektive föremål. Totalt provades sex olika dämpande föremål. En väderstation registrerade förhållandena i tältet.

Försöken med en källstyrka på ca 0,7 kg/s, utfördes på samma sätt som ovan beskrivet, med ett dämpande föremål placerat över utsläppsmunstycket. Dessa försök utfördes för att kontrollera effekten av nedskalning/uppskalning. Ett dämpande föremål provades och impakterad mängd kemikalie vägdes. Väderstationen registrerade förhållandena i tältet.

En presenning var placerad på marken under vågen med hink och några meter framför utsläppsmunstycket för att inte kontaminera marken och för att förhindra markvärme från att förgasa kemikalier som hamnade där (figur 5). På utloppssidan av tältet fanns gasmätare för ammoniak eller svaveldioxid beroende på försök. Till svaveldioxidmätarna var en tryckluftmatad spädutrustning kopplad för att undvika att instrumenten skulle överskrida kalibrerat mätområde.



Figur 5. Hink på våg för uppsamling av impakterad vätska.

Mätarna i utloppsdelens av tältet registrerade koncentrationerna av kemikalier i luften på ca 16 meters avstånd från utsläppen. De uppmätta koncentrationerna med och utan dämpning kunde därefter jämföras.

3.1.1 Dämpningsutrustning

Vid försöken provades ett antal dämpningar med föremål. Valet av föremål styrdes av vad som finns tillgängligt i en brandbil, alternativt att föremålet är så vanligt förekommande att det är lättillgängligt i de flesta situationer.

Då utsläppets storlek av provningstekniska skäl skalats ned har även dämpningsföremålen skalats ned i motsvarande grad. Sex nedskalade föremål och ett fullskaligt har använts vid försöken (figur 6-12).

En plåt 52 x 100 cm, som representerar t.ex. en plywoodskiva, dörr eller annat liknande föremål placerades så att den stod lutad mot läckan så att munstyckets utlopp var 17 cm från plåten (figur 6).



Figur 6. Plåt för dämpning av utsläpp.

En bit branddräktsmaterial uppspant på en kabelstege placerades så det stod lutad mot läckan så att munstyckets utlopp var 6 cm från materialet. (figur 7). Detta dämpande föremål representerar ett larmställ som trätts över en vanlig stege.



Figur 7. Branddräktsmaterial på stege för dämpning av utsläpp.

En bit branddräktsmaterial uppspant på en kabelstege placerades så nära läckan som möjligt, så att munstyckets utlopp var i kontakt med materialet (figur 8). Detta representerar ett larmställ som trätts över en vanlig stege.



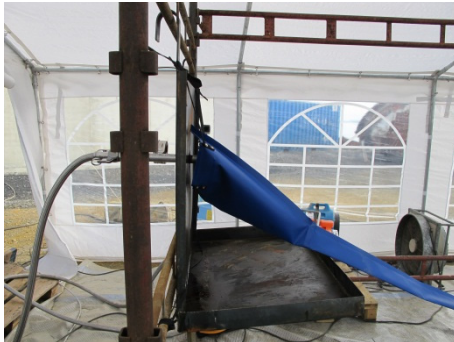
Figur 8. Branddräktsmaterial på stege för dämpning av utsläpp.

En presenning, 100 x 100 cm, med uppsamlingsficka med höjden 30 cm nertill samt med utlopp i ena hörnet användes för dämpning (figur 9). Utsläppsmunstycket var i kontakt med presenningsmaterialet.



Figur 9. Presenning med uppsamlingsficka för dämpning av utsläpp.

En nedskalad impakteringsstrut av samma modell som används av räddningstjänsten idag vid kemikalieläckage användes för dämpning (figur 10). Öppningsdiametern var 26 cm, strutens längd var 52 cm och avtappningsdelen var ca 8 m lång och 5 cm i diameter. Utsläppsmunstycket var placerat i struten mot överkanten.



Figur 10. Nedskalad impakteringsstrut för dämpning av utsläpp.

Ett PVC-rör med diametern 10 cm placerades så att munstycket var inuti röret (figur 11).



Figur 11. PVC-rör för dämpning av utsläpp.

Ett försök utfördes med utsläpp med källstyrkan 0,7 kg/s och med av MSB rekommenderad strut för dämpning av kemikalieutsläpp [Källström *et al.* 2011] monterad över utsläppsmunstycket (figur 12).



Figur 12. Fullskalig impakteringsstrut för dämpning av utsläpp.

3.1.2 Mätning av gaskoncentration nedströms utsläppet

Mätningar nedströms utsläppet gjordes för att verifiera att dämpningsförsöken också har en dämpande effekt på gaskoncentrationen i luften. Efter att upprepade utsläppsförsök genomförts utan dämpning erhöles den maximala gaskoncentrationen i luften som kunde uppnås för respektive kemikalie. Dessa

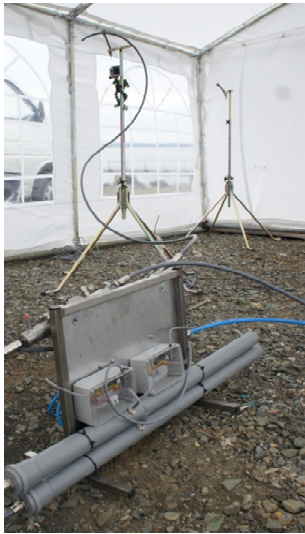
odämpade försök utgjorde så kallade nollförsök med vilka alla uppmätta luftkoncentrationer vid dämpningsförsöken jämfördes.

3.1.2.1 Mätning av svaveldioxid, SO₂

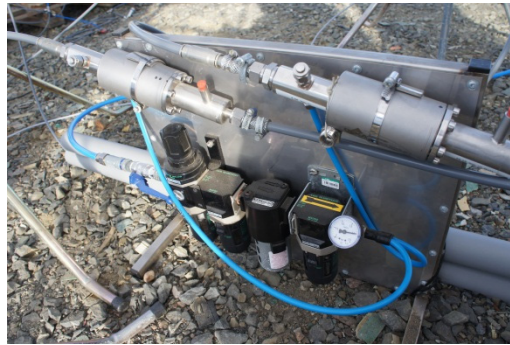
För detektion av svaveldioxid användes två NDIR (Nondispersive Infrared) sensorer² med ett mätområde på 0 – 2000 ppm. NDIR (figur 13) använder infraröd mätteknik och bygger på icke-dispersiv infraröd absorptionsspektroskopi. Absorbansen av ljus från en infraröd ljuskälla relateras till gaskoncentrationen i mätkyvetten.

Då gaskoncentrationerna kunde vara för höga för att mätas direkt av NDIR-sensorerna användes en spädutrustning³ (figur 14), som drevs med tryckluft och gav en spädfaktor på ca 10,8-11,4 gånger. Tryckluften till spädsystemet filterades för att minimera fukthalten, då vattenånga stör instrumentet genom överlappande IR-signal. För att inte provtagningsluften skulle tryckas genom sensorerna med högre flöde än sensorernas specificerade flöde, leddes luften från spädutrustningen ut i ett rör med 50 mm i diameter, varefter luften leddes med flödet 0,5 l/min från röret till sensorerna med hjälp av provtagningspumpar⁴.

För att logga mätdata användes programvaran LabVIEW⁵. NDIR-sensorerna gav koncentrationerna direkt i ppm.



Figur 13. Monterade NDIR-sensorer med en provtagningspunkt synlig.



Figur 14. Spädutrustning.

3.1.2.2 Mätning av ammoniak, NH₃

För detektion av ammoniak användes tre katalytiska ammoniaksensorer⁶ (figur 15). De har ett brett mätområde på 0-4 vol.%. I den katalytiska sensorn sitter två sensorelement, ett aktivt (katalytiskt) och ett passivt (icke-katalytiskt),

² SmartMODUL Flow från smartGAS Mikrosensorik GmbH, Tyskland

³ DI-1000 från Dekati Ltd, Finland

⁴ Modell X05-003 från Charles Austen Pumps Ltd, Storbritannien

⁵ LabVIEW från National Instruments Corp, USA

⁶ MK208-1 ammoniaksensor, GfG, Gesellschaft für Gerätebau mbH, Tyskland

placerade efter ett sintrat filter. Ammoniak oxideras/förbränns vid det aktiva sensorelementet, medan det passiva sensorelementet fungerar som referens. Den temperaturförändring som uppstår i det aktiva sensorelementet ger upphov till en förändring i elektriskt motstånd som motsvarar gaskoncentrationen. Eftersom gasen förbränns/oxideras i sensorn behövs syre för att mätmetoden ska fungera, varför denna sensortyp generellt inte fungerar i syrefria miljöer. Då dessa försök skedde utomhus var detta dock inget problem.

Utsignalen från ammoniaksensorn är en analog strömsignal, 4-20 mA, som mättes över ett 100 Ω precisionsmotstånd. Även data från dessa sensorer loggades med LabVIEW.



Figur 15. Katalytisk ammoniaksensor.

3.1.2.3 Kalibrering av mätinstrument

De instrument som användes för gasanalys kalibrerades före och efter varje serie av dämpningsförsök med gas från gasflaskor⁷ med bestämda koncentrationer, svaveldioxid 1000 ppm och ammoniak 20 000 ppm. Avvikelsen i de dagliga kalibreringsomgångarna var mindre än 6 %.

3.1.2.4 Viktmätning

För att kunna följa och logga utsläpp och impakterad mängd kemikalie användes precisionsvågar. Den gastank som användes vid respektive utsläppsförsök var placerad på en våg⁸ med mätområde 0-3000 kg med en upplösning på 0,01 kg. Kärlet för uppsamling var placerat på en våg⁹ med mätområde 0-100 kg med 0,01 kg upplösning. Vågarna var i sin tur kopplade

⁷ Air liquid, Sverige

⁸ KVJ1814 014B Boliden Mineral Testvåg 4000kg, vågram med fyra (4st) sammankopplade lastceller, Boliden Mineral AB, Sverige - Lastcell fabrikat BLH Nobel, model KIS-3-20kN-C3, leverantör BLH Nobel, USA

⁹ Vågplatta med en (1st) singelpoint lastcell, Boliden Mineral AB - Lastcell fabrikat Tedeo Huntleigh, modell 1250, Emax 150kg, C3, leverantör BLH Nobel, USA

till ett våginstrument¹⁰, där tankens bruttovikt, nettovikt och massflöde samt uppsamlingskärlets nettovikt övervakades (figur 16).

Våginstrumentets analoga utsignal hade en upplösning på 16 bitar och 0-10 V som skalades om till 0-2,5 V med en spänningsdelare med precisionsmotstånd för att kunna läsas in till PC med en datainsamlingsmodul¹¹. Viktdata loggades med LabVIEW.



Figur 16. Våginstrument.

3.1.2.5 Kompletterande mätning av svaveldioxid, SO₂ och ammoniak, NH₃

I försökstältets utloppsända placerades en mätsond för kompletterande mätning av gasfasens koncentration av svaveldioxid respektive ammoniak med ett FTIR-instrument¹² (figur 17). Mättekniken FTIR (Fourier transform infraröd spektroskopi) baseras på ämnenas förmåga att absorbera infrarött ljus.

Absorbansen mäts och signalen behandlas med en matematisk transformering, så kallad Fourier transformering. Denna mätteknik har ett linjärt område som oftast är ganska litet, ca 1-100 ppm för både svaveldioxid och ammoniak, jämfört med de ovan beskrivna teknikerna med NDIR och katalytiska sensorer. Vid svaveldioxidmätningen placerades mätsonden så att prov togs från ett redan utspätt delprovflöde, samma som för NDIR, men på grund av det smala linjära området krävdes ytterligare ett spädsteg för de högsta koncentrationerna. Spädsteget bestod av att med hjälp av en nålventil addera ett kalibrerat delluftflöde som filterats genom ett ABEK¹³-filter till provtagningsflödet.



Figur 17. FTIR-instrument för mätning i tält.

¹⁰ Modell G4-PM, serie nr. 10-0025, programversion 1.7.0.0, BLH nobel, USA (tidigare företagsnamn: Nobel Elektronik, Thermo Nobel, Vishay Nobel)

¹¹ DT9821, 24-bitars från Data Translation GmbH, Tyskland

¹² Gasmeter DX4030, Gaset Technologies, Oy, Finland

¹³ Filter av typ ABEK adsorberar organiska gaser och ångor med en kokpunkt över +65°C, oorganiska och sura gaser och ångor, samt ammoniak och vissa aminer.

3.1.3 Personburna gasvarnare

Två personburna gasvarnare¹⁴ för ammoniak respektive svaveldioxid med loggningsfunktion provades för att komplettera de genombrottsförsök på dräktmaterial som gjordes på laboratoriet i gascell, se avsnitt 3.2.

Vid försöken placerades en gasvarnare innanför branddräktens jacka (i brösthöjd) på en av de personer som deltog i arbetet med att montera dämpningsutrustning, väga impakterad vätska och återställa försöksplats efter försök.

3.1.4 RAPID

I ett försök att övervaka eventuell gas som kom ut i tältets utloppsända, placerades ett FTIR-instrument¹⁵ (figur 18), som vanligtvis används för avståndsindikering av kemikalier, ca 20 meter från tältöppningen. RAPID användes som ett komplement till mätinstrumenten i tältet för att mäta gaskoncentrationen just utanför tältet där koncentrationen var mest homogen. Tanken var att kunna jämföra koncentrationen mellan försök gjorda med olika slags dämpning. Tyvärr visade det sig under analysen av mätningarna, som gjordes efter försöket, att instrumentet gav osäkra värden. Efter att ha uttömt alla möjligheter att lösa problemen beslutades det att inte ta med mätresultaten från RAPID i rapporten.

Figur 18. FTIR-instrument för mätning utanför tältet.



3.2 Laborativa försök

Material från tre olika brandställ testades för deras motståndskraft att hindra genombrott av svaveldioxid, klorgas, och ammoniak, i gasfas. Brandställen och deras uppbyggnad är beskrivna i tabell 1. När genombrottet väl sker för luftgenomsläppliga barriärmaterial är genombrottsförloppet ofta snabbt, varefter en jämviktsnivå uppnås. Genombrottskurvan, dvs. genombrottskoncentrationen plottad mot tid, är ofta en sigmoid¹⁶ kurva. Det måste poängteras att dessa material kommer från dräkter som inte är gjorda för

¹⁴ BW GasAlert Extreme, BW Technologies, Kanada

¹⁵ RAPID, Bruker Corporation, Tyskland

¹⁶ "S"-formad

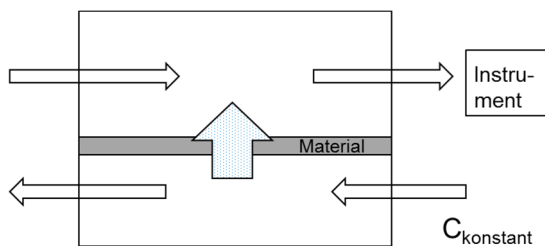
att stå emot gas, utan mätningar görs för att öka kunskapen om vilket potentiellt skydd som ändå kan uppnås med materialen.

Tabell 1. Brandställsmaterial som användes vid försöken.

Brandställ	Färg	Antal skikt	Material
Viking PS8100	Sandgul/ mörkblå	Två	Nomex®TI-technology 220 g/m ² , Gore-TEX, 3-lagers 295 g/m ²
Brage 1319	Mörkblå	Tre	89 % metaaramid, 9 % paraaramid, 2 % antistatisk fiber, 100 % metaaramid
RB 90	Orange	Tre	Ytter: 90 % aramid/10 % teflon Isolering: 100 % aramid Foder: 100 % aramid

3.2.1 Försök med kemikalier i gasfas

Skyddskläderna inspekterades visuellt och ett område där det inte fanns söm, extra ficka eller annan förstärkning mot slitage valdes ut. Detta inföll oftast på ryggstycket eller framsida ben där en cirkulär materialbit med 5 cm diameter stansades ut. Materialet monterades i en gascell så att utsidan av materialet mötte den höga gaskoncentrationen enligt figur 19. Gascellen är uppbyggd för att sluta tätt kring ett barriärmaterial, i detta fall material från ett brandställ. Gascellen kan försörjas antingen dynamiskt eller statiskt med en luftvolym med en bestämd koncentration av ett ämne. Plaggets utsida är monterat mot kemikaliesidan och plaggets insida mot den del av cellen där genombrottskoncentrationen mäts. I detta fall användes en dynamisk generering från gascylinder som spädde till en bestämd koncentration. Testkoncentrationerna sattes ganska högt med avseende på att spegla vistelse i ett koncentrerat gasmoln. Gascellen värmdes till +30 °C för att representera hudtemperatur.



Figur 19. Principskiss för gascellen med barriärmaterial monterat så att gaspenetration kan ske genom materialet.

För gaserna svaveldioxid och ammoniak användes FTIR för analys. Detta görs därför att de absorberar infrarött ljus på unika sätt. För klorgas, som inte går att mäta med IR, användes en klor-specifik detektor baserad på en elektrokemisk cell, där klorgas fungerar som oxidationsmedel, varvid en ström uppstår via en potentialskillnad mot en referenscell. Denna ström är proportionell mot gaskoncentrationen och registreras som en positiv signal som kan avläsas. Tiden för genombrott bestämdes experimentellt genom att en tydlig avvikelse från bakgrundssignalen identifieras.

I tabell 2 finns gaskoncentrationer, flöden och detektionsnivåer, som användes för de olika försöken.

Tabell 2. Försöksparametrar för genombrottsförsök med gas på brandställ.

Gas	Koncentration, materialets utsida	Flöde ute/inne (ml/min)	Genombrottsdefinition	Linjärt mätområde, mätfrekvens
NH ₃	25 %	150/2400	100 ppm	0-200 ppm, 5 sek
SO ₂	8300 ppm	2400/2400	50 ppm	0-200 ppm, 5 sek
Cl ₂	2100 ppm	2400/2400	3 ppm	0-3 ppm, < 1 sek

Efter montering av materialet, innan gasexponeringen startades, kontrollerades bakgrundssignalen så att den var stabil under ca en minuts mätning. Därefter kopplades gasen på i cellen och ett tidtagarur startades samtidigt som instrumentets signal följdes till dess att koncentrationen för genombrott var nådd. Tiden antecknades och försöket avbröts. Överskottet av gas ventilerades ut ur gascell och instrument. Tre replikat utfördes för varje kemikalie och material.

3.2.2 Försök med kemikalier i vätskefas

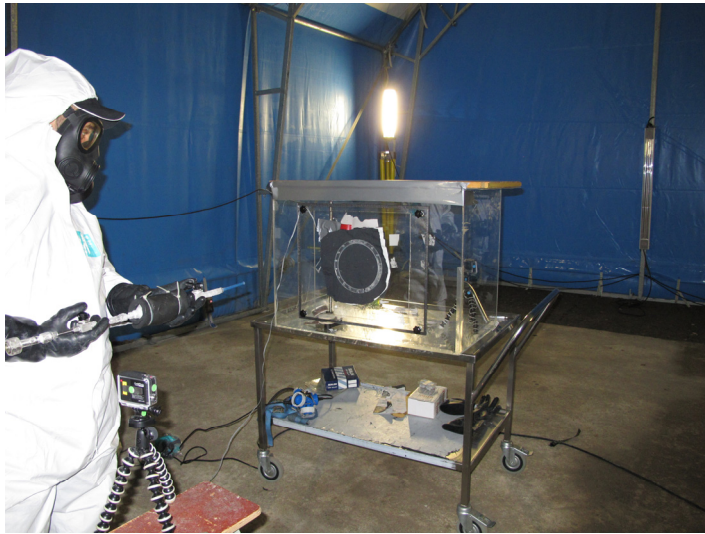
Dräktmaterialen (tabell 1) monterades över en öppning med 170 mm diameter i en plexiglasbox: 800 mm x 450 mm x 580 mm, se figur 20 för försöksuppställning. Inne i boxen placerades mätutrustningen som bestod av samma personburna gasvarnare och stationära gasdetektorer som användes vid fältförsöket för mätning av svaveldioxid och ammoniak. Även för klorgas användes personburen gasvarnare av samma typ som för de andra kemikalierna.

För att visa om vätske aerosol tränger genom tyget användes indikeringspapper¹⁷. En temperaturgivare¹⁸ som monterats på tygets insida registrerade temperaturförändringarna. Temperatur och mätvärden från de stationära instrumenten loggades med programvaran LabVIEW.

Innan försöken påbörjades kontrollerades att respektive kemikalie gav utslag på den typ av indikeringspapper som sedan placerades tätt bakom materialet för att påvisa eventuellt genombrott av vätske aerosol.

¹⁷ Indikeringspapper 102 M 0775 - 102010

¹⁸ Pt-100 resistanstermometer, Pentronic



Figur 20.
Försökupställning

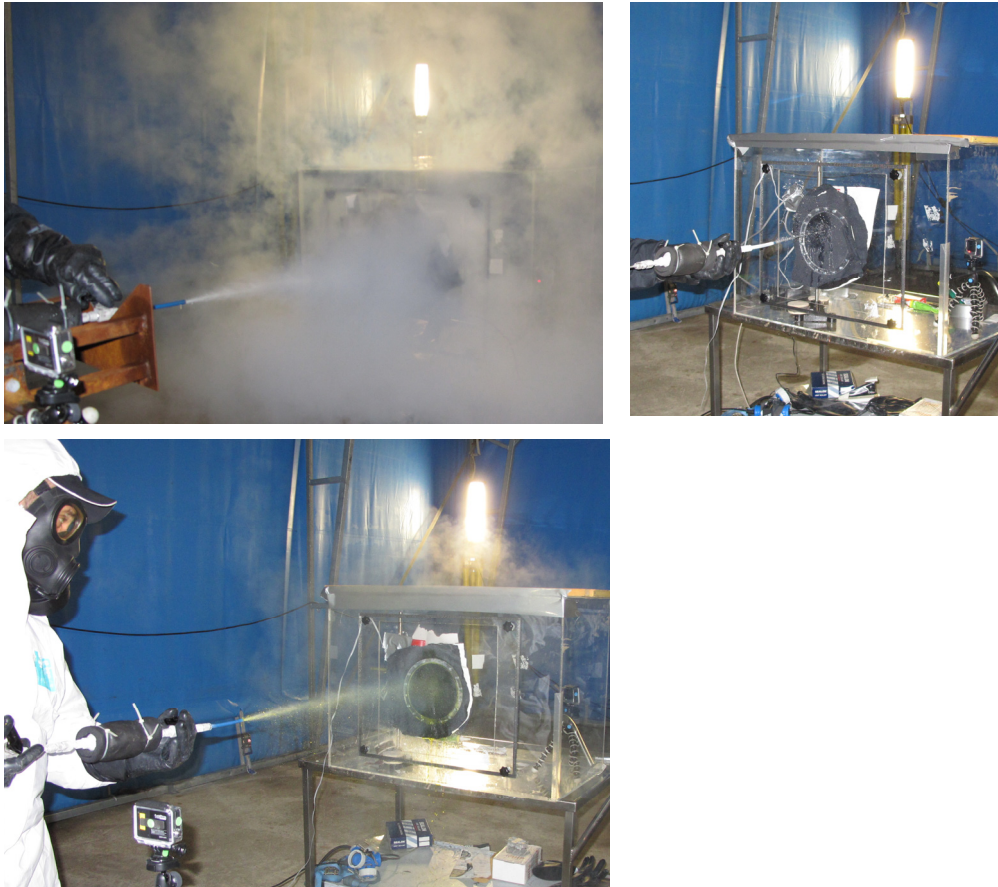
En behållare med volymen 150 ml (figur 21) kopplades till en upp- och nervänd gasflaska och fylldes med respektive kondenserad gas. Behållaren var isolerad för att bibehålla kylan och underlätta handhavandet. För att bestämma utsläppt mängd kemikalie vägdes¹⁹ behållaren efter påfyllning och efter utsläpp.



Figur 21. Till vänster ses behållaren som fylls med kondenserad gas. Till höger kylls behållaren först ner för att sedan fyllas med kemikalie.

Utsläppen av de olika kondenserade gaserna ser lite olika ut (figur 22). Avståndet mellan materialet och utsläppskällan var ca 80 cm. Det varierades något pga. kemikaliernas skilda fysikaliska egenskaper.

¹⁹ PE3600, Mettler Instrumente AG



Figur 22. Uppe till vänster ses utsläpp med ammoniak, till höger svaveldioxid och nere ses utsläppet av klorgas.

Alla tre materialen i tabell 1, Viking PS8100, Brage 1319 och RB 90, testades mot ammoniak. Svaveldioxid och klorgas testades endast med Viking PS8100 och Brage 1319. Alla dräktmaterial testades som de används i dräkten, dvs. alla lager var med vid testet och placerade i samma ordning som i dräkten. Utsläppet av kemikalier riktades mot det lagret som är ytterst i dräkten. Inga sömmar, förstärkningar eller fickor togs med.

4 Resultat

4.1 Fältförsök

Väderförhållandena var gynnsamma med svaga västliga vindar (< 5 m/s) då försöken för svaveldioxid och några av försöken för ammoniak genomfördes. Sista dagen då de återstående dämpningsförsöken för ammoniak skulle genomföras vände vinden till sydväst och tilltog i styrka till 7-8 m/s.

Utsläppsändan av tältet skärmades då med ett vindskydd för att upprätthålla vindförhållandena i tältet. Temperaturen varierade dagtid under veckan mellan 15-23 °C och det var ingen nämnvärd nederbörd.

4.1.1 Svaveldioxid, SO₂

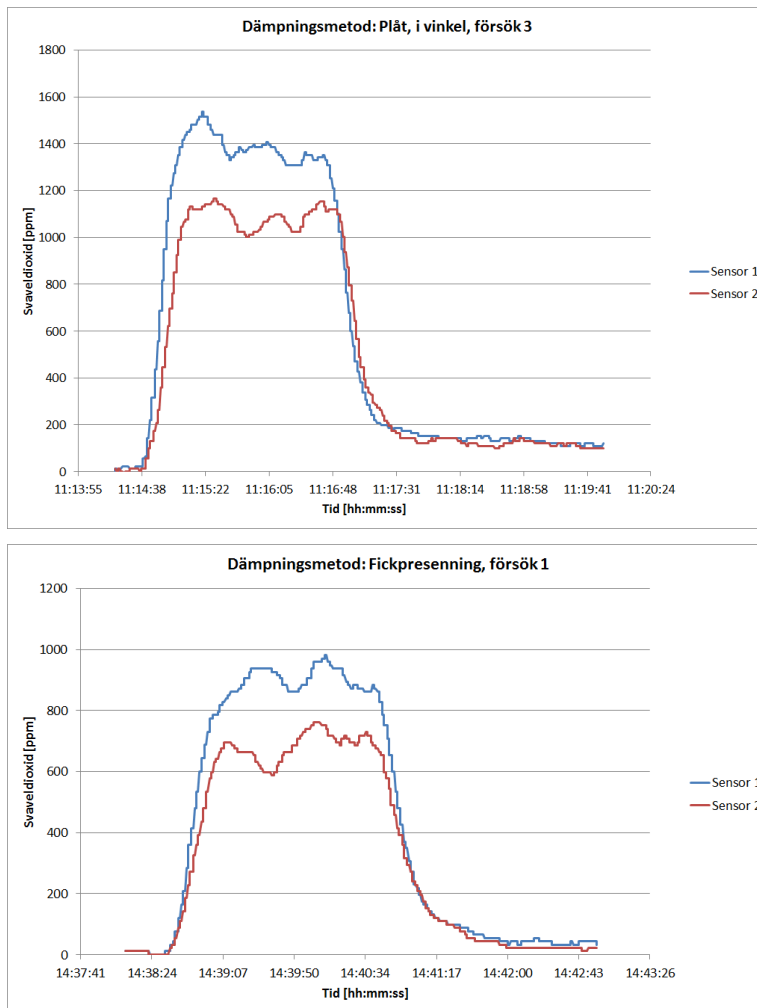
Först provades ett utsläppsmunstycke med ett 5 mm hål, men källstyrkan blev för hög. För att uppnå en källstyrka på ca 0,1 kg/s visade sig ett utsläppsmunstycke med ett 3 mm hål vara lämpligt, varför detta användes i de senare försöken. Resultaten från utsläpp och impaktering avseende svaveldioxid visas i tabell 3. I tabellen är medelvärden, baserade på två till fyra försök, angivna.

Tabell 3. Andel av utsläppt svaveldioxid som samlats upp med hjälp av dämpningsmetoderna. Utsläpp med 3 och 5 mm munstycke.

Dämpningsmetod	Utsläpp [kg]	Impakterat [kg]	Impakterat/Utsläpp [%]	Gas (NDIR) [ppm]	Gas (FTIR) [ppm]	Gas dämpning* [%]
Nollförsök, 5 mm	42,8	-	0	9450	15800	-
Nollförsök, 3 mm	14,3	-	0	3570	5250	-
Plåt	13,9	7,51	54	1330	1500	62
Tyg på stege, i vinkel	13,4	7,41	55	1310	1500	61
Tyg på stege, dikt an	13,6	9,79	72	935	950	72
Fickpresenning	13,8	10,3	75	795	750	77
Impakteringsstrut	12,8	10,6	83	470	390	85

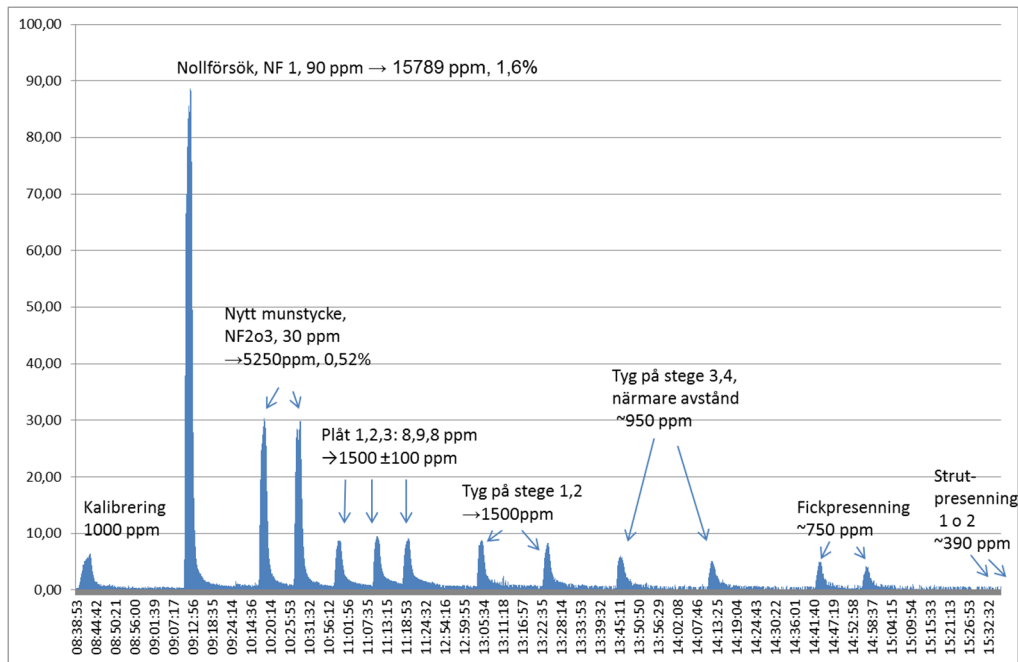
*Procentuell gasdämpning är räknad på mätningar med NDIR, samt med utsläppt mängd korrigerad mot nollförsöket.

Även om vissa av försöken endast genomfördes två gånger visade samtliga resultat från försöken på mycket låg spridning <3 % RSD. Bäst effekt hade fickpresenningen och impakteringsstruten (75 % respektive 83 % impakterad mängd) som är framtagna för ändamålet. Intressant är dock att notera att tyg på stege dikt an var nästan lika bra (72 %). Reduktionen i gaskoncentrationer visade ett direkt samband med impakterad mängd, dvs. ju mer som samlats upp genom impaktering, desto lägre koncentration i luften. Däremot var det inte en perfekt linjäritet, vilket kan bero på variation i luftflöde, fördröjning i respons eller små förluster i ytkontakter med t.ex. tältduk. Det bör även noteras att gaskoncentrationen kunde variera mellan mätpunkterna (se figur 23).



Figur 23. Gasrespons från NDIR-sensorn som visar på skillnader i koncentration vid de olika mätpunkterna vid två av dämpningsförsöken.

I figur 23 visas en typisk signal av svaveldioxidresponsen över en av dagarna. Sensorerna börjar registrera gas vid samma tidpunkt och nedgången när gaskoncentrationen börjar klinga av, är även den nästan samtidig, men den ena sensorn registrerar en något högre högsta koncentration. Omblandningen av luften i tältet kan ge en viss skillnad i gaskoncentration i olika delar av tvärsnittsarean. Sensorerna var placerade på samma avstånd från utsläppet, men på olika höjd och i olika delar av tältets tvärsnittsarea.



Figur 24. FTIR-signal för svaveldioxid under en av försöksdagarna där flera impakterings- och dämpningsförsök genomfördes. Försöket för impaktering med strut skedde efter omstart av programvaran men är indikerad i figuren för jämförelse.

Figur 24 visar signaler från FTIR-mätningar av svaveldioxidkoncentrationen i luften i tältet vid odämpade utsläpp och vid de olika dämpningsförsöken. Den högsta toppen ”Nollförsök, NF 1”, kommer från försök då källstyrkan var 0,4 kg/s. För topparna ”Nytt munstycke NF2o3” var källstyrkan ca 0,1 kg/s. Dessa utgör de odämpade försök, med vilka de övriga mätningarna ska jämföras. När plåt och tyg på stege används lutade mot källan blir gaskoncentrationen i tältet ungefär lika hög. Något lägre koncentrationen erhålls då tyget hålls mot källan och då fickpresenning används. Lägst svaveldioxidkoncentration i luften i tältet fås då impakteringsstruten används.

För att kontrollera validiteten i nedskalningen gjordes försök med ett munstycke med 9 mm innerdiameter för att erhålla en källstyrka på 0,7 kg/s. Här bedömdes det inte som rimligt att göra ett nollförsök ur miljö- och risksynpunkt. I stället provades några impakteringsmetoder. Vid dessa försök var halterna generellt för höga för att göra en säker koncentrationmätning i luft. I tabell 4 finns dock resultaten för impaktering presenterade.

Tabell 4. Andelen av utsläppt svaveldioxid som samlats upp med hjälp av dämpningsmetoderna. Utsläpp med 9 mm munstycke, källstyrka 0,7 kg/s.

Dämpningsmetod	Utsläpp [kg]	Impaktering [kg]	Impakterat/ Utsläpp [%]	Gas [ppm]
Nedskalad impakteringsstrut	24,5	18,6	75,6	-
Fullstor impakteringsstrut	20,8	15,4	74,2	-
Fickpresenning	23,9	18,3	79,7	2780
Rör	20,6	17,4	84,2	-

Överlag erhöjls liknande resultat som i de nedskalade försöken. Det här blev också ett tillfälle att, med den starkare källstyrkan, jämföra den nedskalade impakteringsstruten med en fullstor. Här gjordes också ett test med ett plaströr dikt an utsläppskällan, där det "bästa" resultatet på 84 % impakterad mängd kemikalie erhöjls. När fickpresenningen provades mättes också gaskoncentrationen med NDIR och en lägre koncentration än förväntat erhöjls. Detta speglas också av att en högre impakteringsgrad erhöjls.

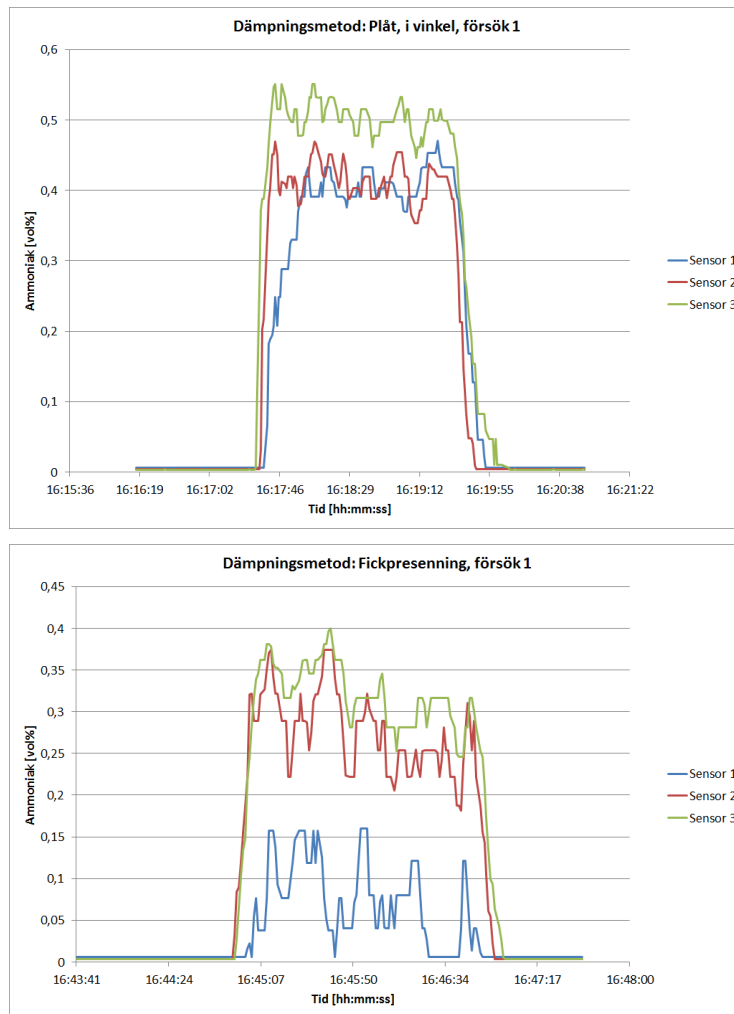
4.1.2 Ammoniak, NH₃

Försöken med ammoniak genomfördes dagen efter försöken med svaveldioxid och utfördes enbart med 3 mm munstycke. Här upprepades försöken två gånger för varje dämpningsmetod förutom nollförsöket, som genomfördes tre gånger. En mycket låg spridning noterades även här (< 3 % RSD) både för källstyrka och för gaskoncentrationsmätning (tabell 5). Överlag erhöjls liknande resultat som för svaveldioxid om än något lägre impakteringsgrad för den nedskalade impakteringsstruten.

Tabell 5. Andel av utsläppt ammoniak som samlats upp med hjälp av dämpningsmetoderna. Utsläpp med 3 mm munstycke, källstyrka ca 0,1 kg/s

Dämpningsmetod	Utsläpp [kg]	Impaktering [kg]	Impakterat/utsläpp [%]	Gas [ppm]	Gas dämpning* [%]
Nollförsök, 3 mm	10,8	-	-	9100	-
Plåt	10,4	6,04	58	4390	50
Fickpresenning	9,90	7,11	72	2220	73
Tyg på stege, dikt an	10,3	7,14	69	2350	73
Impakteringsstrut	9,96	7,05	71	2000	76
Nollförsök, 45 s	3,64	-	-	6750	-

* Procentuell gasdämpning är räknad med utsläppt mängd korrigerad mot nollförsöket.



Figur 25. Signal från de katalytiska sensorerna vid två av försöken med dämpning av ammoniakläckage. [1 volymprocent = 10 000 ppm]

I figur 25 finns exempel på responskurvor för ammoniak från de katalytiska sensorerna. Överlag låg gasnivån högre vid försöken med ammoniak, jämfört med vid försöken med svaveldioxid, även om responskurvorna såg likartade ut. Även för ammoniak kan gaskoncentrationen variera mellan de olika mätpunkterna.

4.1.3 Personburna mätare

De personburna gasvarnarna som placerades i brösthöjd innanför branddräkten på en av de personer som deltog i arbetet vid källan larmade relativt omgående för både svaveldioxid, och ammoniak. Detta visar att genombrottstiderna för gaserna är korta. Men det ska dock noteras att det också finns en begränsning i mätmetoden eftersom dessa gasvarnare är avsedda att larma och mäta låga halter för att varna när t.ex. gränsvärden för inandning uppnåtts.

4.2 Laboratorieförsök

4.2.1 Försök med kemikalier i gasfas

I tabell 6, 7 och 8 visas genombrottstiderna med standardavvikelse för ammoniak, svaveldioxid respektive klorgas, för de olika brandställena. Sammantaget visade samtliga genombrottsförsök på mycket korta genombrottstider (7-31 sekunder). Spridningen mellan upprepningarna (3-4) var också låg (~ 10 % RSD), vilket visar på en god reproducerbarhet. Vikingstället (PS8100) hade genomgående något längre genombrottstider än de övriga, även om det var sekunder som skiljer. Men sammantaget kan sägas att inget av materialen ger någon bra skyddstid mot dessa gaser, varför riskerna med att få dessa gaser på huden måste vägas in vid en eventuell insats.

Tabell 6. Genombrottsförsök med ammoniak på brandställsmaterial.

Brandställ	NH ₃ koncentration innanför	Genombrottstid, medelvärde sekunder ± SD (n=3)	Bakgrundskoncentration
Viking PS8100	> 100 ppm	31 ± 2	< 8ppm
Brage 1319	> 100 ppm	22 ± 2	< 8 ppm
RB90	> 100 ppm	23 ± 2	< 8 ppm

Tabell 7. Genombrottsförsök med svaveldioxid på brandställsmaterial.

Brandställ	SO ₂ koncentration innanför	Genombrottstid, medelvärde sekunder ± SD (n=3)	Bakgrundskoncentration
Viking PS8100	> 50 ppm	15 ± 2	< 3ppm
Brage 1319	> 50 ppm	13 ± 1 (n=4)	< 3 ppm
RB90	> 50 ppm	12 ± 3	< 3 ppm

Tabell 8. Genombrottsförsök med klorgas på brandställsmaterial.

Brandställ	Cl ₂ koncentration innanför	Genombrottstid, medelvärde sekunder ± SD	Bakgrundskoncentration
Viking PS8100	> 3 ppm	10 ± 4 (n=4)	< 0,21ppm
Brage 1319	> 3 ppm	7 ± 1 (n=3)	< 0,40 ppm
RB90	> 3 ppm	8 ± 2 (n=4)	< 0,32 ppm

4.2.2 Försök med kemikalier i vätskefas

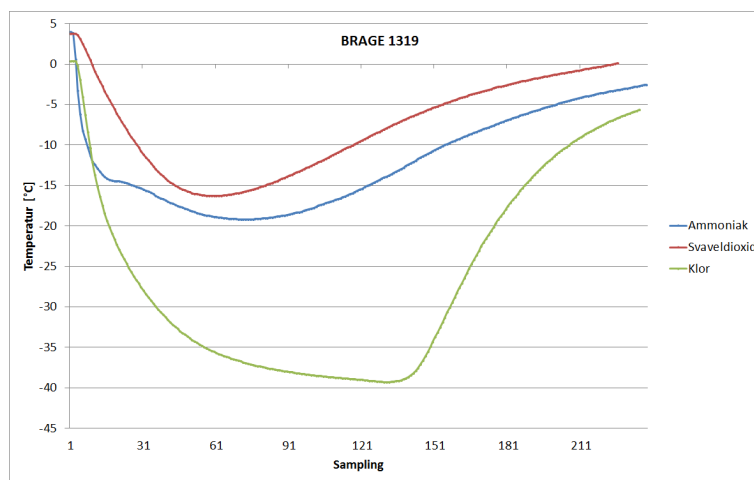
En viktig aspekt vid försöken med vätskefas på dräktmaterial var att studera kyleffekten från de kondenserade gaserna. På insidan av materialet satt en temperaturgivare och i tabell 9 ses den lägsta temperaturen som uppmättes för

de olika materialen och gaserna samt tiden från utsläpp till dess att temperaturen uppmättes. Exempel på temperaturkurvor kan ses i figur 26.

Tabell 9. Uppmätta minimumtemperaturer och tid från utsläpp till temperatur för de olika kemikalierna och brandställsmaterialen.

Brandställ	NH ₃		SO ₂		Cl ₂	
	Temp (°C)	Tid (s)	Temp (°C)	Tid (s)	Temp (°C)	Tid (s)
Viking PS8100	-21,0	156	-2,8*	52	-46,8	235
Brage 1319	-19,2	132	-16,3	78	-39,3	175
RB 90	-19,3	194	-	-	-	-

* Vätskestrålen vätte inte materialet där temperaturgivaren satt.



Figur 26. Kurvorna visar hur temperaturen innanför materialet, Brage 1319, sjunker när materialets utsida utsätts för kondenserad gas i vätskeform. Uppe t.v. ses ammoniak, t.h. svaveldioxid och den nedre kurvan visar klorgas.

Det indikeringspapper som placerades tätt bakom materialet inför varje försök påvisade inget genombrott av vätske aerosol i något av försöken.

Gasgenombrott genom materialet mättes upp för de olika materialen och gaserna. Tid till larm och utsläppta mängder kemikalier ses i tabell 10-12.

Tabell 10. Tid till gasgenombrott för ammoniak.

NH ₃	Viking PS8100	Brage 1319	RB 90
Utsläppt mängd (g)	43	49	51
Larm 25 ppm	23 s	*	45 s
Larm 35 ppm	25 s	8 s	45 s
Larm >400 ppm	110 s	120 s	60 s

* Ej uppmätt.

Tabell 11. Tid till gasgenombrott för svaveldioxid.

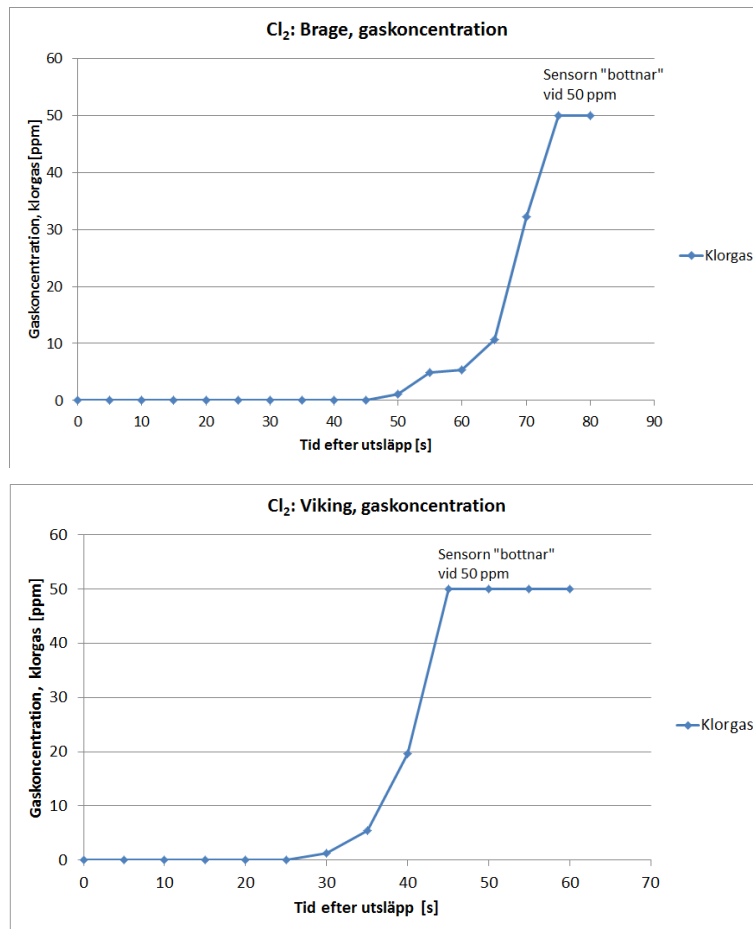
SO₂	Viking PS8100	Brage 1319
Utsläppt mängd (g)	88	97
Larm 1 ppm	9 s	1 s
Larm >20 ppm	30 s	*
Stationär: 8 s	70 ppm	100 ppm
Stationär: 15 s	150 ppm	600 ppm
Stationär: 30 s	>300 ppm	>2000 ppm

* Ej uppmätt.

Tabell 12. Tid till gasgenombrott för klor.

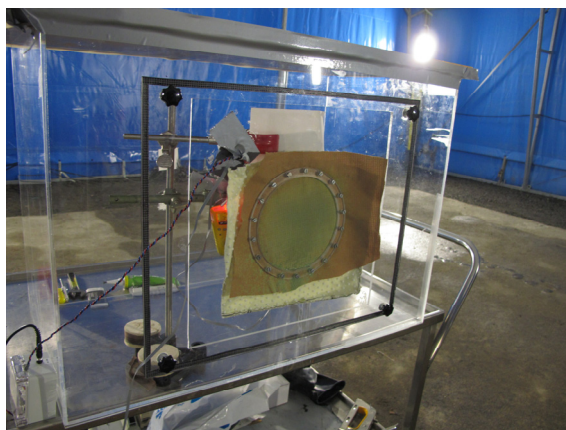
Cl₂	Viking PS8100	Brage 1319
Utsläppt mängd (g)	144	152
Larm 0,5 ppm	30 s	50 s
Larm 1,5 ppm	30 s	50 s
Larm >50 ppm	45 s	75 s

I figur 27 ges exempel på genombrott för klor på materialen Brage 1319 och Viking PS8100. Genombrotten börjar inom 25-45 sekunder och därefter är ökningen snabb. För svaveldioxid och ammoniak är tiden till genombrottens början kortare (tabell 10-11).



Figur 27. Genombrottsförlopp för klor.

Den enda materialförändring som kunde observeras var att ytteryget hos Viking PS8100 ändrade färg från brunbeige till grön av ammoniak (figur 28). Materialet återfick sin ursprungsfärg när ammoniaken avdunstat.



Figur 28. Material Viking PS8100 efter ammoniakexponering.

5 Diskussion

5.1 Fältförsök

Vid fältförsöken visades att impaktering med olika, ofta lättillgängliga, föremål kan dämpa utsläpp av kondenserad gas med mellan 54 och 84 %.

Det är inte fysikaliskt möjligt att impaktera all kemikalie som läcker ut. Det kommer alltid att ske en adiabatisk förångning. Den adiabatiska förångningen är temperaturberoende och för ammoniak är den vid den temperatur som rådde vid försöken (ca 20°C) ca 17 % och för svaveldioxid ca 11 %. Med detta i beaktande visar försöken att dämpningsmetoderna fungerar mycket väl.

En framgångsfaktor som framkom i försöken är att placera dämpningsmaterialet så nära utsläppskällan som möjligt, jämför brandställsmaterial på stege i vinkel med brandställsmaterial på stege dikt an. Detta är viktigare än val av dämpningsmaterial, jämför branddräkt på stege med plåt eller brandställ på stege dikt an och fickpresenning, som var på liknande avstånd från munstycket.

Tecken som pekar på att det finns en allmängiltighet för resultaten är att skillnaden var minimal i impakteringsgrad vid jämförande mätningar av stor och liten impakteringsstrut vid utsläpp med källstyrka 0,7 kg/s respektive 0,1 kg/s. Liknande resultat erhöles också för de två kondenserade gaserna, med undantag för impakteringsstruten som gav 10 % lägre impaktering för ammoniak än för svaveldioxid.

5.1.1 Mätteknisk diskussion

Det är inte trivialt att göra en storskalig försöksuppställning för att utvärdera insatsmetoder vid olyckor med kondenserad gas. Ingen annan liknande studie har enligt förstudien [Thunéll *et al.* 2014] genomförts där effekterna av dämpningarna kunnat mätas. För att skapa likartade försöksförhållanden vid de jämförande försöken utfördes dessa i vindtunnel konstruerad av hopmonterade tält. Detta underlättar studierna av utsläpps- och dämpningsförloppen. Trots att vinden utanför varierade i stor utsträckning i både styrka och riktning gav vindtunneln med fläktar likartade vindförhållanden vid försöken.

De utförda försöken uppvisar en mycket liten spridning mellan de upprepade försöken, både vad gäller gaskoncentrationer i luftmätningarna och utvägd impakterad kemikaliemängd.

En oro med användningen av FTIR som ett kompletterande instrument var att responstiden för instrumentet skulle vara för lång, eftersom den interna volymen i spädsteg och instrument var relativt stor jämfört med varaktigheten på utsläppet. Det visade sig dock fungera väl för svaveldioxid där gaussiska responser erhöles, men något sämre för ammoniak där en fördröjning i respons observerades.

En skillnad i gaskoncentration mellan sensorerna kunde ses, vilket kan bero på icke-homogena vindförhållanden i vindtunneln/tältet. Detta liknar alltså en

verklig exponeringssituation, där turbulens gör att gaskoncentrationerna varierar även på närliggande punkter.

Mätningen med FTIR som avståndsmätare för drivande gasmoln borde fungera bättre än det gjorde vid detta försök. Ammoniak och svaveldioxid har mätts tidigare på liknande sätt [Beil *et al.* 2000, Fällman *et al.* 2002, Wästerby *et al.* 2013]. Mättekniska problem gjorde att resultaten inte blev tillförlitliga vid detta försök. Det skulle dock vara intressant att utföra denna typ av mätning vid liknande försök i framtiden för att studera hur dämpningen av utsläppet påverkar koncentrationen i gasfas även på större avstånd från utsläppskällan.

En intressant vidare undersökning skulle vara att studera nedtvättning av gasmoln och på liknande sätt mäta effekten genom koncentrationsminskning som vid detta försök.

5.2 Laboratieförsök

Skillnaderna mellan de olika brandställen med avseende på tid till genombrott genom materialen för de olika gaserna är försumbara. Resultaten visar tydligt att kläderna inte skyddar användaren mot gaser i någon större utsträckning. För att bättre skydda användaren mot gaser behövs antingen ett absorberande lager, som ett kolunderställ eller ett gastätt material som en kemdräkt. Det måste framhållas att de undersökta dräkterna inte är tänkta att användas vid gasexponering, varför ingen kritik ska riktas mot dessa. Mätningarna har gjorts i syfte att öka kunskapen om materialens gasskyddande förmåga ur ett perspektiv där arbetsledaren ska göra en riskbedömning innan en insats. Vid en livräddande insats är det upp till arbetsledaren att göra bedömningen om vinsten överträffar risken med att få denna typ av gaser på huden.

Frågan är om dessa gaser på huden medför några större hälsorisker. Det är mycket glest mellan gasmolekylerna, även vid koncentrationer på procentnivå. Hygieniska gränsvärden för ammoniak finns enbart för inandning då den primära faran ligger i exponering genom inandning. Då ammoniak har hög vattenlöslighet påverkas i första hand slemhinnorna i ögonen och de övre luftvägarna, men vid höga koncentrationer i luften kan även de nedre luftvägarna och lungorna påverkas. Ammoniak är irriterande på hud och slemhinnor, och dessa effekter beror huvudsakligen på ämnets alkaliska egenskaper, men inga gränsvärden på hud finns i dagsläget [AFS 2012:3]. Ingen av gaserna klor eller svaveldioxid har något hygieniskt gränsvärde för hudexponering, eller är ens noterade i AFS 2011:18 som utgörande risk för hudpåverkan eller hudupptag.

Beroende på vattenlöslighet löser gaserna sig olika lätt på hudens fuktiga ställen. Empiriska försök på människor säger att nivåer på 3000-10 000 ppm ammoniak kan börja ge sveda på fuktiga hudpartier (ammoniumhydroxid). Kraftig (och långvarig) exponering kan då möjligen medföra frätskador. För klor finns observationer på mer än 10 000 ppm utan symptom på huden. Svaveldioxid bör, med dess vattenlöslighet i åtanke, hamna mellan klor och ammoniak. Däremot kan sägas att det finns risk för köldskador på huden om man iklädd branddräkt exponeras för kemikalierna i vätskeform.

Ingen vätskeaerosol kunde detekteras på insidan av något av de testade materialen. Genombrottsförloppen av gas vid vätskeförsöken var likartade för alla material även om tiden till genombrottens början varierade med något tiotal sekunder. Kyleffekten kan bli ett problem då temperaturen på insidan av materialen hastigt sjunker till t.ex. ner mot -45 °C för klor. Även vid dessa laboratorieförsök observerades en kraftig impaktering av kemikalierna vid materialytan.

Sammantaget kan sägas att det stora problemet vid en insats med läckage av kondenserad gas under förutsättning av adekvat andningsskydd används är att undvika vätskeexponering av kläderna. Detta kan förmodligen uppnås genom god förståelse, taktik och övning.

6 Slutsatser

- Den kunskap som erhållits vid dessa försök om de dämpande effekter som med enkla medel är möjliga att uppnå, i kombination med kunskap om skyddsutrustningens förmåga, kan utgöra ett stöd för arbetsledaren vid en insats vid en händelse med kondenserad gas.
- Impaktering med föremål vid en läcka med kondenserad gas fungerar.
- En impakteringsgrad på drygt 80 % kan uppnås.
- Gaskoncentrationen i luften på avstånd från utsläppskällan sänks vid impaktering.
- Ju närmare utsläppet föremålet placeras, desto effektivare impaktering.
- Liknande impakteringsgrad erhöles vid mindre och större läckor (liten och stor källstyrka).
- Impakteringsgraden var likartad för svaveldioxid och ammoniak
- Branddräkterna ger mycket kort skyddstid mot gas.
- Branddräkterna skyddar inte mot kyleffekterna vid exponering för aerosoler från kondenserad gas.
- Metoden att mäta effekt av dämpning fungerar.

7 Acknowledgements

MSB, som genom 2.4-anslag finansierat försöken.

Tobias Vintheimer, Länsstyrelsen Västerbotten, för projektledning av projektet.

Mattias Hagelin, Skellefteå Räddningstjänst och Martin Feuk, Umeå
Brandförsvaret och säkerhet

Lars Hedlund, Jalle Oskarsson, och Martina Johansson, Boliden Mineral AB
Rönnskärsverken, för upplåtande, iordningsställande och drift av försöksplats
under fältförsöken.

8 Referenser

Källström Hans och Conny Jebens. Teknik vid olyckor med farliga ämnen, MSB308 - september 2011, ISBN 978-91-7383-158-1, 2011

Thunéll Marianne, André Appelblad, Håkan Eriksson, Martin Feuk, Mattias Hagelin, Lars Hägglund, Jerker Thorpsten, Håkan Wingfors och Lillemor Örebrand. Förstudie inför fältförsök och laboratorieförsök med kondenserade gaser. Sammanställning av bakgrundsmaterial. FOI-R--3949--SE, 2014

AFS 2012:3 Arbetsmiljöverket Konsekvensbeskrivning – till föreskrifterna om hygieniska gränsvärden, AFS 2011:18

AFS 2011:18 Hygieniska gränsvärden Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd om hygieniska gränsvärden

Beil Andreas, Åsa Fällman och Claes Nelsson. Utomhusförsök med passiv avståndsindikering av ammoniak, svaveldioxid och propan. FOI-R--0440--SE, 2002

Fällman Åsa, Claes Nelsson, Göran Olofsson och Marianne Strömquist. Passiv avståndsindikering av riskkemikalier och kemiska stridsmedel – En redovisning av försök, beräkningar och bedömningar. FOA-R--00-01638-862--SE, 2000

Wästerby Pär och Göran Olofsson. Passive standoff detection from KBV003 (Amfitrite) at sea - results from tests with Rapid. FOI-R--3455--SE, 2012.

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Förvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se