



Utvärdering av tillpassningsmetoder för Tullverkets andningsskydd

KRISTOFFER SVENSSON, LARS HÄGGLUND, INGRID SUNDHOLM,
MARIANNE THUNÉLL, JERKER THORPSTEN



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. 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

FOI-R--3859--SE
ISSN 1650-1942

Februari 2014

Kristoffer Svensson, Lars Hägglund, Ingrid Sundholm, Marianne Thunéll, Jerker Thorpsten

Utvärdering av tillpassningsmetoder för Tullverkets andningsskydd



(Bild: Marianne Thunéll)

Titel	Utvärdering av tillpassningsmetoder för Tullverkets andningsskydd
Title	Assessment of fit test methods for the Swedish Customs' respirators
Rapportnr/Report No.	FOI-R--3859--SE
Månad/Month	Februari
Utgivningsår/Year	2014
Antal sidor/Pages	35 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	Tullverket
Forskningsområde	2. CBRN-frågor och icke-spridning
Projektnr/Project No.	E4868
Godkänd av/Approved by	Mats Strömqvist
Ansvarig avdelning	CBRN-skydd och säkerhet

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

I denna rapport jämförs tillpassningstest av skyddsmask med PortaCount/partiklar med tillpassningstest med tårgas. Även eventuella skillnader i skyddsfaktorer mellan gas- och partikelbelastning undersöks och diskuteras. Skyddsfaktorer som erhålls vid exponering för två olika typer av partiklar, förbränningspartiklar från värmeljus och genererade saltpartiklar, har studerats.

Utifrån en bedömning baserad på reella exponeringssituationer för Tullverkets personal rekommenderas en tillpassningsfaktor hos andningsskyddet på minst 5 000. Det kan dock finnas andra ämnen som kan kräva högre tillpassningsfaktor, eller till och med medhavd luft, varför FOI rekommenderar en basnivå på minst 10 000.

Tillpassning med PortaCount fungerar för att bestämma de tillpassningsfaktorer som krävs och bör i huvudsak användas. För att efterlikna en verklig exponeringssituation och för att inte ökat förtroende för skyddet hos användaren bör även tårgastillpassning utföras som komplement till PortaCount-metoden. För att erhålla tillförlitliga tillpassningsfaktorer med PortaCount bör aktiv generering av exponeringsaerosolen användas, t.ex. saltaerosolgenerator.

Det finns skillnader i tillpassningsfaktorer mellan gas och partiklar. Det verkar dock inte finnas ett tydligt samband mellan de tillpassningsfaktorer som bestäms med gas respektive partiklar.

Nyckelord: Tillpassning, tillpassningstest, PortaCount, andningsskydd, tårgas, tårgastest

Summary

This report compares respirator fit test with PortaCount and particles with fit test using tear gas, regarding protection factors. Potential differences in protection factors between gas and particle challenge are examined and discussed. Protective factors obtained during the exposure to two different types of particles, combustion particles from tealights and generated salt particles have been studied.

After an assessment based on real exposure situations for the staff from the Swedish Customs, a fit factor of the respirator of at least 5 000 is recommended. However, there may be other substances, which may require a higher fit factor, or even a self-contained breathing apparatus. Therefore, FOI recommends a lower fit factor limit of at least 10 000.

Fit test with PortaCount is suitable for determining the required fit factors, and should essentially be used. To mimic a real exposure situation, and to provide greater confidence in the protection of the user, tear gas fitting should also be carried out to complement the PortaCount method. To obtain reliable fit factors with PortaCount, an active generation of the challenge aerosol should be used, eg via a salt aerosol generator.

There are differences in the fit factors between gas and particles, but the relation between them is unclear.

Keywords: Fit, fit test, PortaCount, respirators, tear gas, tear gas test

Innehåll

1	Inledning	6
2	Uppskattning av skyddsfaktor för Tullverkets personal	7
3	TSI PortaCount Pro+	11
4	Tårgas	15
4.1	Uppskattning av skyddsfaktorer vid exponering med tårgas	15
4.2	Tårgasförsök i tält och kammare	17
4.2.1	Tårgasförsök i kammare	17
4.2.2	Tårgasförsök i tält	20
5	Jämförelse partikelmätning med PortaCount och tårgas	23
5.1	Saltaerosolgenerator	23
5.2	Värmeljus	24
5.3	För- och nackdelar med tårgas och PortaCount	26
5.4	Skillnad gas/partiklar	27
6	Slutsatser	28
	Bilaga 1. Gasningskemikalier (fumiganter)	29
	Bilaga 2. Säck CBRN 13	34

1 Inledning

FOI har av Tullverket fått i uppdrag (Tullverkets dnr: VER 2013-291) att utveckla metoder för tillpassningskontroll för användning av Skyddsmask 90 i kombination med Filter 90 med hjälp av partikelräknarutrustningen PortaCount. Bakgrunden till uppdraget är det arbetsmiljökrav på skydd mot kemikalier, gas och partiklar som beskrivs i föreskrifter från Arbetsmiljöverket¹. I denna rapport jämförs tillpassningstest med PortaCount och partiklar med tillpassning med tångas med avseende på skyddsfaktorer. Även eventuella skillnader i skyddsfaktorer mellan gas- och partikelbelastning av Skyddsmask 90 undersöks och diskuteras. Skyddsfaktorer för Skyddsmask 90 som erhålls med två olika typer av partiklar, förbränningspartiklar från värmeljus och genererade saltpartiklar studeras. Tre metoder, anpassade till konkreta användarsituationer såsom tillpassning vid tilldelning, över tid och i samband med en insats utvecklas och dessa metoder beskrivs i en separat rapport².

Arbetet utförs som en del i ett myndighetsgemensamt projekt som beviljats medel av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) från anslag 2:4 Krisberedskap. Syftet med projektet är att utarbeta metoder för att säkerställa att Skyddsmask 90 är korrekt påtagen och ger fullgott skydd vid användning i civila sammanhang.

¹ AFS 2011:19, Kemiska arbetsmiljörisker Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd om kemiska arbetsmiljörisker (2011)

² FOI-R--3858-SE, Metod för tillpassning av skyddsmask med PortaCount (2014)

2 Uppskattning av skyddsfaktor för Tullverkets personal

För att kunna göra en bedömning av vilken skyddsfaktor som är lämplig måste en bedömning göras av vilka kemikalier som Tullverkets personal kan utsättas för, samt ett eller flera relevanta scenarion, där personalen använder andningsskydd, väljas. I diskussion med Tullverket³ har inspektion av fordon och transportcontainrar, där personal kan utsättas för gasningskemikalier eller där personal befinner sig i närheten av gasade containrar och därvid exponeras, valts som dimensionerande scenario vid bedömning av nödvändig skyddsfaktor. Insattiden bedöms vara från några minuter till några timmar.

I takt med att handeln mellan länder i olika världsdelar ökar tilltar även behovet att förhindra spridning av skadedjur. Därför genomförs systematiskt kemikaliebehandling av de containrar som transporteras. Det finns ett flertal olika typer av, så kallade, gasningskemikalier som kan användas för att bekämpa skadedjur. Mängden gasningskemikalier som behövs för att effektivt döda skadedjuren varierar med typ av insekt eller djur som skall bekämpas, kemiskt preparat, volymen av utrymmet som skall gasas samt temperatur. Avdödningen av skadedjur kräver minst ett par dagar, ibland längre tid om temperaturen är låg. Leverantörerna av gasningskemikalier har olika rekommendationer av vilken mängd som behövs för att uppnå en dödlig dos för skadedjuren. En lufttät container kan innehålla mycket höga koncentrationer av gasningskemikalien även upp till en vecka efter gasning. Detta medför att även omgivningen runt en nyligen öppnad container kan innebära en akut hälsorisk.

Eftersom gasningskemikalierna kan skapa ohälsa har de låga hygieniska gränsvärden och vissa har även ett takvärde som inte får överskridas (se ruta nedan och bilaga 1).

Metylbromid, klorpikrin och fosfin är några av de vanligaste gasningskemikalierna och deras hygieniska gränsvärden återfinns i tabell 1. Metylbromid är sedan år 2010 förbjuden⁴ att användas inom EU men kan ändå av misstag eller slarv hamna inom EU:s gränser. EU:s gränsvärden, enligt direktiv 2006/15/EG, för fosfin är 0,1 ppm för 8 timmars exponering och 0,2 ppm för 15 minuters exponering. I tabell 2 redovisas relevanta gränsvärden från Nederländerna, Australien och USA.

Hygieniskt gränsvärde är den högsta godtagbara genomsnittshalt (tidsvägt medelvärde) av en luftförorening i inandningsluften. Ett hygieniskt gränsvärde är antingen ett nivågränsvärde eller ett takgränsvärde. Även korttidsvärden förekommer.

- Nivågränsvärde (NVG) - Hygieniskt gränsvärde för exponering under en arbetsdag.
- Takgränsvärde (TGV) - Hygieniskt gränsvärde för exponering under en referensperiod av 15 minuter (eller annan period för vissa ämnen).
- Korttidsvärde (KTV) - Ett rekommenderat värde som utgörs av ett tidsvägt medelvärde för exponering under en referensperiod av 15 minuter. Exponeringen får inte ske oftare än en 15-minutersperiod en gång i timmen.

³ Personlig kontakt Rafael Zawilinski, Tullverket

⁴ Förordning 2009/1005/EG

Tabell 1. Svenska hygieniska gränsvärden⁵

Ämne	CAS-nummer ⁶	NGV		TGV		KTV	
		ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
Metylbromid	74-83-9	5	19	---	---	10	40
Fosfin	7803-51-2	0,3	0,4	---	---	1	1,4
Klorpikrin*	76-06-2	---	---	---	---	---	---

--- ej angivet

* Inga svenska värden finns för klorpikrin,

Tabell 2. Gränsvärden för några olika kemikalier i Nederländerna (Maximum Allowable Concentration, MAC⁷), Australien (Workplace Exposure Standard, WES⁸) och USA (Californian Reference Exposure Levels, REL⁹)

Ämne	MAC (ppm)	WES (ppm)	REL (ppm)	
			Kronisk	Akut
Metylbromid	0,25	5,0	0,001	1,000
Formaldehyd	1,00	1,0	0,002	0,076
Sulfurylfluorid	---	5,0	0,005	5,000
Fosfin	0,3	0,3	0,001	0,300
Ammoniak	20	25	---	---
Koldioxid	5000	5000	---	---

--- ej angivet

Ett gränsvärde som ofta refereras till är *Acute Exposure Guideline Levels* (AEGL), se faktaruta nedan, som har tre nivåer baserat på skadeverkan. De innefattar koncentrationer från AEGL-1 som ger lindriga effekter till AEGL-3 som i värsta fall kan leda till döden. I tabell 3 presenteras de olika AEGL-nivåerna för klorpikrin, fosfin samt metylbromid för några olika tidsspann.

⁵ Hygieniska gränsvärden, AFS 2011:18, Arbetsmiljöverket, www.av.se

⁶ CAS, Chemical Abstracts Service. CAS-nummer är unika identifieringar för kemiska föreningar, <http://www.cas.org/content/chemical-substances/faqs>

⁷ Knol-de Vos, T. (2003). Measuring the Amount of Gas In Import Containers. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM.

⁸ Safe Work Australia. (2012). *Hazard Surveillance: Residual Chemicals In Shipping Containers*.

⁹ Baur, X., Poschadel, B., & Budnik, L. T. (2010). High Frequency of Fumigants and Other Toxic Gases In Imported Freight Containers — An Underestimated Occupational and Community Health Risk. *Occupational and Environmental Medicine*, 67(3), 207-212.

AEGL anger tröskelvärden vid inhalation av kemikalier och är framtagna av United States Environmental Protection Agency (US EPA) speciellt för civilbefolkningen där det tagits hänsyn till känsliga grupper så som barn och äldre.

AEGL anges i tre nivåer och används vid akut exponering i tidsspannet 10 minuter till åtta timmar. De tre nivåer-AEGL-1, AEGL-2, AEGL-3 finns utvecklade för var och en av fem exponeringsperioder (10 minuter, 30 minuter, 1 timme, 4 timmar och 8 timmar) och kännetecknas av olika grad av giftiga effekter.

- AEGL-1: Den lindrigaste nivån där de exponerade kan uppleva obehag, irritationer eller andra lindriga effekter men att de ändå kan utföra ett arbete. Effekterna är tillfälliga och försvinner när exponeringen upphör.
- AEGL-2: Vid exponering över AEGL-2 uppskattas att civilbefolkningen inklusive känsliga grupper får permanenta eller långvariga toxiska symptom och försämrad förmåga att ta sig från platsen.
- AEGL-3: Högre värden eller värden i nivå med AEGL-3 kan ge livshotande skador eller leda till döden.

Tabell 3. AEGL:s för ämnena klorpikrin, fosfin och metylbromid

Ämne	AEGL	10 min (ppm)	30 min (ppm)	1 h (ppm)	3 h (ppm)	8 h (ppm)
Metyl bromid	1	---	---	---	---	---
	2	940	380	210	67	67
	3	3 300	1 300	740	230	130
Fosfin	1	*	---	---	---	---
	2	4,0	4,0	2,0	0,5	0,5
	3	7,2	7,2	3,6	0,90	0,45
Klorpikrin	1	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
	2	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	3	2,0	2,0	1,4	0,79	0,58

* Inte tillämpligt på grund av inkompleta data
 --- ej angivet

Med ett bra andningsskydd (mask + filter) kan den inandade luftens gaskoncentration, som personal omkring containern utsätts för, reduceras till en acceptabel nivå. Vilket skydd som krävs beror på typ av kemiskt ämne och dess gränsvärden, koncentration av ämnet samt exponeringstid. Vissa ämnen kräver dessutom specialanpassade filter eller friskluftbaserade system.

I en rapport¹⁰ har koncentrationen av fosfin mätts inuti tre olika containrar som behandlats med ämnet. Koncentrationerna mättes vid fyra olika tillfällen under en vecka. Studien visade att fosfinhalterna initialt varierade mellan 360 och 460 mg/m³ och minskade sedan, efter sju dygn, till cirka 50 mg/m³ i två av de tre containrarna. Den tredje containern innehöll 350 mg/m³ efter 7 dygn. Utifrån dessa uppgifter är det möjligt att uppskatta vilken skyddsfaktor som krävs för att kunna arbeta i en nyligen gasad container. Den högsta koncentrationen som registrerades var alltså 460 mg/m³ (325 ppm), medan NGV är

¹⁰ The dispersal of fumigants around ocean shipping containers, RIVM report 609021041/2007, E. Schols, E.M. van Putten

0,3 ppm. Det innebär att andningsskyddet i detta fall bör ha en skyddsfaktor större än 325 ppm/0,3 ppm $\approx 1\ 000$.

Jämför man med gränsvärdet för EU (0,2 ppm), blir önskvärd skyddsfaktor 325 ppm/0,2 ppm $\approx 2\ 000$ eller högre. En leverantör av aluminiumfosfid¹¹ (aluminiumfosfid omvandlas till fosfin av luftens fuktighet) har rekommenderat de maximala halterna av fosfin som bör användas för gasning av containrar. Rekommendationen innebär att koncentrationen bör vara mellan 750 och 1 625 ppm. Det innebär att om man arbetar i den miljön bör man ha ett andningsskydd som har en skyddsfaktor högre än 1 625 ppm/0,3 ppm $\approx 5\ 000$. Begränsar man tiden till 15 minuter och utgår från KTV (se tabell 1) kan en skyddsfaktor högre än 1 625 ppm/1 ppm $\approx 2\ 000$ vara tillräckligt.

Metylbromid rekommenderas av Food and Agriculture Organisation of the United Nations¹² för behandling av gods innehållande trä. I rekommendationen anges olika gas-koncentrationer och tider utifrån omgivande temperatur. Högsta koncentrationen av metylbromid behövs vid låg temperatur och kort tid, vid 11 °C och behandling under 0,5 timmar är lägsta koncentrationen 48 g/m³. Vid gasbehandling under 16 timmar med omgivande temperatur av 21 °C skall koncentrationen av metylbromid vara lägst 14 g/m³. Om man utgår från NGV (8 timmar, se tabell 1) för metylbromid behövs en skyddsfaktor från 14 g/m³/19 mg/m³ ≈ 740 till 48 g/m³/19 mg/m³ $\approx 2\ 500$ beroende på vilken koncentration av metylbromid som användes vid gasningen.

För att uppskatta en skyddsfaktor för en 15-minuters insats kan KTV (15 min) för metylbromid (40 mg/m³) användas. En önskvärd skyddsfaktor skulle då ligga mellan 350 och 1 200 beroende på koncentrationen av metylbromid vid gasningen.

Uppskattade skyddsfaktorer vid arbete med gasbehandlade containrar där risk för exponering av fosfin och metylbromid föreligger. Beräkningen är baserad på möjlig exponeringskoncentration och nivågränsvärde för fosfin och metylbromid.

Fosfin:

Koncentration vid gasning av containrar: (750 –) 1 625 ppm.

Nivågränsvärde (Sverige): 0,3 ppm.

Önskad lägsta skyddsfaktor: (3 000 –) 5 000

Metylbromid:

Koncentration vid gasning av containrar: (14 –) 48 g/m³

Nivågränsvärde (Sverige): 19 mg/m³.

Önskad lägsta skyddsfaktor: (740 –) 2 500

¹¹ United Phosphorus Inc., USA

¹² International Standards for Phytosanitary Measures (ISPM) No.15

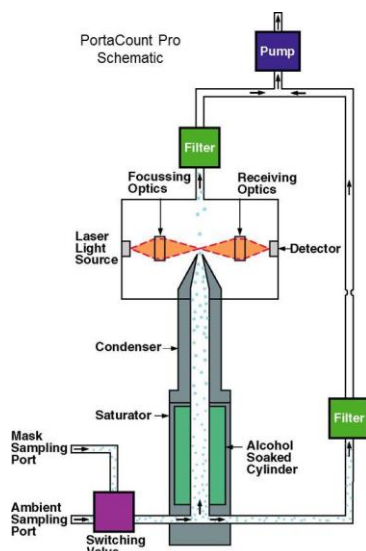
3 TSI PortaCount Pro+

PortaCount Pro+ är ett instrument som, på ett enkelt sätt, används för att bestämma tillpassningsfaktor hos ett andningsskydd och därigenom lämplig skyddsmaskstorlek för användaren samt optimera skyddsmaskens tillpassning. Instrumentet mäter koncentrationen av partiklar i den omgivande luften och jämför den med den partikelkoncentration som uppmäts inuti skyddsmasken för att bestämma en tillpassningsfaktor, TF, definierad som

$$TF = \frac{\eta_0}{\eta}, \quad (1)$$

där η_0 och η är partikelkoncentrationerna i omgivande luft och inuti masken. Instrumentet är utformat för att fungera i ett slutet, skyddat rum med en omgivande temperatur mellan 0 °C och +35 °C. Om tillpassningstest utförs utanför det angivna temperaturområdet kan felaktiga tillpassningsfaktorer erhållas, varför instrumentet inte ska användas vid sådana förhållanden.

PortaCount Pro+ kan, med hjälp av en teknik kallad *Condensation Particle Counter* (CPC), detektera partiklar som är större än 0,02 µm. En CPC fungerar så att små partiklar förstöras, genom kondensation, i luft som blivit övermättad av en alkohol, till exempel isopropanol. Därefter leds partiklarna genom en optisk detektionscell, där de räknas, vilket, tillsammans med ett känt provtagningsflöde, leder till att koncentrationen i luftprovet kan bestämmas. PortaCount Pro+ är inställd för att automatiskt växla mellan att provta omgivande luft och luft från skyddsmaskens insida, vilket underlättar handhavandet vid ett tillpassningstest. En schematisk bild av hur instrumentet ser ut inuti visas i figur 1.



Figur 1. Schematisk bild av tillpassningsenhetens (PortaCount Pro+) insida.¹³

Instrumentet drar kontinuerligt in luft, med en nominell flödes hastighet på 1 liter per minut, genom en av provtagningsportarna. Det totala flödet in i tillpassningsenheten varierar då provtagning görs på insidan av masken, eftersom undertrycket inuti masken varierar på grund av testpersonens andning. En konsekvens av denna variation i luftflödet, samt kravet att med god precision känna provtagningsflödet, är att flödet måste delas upp

¹³ PORTACOUNT® PRO 8030 AND PORTACOUNT® PRO+ 8038 Respirator Fit Testers, Operation and Service Manual, P/N 6001868, Revision L (Juni 2013)

inuti instrumentet, där det ena flödet tillåts variera fritt medan det andra hålls konstant. I figur 1 ses denna delning i flödesschemat efter *Switching Valve* och flödet som tillåts variera leds direkt genom ett partikelfilter (benämns *Filter* i figuren). Det konstanta luftflödet, vilket för PortaCount Pro+ är 0,35 liter per minut, leds däremot genom en alkohol-indränkta cylinder och sedan genom detektionscellen där de kondenserade partiklarna räknas. Den uppmätta koncentrationen, η , kan då beräknas som

$$\eta = \frac{N_{\tau}}{U \times \tau}, \quad (2)$$

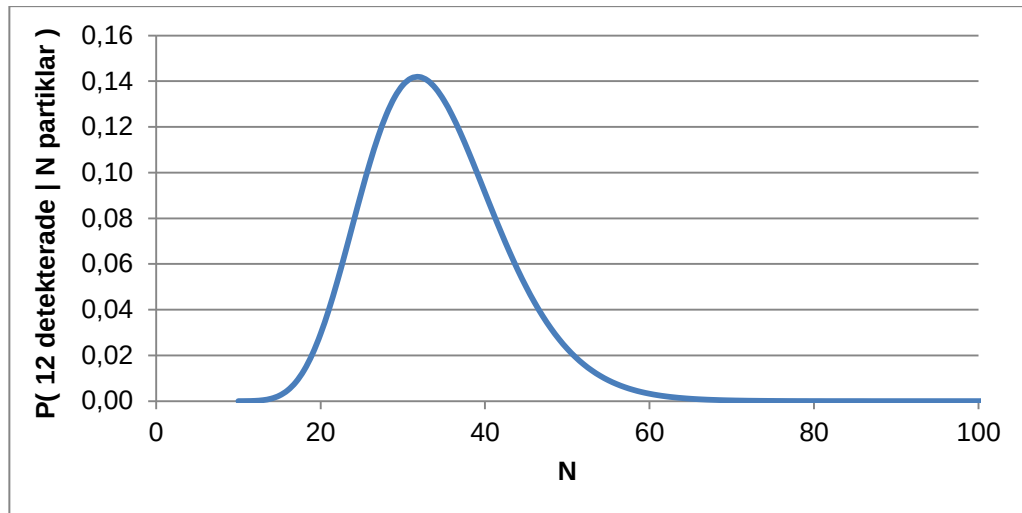
där N_{τ} är antalet partiklar uppmätt under tiden τ med det konstanta provtagningsflödet U . I ekvation 2 är det tydligt att variationer i provtagningsflödet leder till felaktig bestämning av koncentrationen, varför flödesuppdelning är nödvändig. Denna uppdelning är rimlig att göra om den uppmätta partikelkoncentrationen är så pass hög att förluster av enskilda partiklar är försumbar. I det fall då höga tillpassningsfaktorer skall bestämmas, måste η i ekvation 1 vara litet, vilket innebär att även antalet detekterade partiklar (N_{τ}) är litet (se ekvation 2). Alltså kan en uppdelning av luftflödet inuti enheten vara problematisk om ansiktsskydd med gott skydd (hög TF) används.

Ett numeriskt exempel kan i detta fall vara upplysande:

Antag att en person bär en mask med tillpassningsfaktor $TF = 10\,000$ i en miljö med en omgivande koncentration av $\eta_0 = 1\,000\text{ cm}^{-3}$. Detta innebär att koncentrationen av partiklar inuti masken är $\eta = 0,1\text{ cm}^{-3}$ (1 partikel per 10 cm^3). Om tillpassningsenheten använder mättiden 20 sekunder innebär det att instrumentet har detekterat $N_{\tau} = 0,1\text{ cm}^{-3} \times 0,35\text{ liter per minut} \times 20\text{ sekunder} \approx 12\text{ partiklar}$.

Alltså är det enstaka partiklar som tillpassningsenheten ska detektera vid bestämning av höga skyddsfaktorer. Sannolikheten, p , att en partikel som kommer in i instrumentet även leds genom detektionscellen (och även detekteras) kan, i idealfallet, antas bero enbart på maskinens flödeshastigheter. Alltså gäller att $p \approx 0,35\text{ liter per minut} / 1,0\text{ liter per minut} = 35\%$. Om man samtidigt antar att inläckaget av partiklar är konstant¹⁴, så är det möjligt att beräkna sannolikheten att 12 partiklar detekteras givet att N partiklar är i instrumentet, vilket betecknas som $P(12\text{ partiklar detekteras} \mid N\text{ partiklar i maskinen})$. En sådan beräkning resulterar i figur 2. Man kan urskilja att den högsta sannolikheten är att 34 partiklar var i maskinen då 12 partiklar detekterades. Dock bör man lägga märke till att toppen i figur 2 är relativt bred, vilket innebär att det är ett stort spann av sannolika N då 12 partiklar har detekterats. Detta innebär i sin tur att osäkerheten i resultatet är stor då antalet partiklarna är få.

¹⁴ Om inläckaget är konstant kan en binomialfördelning antas.



Figur 2. Sannolikheten att 12 partiklar detekteras givet att N partiklar finns inuti tillpassningsenheten.

Denna sannolikhetsfördelning av antalet partiklar ger således upphov till ett spann av mer eller mindre sannolika skyddsfaktorer, (se ekvation 1 och 2), vilket manifesteras i tillpassningsenhetens mätosäkerhet. Resonemanget som beskrivs ovan medför att noggrannheten för en uppmätt skyddsfaktor på 10 000 inte är $\pm 10 \%$ vilket anges i databladet för tillpassningsenheten. I det numeriska exemplet ligger den sanna tillpassningsfaktorn inom intervallet 6 800 och 19 000 (95 % konfidensnivå), vilket är $\pm 60 \%$ som genomsnitt. Om luftens partikelkoncentration i det numeriska exemplet ökas till $100\,000\text{ cm}^{-3}$ blir samma intervall 9 500 till 10 500, vilket är en relativ osäkerhet på endast $\pm 5 \%$. Ökas även provtagningstiden kommer denna osäkerhet att minska ytterligare.

Mätosäkerheten är hög då en hög tillpassningsfaktor mäts, medan den är mindre ju lägre tillpassningsfaktor som mäts. Detta beror på att många partiklar detekteras vid en dålig tillpassning (låg tillpassningsfaktor), vilket minskar effekten av förluster av enskilda partiklar. Detta i sin tur medför att det delflöde som leds genom detektionscellen är representativt för det totala flödet som leds in i tillpassningsenheten. För att säkerställa en tillräckligt noggrann bestämning av tillpassningsfaktorn kan två olika förändringar göras; mättiden τ kan ökas och/eller så ökas den omgivande partikelkoncentrationen η_0 . I tabell 4 visas den beräknade mätosäkerheten för TF = 10 000 för några olika kombinationer av η_0 och τ .

Tabell 4. Beräknade relativa osäkerheter (95 % konfidensnivå) för olika kombinationer av η_0 och τ för TF = 10 000

$\eta_0 \backslash \tau$	20 s	40 s	60 s
$1\,000\text{ cm}^{-3}$	$\pm 60 \%$	$\pm 40 \%$	$\pm 30 \%$
$10\,000\text{ cm}^{-3}$	$\pm 20 \%$	$\pm 10 \%$	$\pm 9 \%$
$50\,000\text{ cm}^{-3}$	$\pm 7 \%$	$\pm 5 \%$	$\pm 4 \%$
$100\,000\text{ cm}^{-3}$	$\pm 5 \%$	$\pm 4 \%$	$\pm 3 \%$

Från det numeriska exemplet ovan är det uppenbart att de använda förutsättningarna kommer att resultera i stora osäkerheter i de bestämda tillpassningsfaktorerna. Tillverkaren (TSI) rekommenderar att partikelkoncentrationen i testatmosfären är lägst $1\,000\text{ cm}^{-3}$ vilket, enligt FOI, är oacceptabelt lågt. $1\,000\text{ cm}^{-3}$ är även den ungefärliga partikelkoncentrationen som uppnås i FOI:s lokaler då ingen aktiv partikelgenerering sker. Det är därför, i princip, aldrig möjligt att använda tillpassningsenheten utan att aktivt generera luftburna partiklar på något sätt, till exempel genom att tända värmeljus alternativt aerosolisera en saltlösning. FOI anser att osäkerheten för TF = 10 000 bör vara lägre än $\pm 5 \%$, varför kombinationen $\eta_0 = 50\,000\text{ cm}^{-3}$ och $\tau = 60\text{ s}$ rekommenderas (se tabell 4). De partikelkoncentrationer som vanligtvis finns i luften varierar även kraftigt beroende på

årstid, veckodag, tid på dygnet samt plats. Det är rimligt att anta att mindre partiklar bör penetrera skyddsmaskens tillpassning i högre grad än större. Därför är det viktigt att, i förhand, karaktärisera den aerosol som används vid tillpassningstestet, annars finns det risk att variationer i testaerosolen tolkas som variationer i skyddsmaskens tillpassning. Som ett exempel kan det antas att olika sorters värmeljus ger upphov till olika storleksdistributioner, varför en särskild sort bör definieras och karaktäriseras innan en sådan partikelgenereringsmetod fastställs.

Då det gäller val av utrymme där tillpassningstest bör utföras är det viktigt att det har en begränsad volym och att eventuell ventilation tillfälligt stängs av. Detta görs för att med den valda genereringsmetoden kunna skapa en stabil aerosol med tillräckligt hög partikelkoncentration. Dock bör det noteras att tillpassningsenheten inte klarar av att mäta partikelkoncentrationer högre än $250\,000\text{ cm}^{-3}$, vilket gör detta värde till en övre gräns. Används högre koncentrationer i luften kommer den uppmätta tillpassningsfaktorn att få ett onormalt lågt värde. Det borde även vara fullt möjligt att utföra ett tillpassningstest i ett fordon, även om det inte är optimalt. Då bör vindrutor vevas igen och ventilation stängas av innan en testaerosol genereras.

Observera att de tillpassningsfaktorer som bestäms med instrumentet är endast en utvärdering av skyddsmaskens tillpassning vid ett specifikt testtillfälle. Denna tillpassning varierar vid andra tidpunkter och tillpassningsfaktorn som rapporteras är därför, enligt instrumenttillverkaren, inte avsett att användas för att beräkna en persons verkliga exponering för riskfyllda ämnen, utan att få en uppfattning om skyddets passning vid den specifika tidpunkten.

För metodbeskrivning för tillpassning med instrumentet, se separat rapport² samt STANREC 4725¹⁵.

¹⁵ STANREC 4725, Fit and Protection Testing Methods for Negative-Pressure Respirators (2012).

4 Tårgas

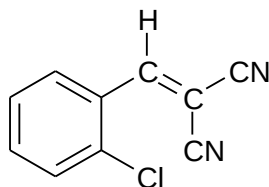
4.1 Uppskattning av skyddsfaktorer vid exponering med tårgas

En vanlig metod som används för att kontrollera tillpassningen av en skyddsmask är att exponera personen för tårgas i aerosolform, utomhus eller i en testkammare. Exempel visas i figur 3 och figur 6. Om skyddsmasken inte har tillräcklig tätning kommer tårgasen snabbt att reta ögonen, andningsvägarna och huden. Vanligtvis används pyrotekniska satser för att skapa en testatmosfär av tårgaspartiklar. Hög tårgaskoncentration säkerställer att en viss skyddsfaktor uppnås även för de testpersoner som är mindre känsliga för tårgas.



Figur 3. På bilden visas tillpassning av skyddsmask med tårgas i ett tält som togs fram för Räddningsverket. Bild: Lars Hägglund.

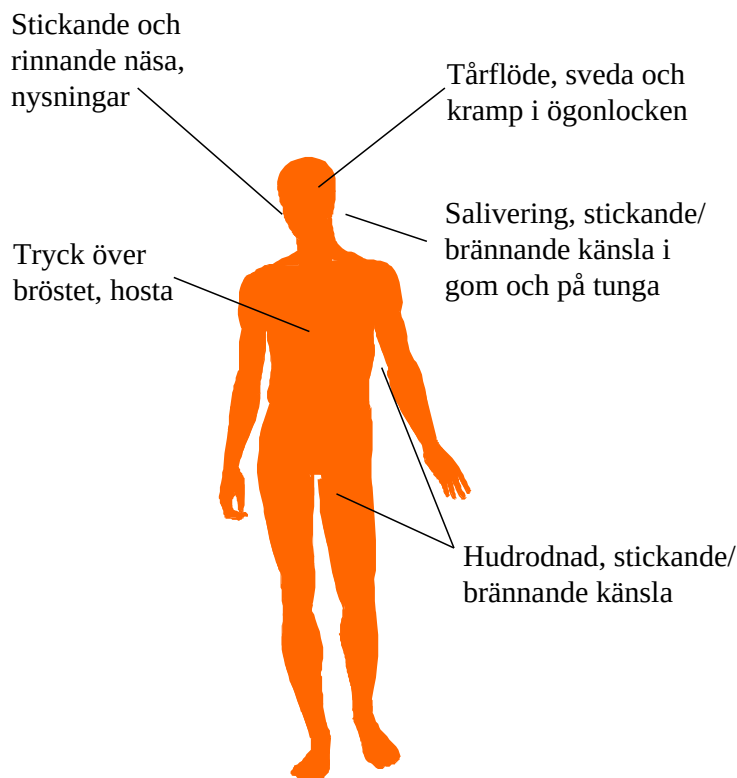
Tårgasfacklan innehåller den tårretande substansen 2-klorbensylidenmalononitril (CS) som är ett fast ämne i rumstemperatur och dess strukturformel visas i figur 4.



Figur 4. 2-klorbensylidenmalononitrils strukturformel.

Det finns ett flertal ämnen som brukar användas som tårgas. Gemensamt för alla tårgaser är att de nästan ögonblickligen ger ögonsveda, tårflöde och kramp i ögonlocken. Den kraftiga retande effekten leder till en mer eller mindre uttalad inkapacitering hos exponerade personer. Förutom effekterna på ögonen orsakar de flesta tårgaser även retning i näs- och munhåla, svalg och luftvägar och ibland även i huden, speciellt i fuktiga och varma partier. Vid massiv exponering kan den tårgas som sväljs även framkalla kräkningar. En sammanfattning av symptom för tårgasexponering kan ses i figur 5.

Obehagskänslorna vid tårgasexponering är så starka att man inte kan handla rationellt. Det är detta som gör tårgaserna kapacitetsnedsättande. Den retande effekten kvarstår så länge det finns tillräckliga koncentrationer av tårgas, men försvinner en stund (15-30 min) efter det att exponeringen upphört. Tårgasernas irriterande egenskaper beror på att de retar nerver i slemhinnor och hud. Känsligheten för tårgaser varierar dock betydligt mellan olika individer. Faktorer som påverkar individens reaktion kan vara emotionellt tillstånd, droger, motivation, fysisk aktivitet, omgivningstemperatur och luftfuktighet.



Figur 5. Symptom orsakade av tårgaser.

För att ange effektiviteten hos en tårgas används ofta uttrycken retningströskel (TC) och uthärdlighetsgräns (IC). TC_{50} definieras att vara den koncentration som krävs för att åstadkomma en just förnimbar retning hos 50 % av de exponerade personerna inom en minut. På liknande sätt definieras IC_{50} att vara den koncentration som upplevs som outhärdlig av 50 % av de exponerade personerna inom en minut. TC_{50} - och IC_{50} -värden för CS anges i tabell 5.

Tabell 5. Retningströsklar (TC_{50}) och uthärdlighetsgränser (IC_{50}) för tårgasen CS

	Koncentration (mg/m^3)
TC_{50} , ögon	0,004
TC_{50} , luftvägar	0,023
IC_{50}	3,6

För att kunna uppskatta vilken skyddsfaktor man kan förvänta sig vid en exponering av tårgas behöver man veta den omgivande koncentrationen samt vilken koncentration som ger retning på ögon, näsa och hals. Rekommenderad koncentration av tårgas vid tillpassning av skyddsmasker är mellan 200 och 400 mg/m^3 enligt Försvarmaktens SäkI CBRN 13¹⁶. Vid genomförda försök med tårgas (3 facklor à 4 gram CS) i en kammare med volymen 41,5 m^3 uppmättes en koncentration 270 mg/m^3 efter sex minuter. Antalet tårgasfacklor som måste tändas i en kammare med annan volym kan lätt räknas fram eftersom utbytet av tårgas i tårgasfacklan är nästan 100 %. I en tät kammare kan aerosolkoncentrationen vara relativt hög under lång tid, halveringstiden kan vara mellan 30 och 60 minuter för en tårgasfackla. Beroende på luftomsättningen i kammaren kan ytterligare facklor tändas efter 15 till 20 minuter för att bibehålla koncentrationen. Eftersom responsen för tårgas beror mycket på individen, är det svårt att fastställa exakt vid vilken koncentration alla påverkas av tårgasen. Några personer kan vara mycket känsliga för tårgasretningar och andra reagerar endast vid höga koncentrationer. I olika

¹⁶ SäkI CBRN 13, Säkerhetsinstruktion för vapen och ammunition med mera. C-, B-, R- och N-stridsmedel, M7739-351106 (2013-01-01). Se utdrag, bilaga 2.

studier¹⁷ har man exponerat försökspersoner för tårgas för att försöka bestämma uthärdlighetsgränsen för tårgas (IC_{50}). Vid exponeringar av tårgas har försökspersoner, utan skyddsmask och under en tid av 60 sekunder, upplevt koncentrationer mellan 0,1 och 10 mg/m^3 som outhärdliga. Halterna varierar mycket beroende på individens känslighet och motivation. Dessutom, om koncentrationen (även inne i masken) sakta ökar från låg halt till en lite högre halt ($< 6 mg/m^3$) så anpassar försökspersonen sig till exponeringen och klarar av högre koncentration än om koncentrationen ändras momentant.

För att uppskatta den skyddsfaktor man kan förvänta sig uppnå vid tillpassningskontroll med tårgas i en kammare kan man utgå från den lägsta koncentrationen som rekommenderas, det vill säga 200 mg/m^3 . För att de flesta skall ha retningar i ögon, näsa och svalg efter 1 till 2 minuter under en tillpassningskontroll bör tårgaskoncentrationen vara cirka 0,02 mg/m^3 . Kraftig irritation av ögon, näsa och svalgets slemhinnor uppstår för de flesta vid 0,1-0,2 mg/m^3 och vid denna tårgaskoncentration upplever antagligen alla att man har ett läckage.

Beräkning av vilken skyddsfaktor som kan bestämmas vid tillpassningskontroll med tårgas i en testkammare:

Tårgaskoncentration i kammaren: 200 - 400 mg/m^3

Tårgaskoncentration inne i skyddsmasken (kraftig retning): 0,1 - 0,2 mg/m^3

Skyddsfaktor: 1 000 - 4 000

Om man är okänslig för tårgas kan man tolerera koncentrationer uppemot 3,6 mg/m^3 . Detta utgör då den så kallade uthärdlighetsgränsen. Det skulle i så fall motsvara:

Tårgaskoncentration i kammaren: 200 - 400 mg/m^3

Tårgaskoncentration inne i skyddsmasken: 3,6 mg/m^3

Skyddsfaktor: 60 - 100

Eftersom den individuella känsligheten för tårgas är så stor är det svårt att exakt bestämma vilken skyddsfaktor som gäller för en specifik person.

4.2 Tårgasförsök i tält och kammare

4.2.1 Tårgasförsök i kammare

För att bestämma partikelstorleksfördelningen vid användande av Tårgasfackla 4¹⁸ genomfördes två försök i Försvarens testkammare (visas i figur 6). Vid undersökningen bestämdes även den totala koncentrationen av partiklar och tårgas i aerosolen. Kammaren hade betonggolv och väggar och tak var klädda med träpanel. Kammarens volym var 41,5 m^3 och enligt reglementet (se bilaga 2) skall den verksamma koncentrationen av tårgas vara mellan 200 till 400 mg/m^3 under en täthetskontroll av skyddsmask. Varje Tårgasfackla 4 innehåller 4 gram tårgas och vid varje försök användes tre facklor, vilket innebär att initialt tillsattes 12 gram till kammaren, vilket motsvarar cirka 290 g/m^3 . Under försöken var lufttemperaturen +9 °C, den relativa luftfuktigheten 60 % och det var svag vind (1 - 3 m/s). Dörrar och fönster hölls stängda/tätade under mätningen och kammaren har ingen aktiv ventilation.

¹⁷ Toxicology of riot control chemicals – CS, CN, and DM”, B.P. McNamara et.al., Edgewood Arsenal Technical Report, EATR 4309, nov. 1969.

¹⁸ Tårgasfackla 4, M4746-215031



Figur 6. Tårgaskammare på SkyddC:s övningsområde. Inne i kammaren placerades åtta stycken filterhållare på ca 1,5 meters höjd. Tre tårgasacklor användes vid försöken. Bilder: Marianne Thunell.

För att bestämma aerosolkoncentrationen i kammaren togs luftprover upp på 47-millimeters glasfiberfilter¹⁹ med hjälp av batteridrivna pumpar²⁰ och 47-millimeters filterkassetter. Filtrens viktökning bestämdes gravimetriskt och provvolymen registrerades av de kalibrerade luftprovtagningspumparna. Dubbelprov togs vid fyra tidpunkter. För att bestämma andelen tårgas i aerosolen extraherades filtren med diklormetan. Intern standard sattes till vardera extrakt varefter de analyserades med en gaskromatograf (GC-2010, Shimadzu) utrustad med en flamjonisationsdetektor. Instrumentets responsfaktor bestämdes genom att analysera kända koncentrationer av tårgas. Utifrån en kalibreringskurva kunde sedan halterna av tårgas i extrakten beräknas.

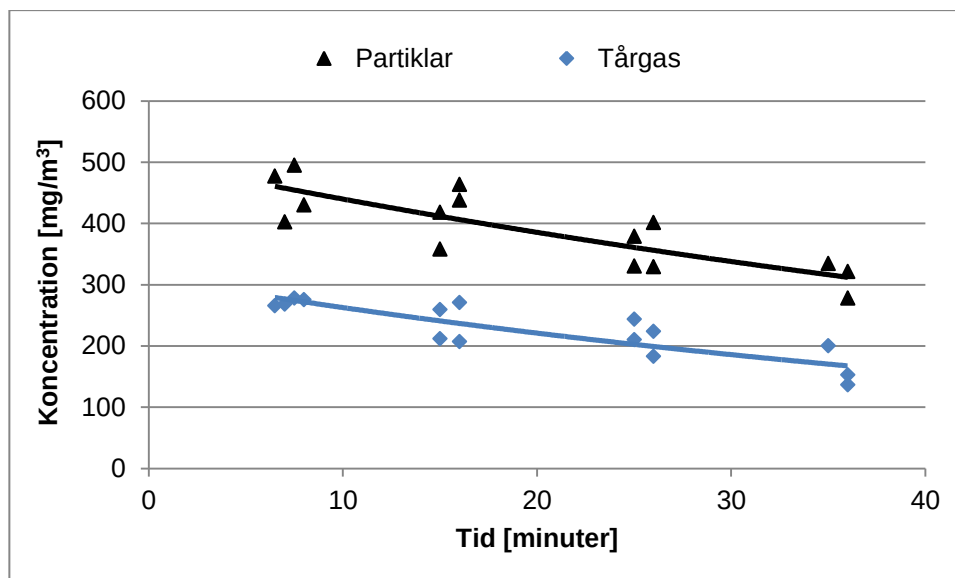
För att bestämma partikelstorleksfördelningen hos aerosolen i kammaren användes en Electrical Low Pressure Impactor (ELPI+, Dekati Ltd., Finland). Luftprovet späddes cirka 100 gånger med ett spädsystem²¹ för att inte överbelasta mätinstrumentet.

De första luftproven togs efter cirka sex minuter och tårgashalten var initialt 271 ± 6 mg/m³ vilket är nära den teoretiska koncentrationen $3 \times 4 \text{ g} / 41,5 \text{ m}^3 \approx 300 \text{ mg/m}^3$ som kan uppnås med tre tårgasacklor. Tårgasutbytet var $94 \pm 2 \%$ och andelen tårgas i aerosolen uppmättes till $58 \pm 6 \%$. Halveringstiden för tårgaskoncentrationen var cirka 40 minuter, vilken kan beräknas ur figur 7.

¹⁹ VWR kat.nr. 516-0882

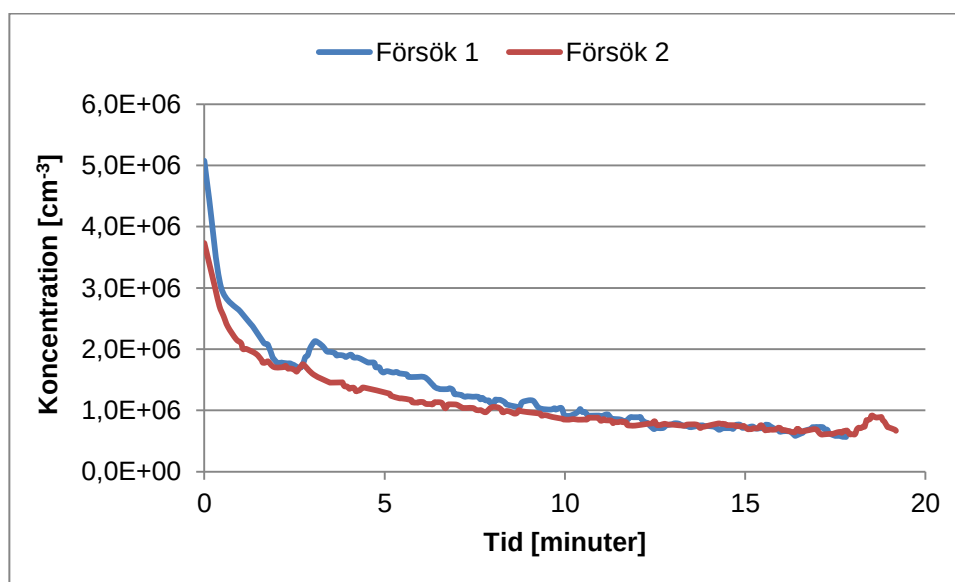
²⁰ SKC, Leland Legacy Sample Pump

²¹ Diluter L7, Dekati Ltd., Finland



Figur 7. Koncentration för de två tårgasförsöken sammanslaget i en bild. Svart kurva visar koncentrationen av den totala mängden partiklar i kammaren. Blå kurva visar koncentrationen av tårgas i kammaren.

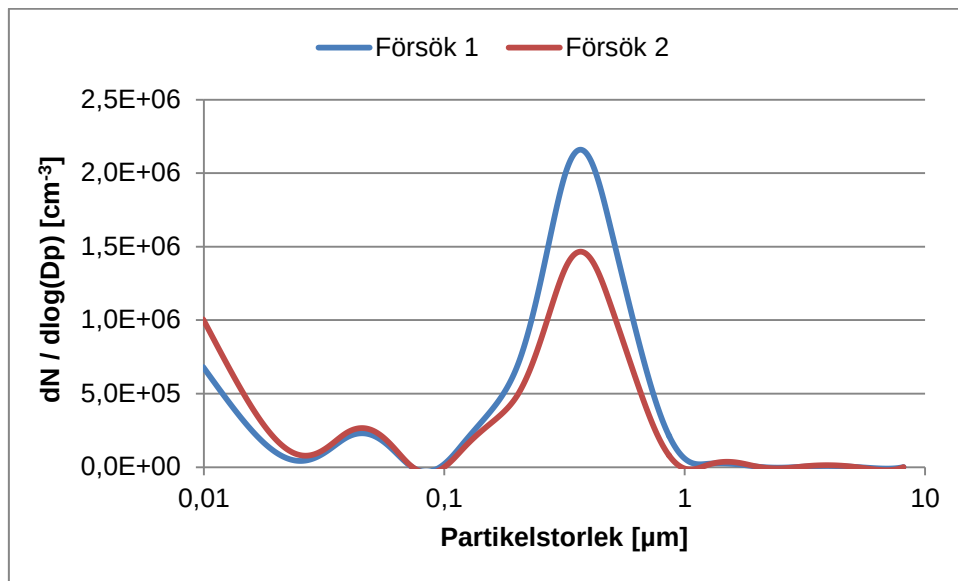
Den, av ELPI+, uppmätta partikelkoncentrationen (antal/cm³) över tid för de två olika försöken presenteras i figur 8. De två försöken resulterade i liknande partikelkoncentrationer och de små skillnader som syns i figur 8 kan delvis bero på att tiden 0 inte är absolut bestämd, vilket innebär att kurvorna eventuellt är, sinsemellan, förskjutna i tiden. Gemensamt för de två försöken är att koncentrationen är avtagande med tiden och att deras medelkoncentrationer ligger runt 1 000 000 cm⁻³, vilket är en mycket hög partikelkoncentration jämfört med de övriga metoderna (salt och värmeljus, se avsnitt 5.1 och 5.2). Dock bör det påpekas att partikeldetektionen för denna metod, vilket är den mänskliga reaktionen av tårgas, är mycket mindre känslig än detektionsutrustningen för de övriga metoderna.



Figur 8. Bestämda partikelkoncentrationer som funktion av tid för de två försöken där tårgasfacklor tänds i en tårgaskammare.

De storleksfördelningar som bestämdes med ELPI+ presenteras i figur 9. Fördelningarna uppvisar mycket stora likheter mellan varandra och den största andelen partiklar verkar vara större än 0,1 µm, vilket är betydligt större än motsvarande för både förbränningspartiklar från värmeljus och den som utlovas med saltaerosolgeneratoren.

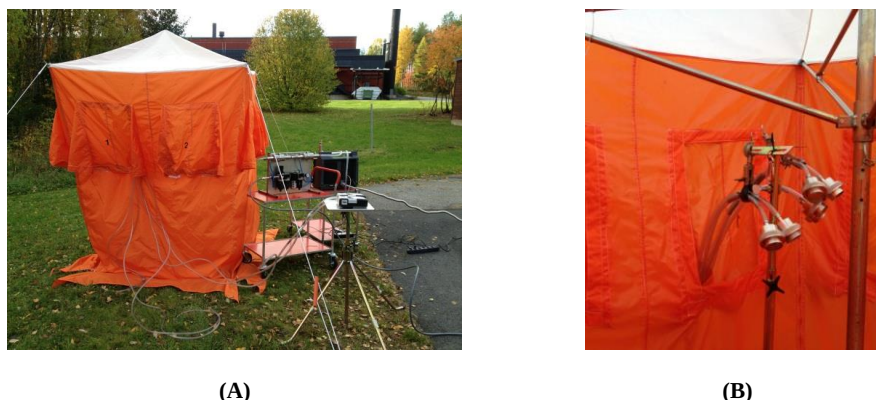
Detta innebär att partiklarna som utgör tårgasaerosolen förväntas tränga in i skyddsmasken i lägre utsträckning än motsvarande aerosoler beskrivna i avsnitt 5.1 och 5.2.



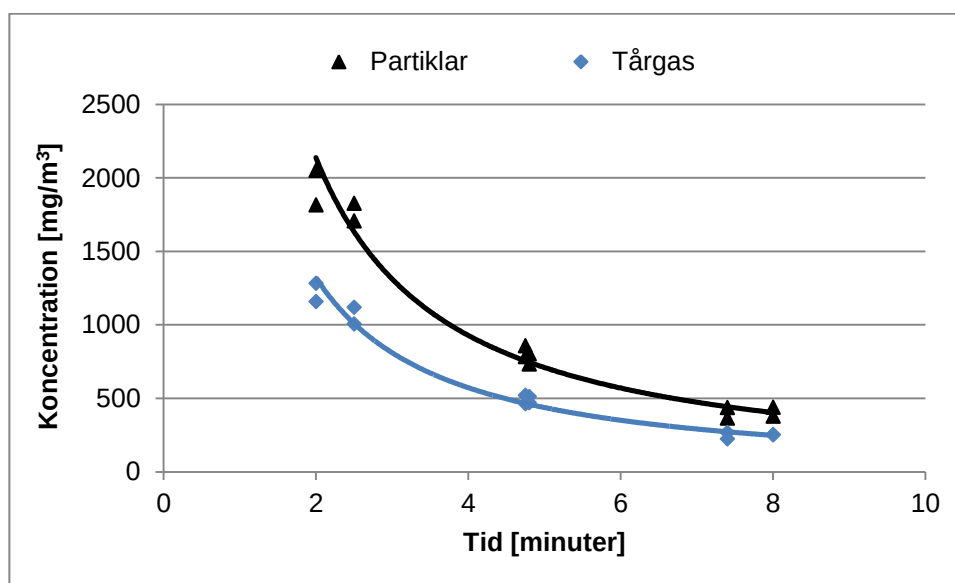
Figur 9. Partikelstorleksfördelningar, sett till antalet partiklar, som bestämdes då tre tårgasfacklor tändes i tårgaskammare. De tydliga topparna mellan 0,1 och 1 μm har maximum vid $\sim 0,37 \mu\text{m}$.

4.2.2 Tårgasförsök i tält

Instrumentering och metodik för dessa försök är densamma som för kammarförsöken som beskrivs i avsnitt 4.2.1. Tältet, vilket visas i figur 10, är cirka 2,5 meter högt, kvadratisk med bredden 1,35 m i marknivå och 1,63 m på 2 m höjd, samt med två luckor för testpersoner på samtliga sidor. Volymen inne i tältet är cirka 5 m³. Två försök genomfördes. En Tårgasfackla 4 tändes i tältet och de första luftproverna togs efter 2 minuter. Den initiala halten av tårgas var cirka 1 100 mg/m³ och förloppet redovisas i figur 11. Ingen tillpassning genomfördes under försökets gång och luckorna i tältduken hölls därför stängda. Vid försökstillfället var temperaturen 16 °C, den relativa fuktigheten 57 % och vinden svag (0 – 2,5 m/s). I figur 11 kan man utläsa att tårgaskoncentrationen avtar mycket snabbt med en halveringstid på 2 - 4 minuter. Det tidsintervall då koncentrationen av tårgas är inom Försvarmaktens rekommenderade värde (200 - 400 mg/m³) börjar efter ungefär 5,5 minuter och passerar den nedre gränsen efter ungefär 9,5 minuter. Vid tillpassningskontroll får tårgashalten inte överskrida 500 mg/m³ enligt SÄKI CBRN 13 (se bilaga 2).

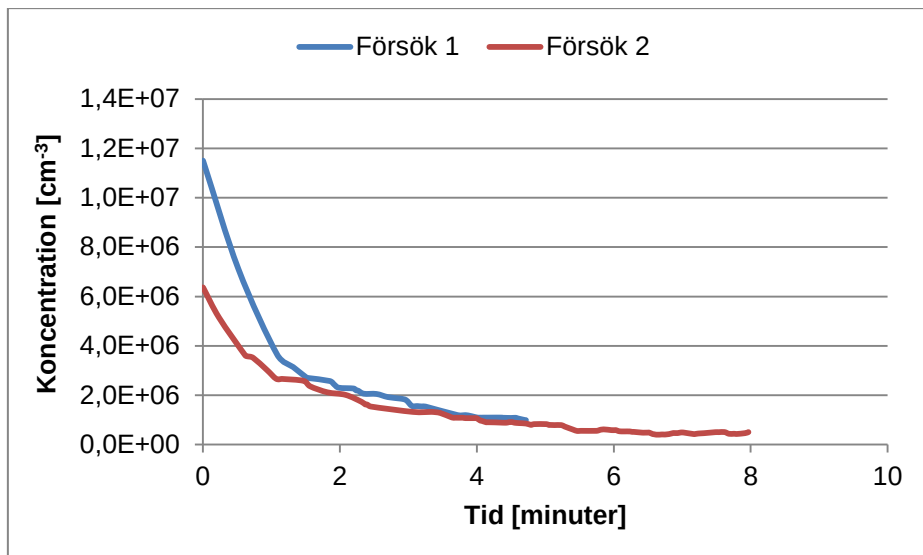


Figur 10. Tårgastält med instrument och pumpar uppställda utanför tältet (A). Inne i tältet placerades filterhållare på cirka 1,5 meters höjd (B). Bild: Lars Hägglund



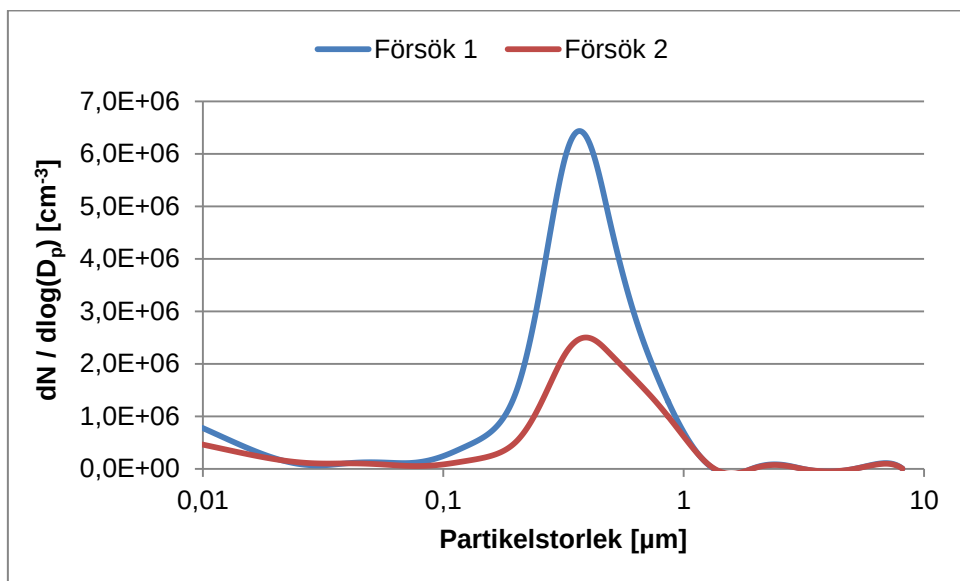
Figur 11. I figuren visas de två tårgasförsöken sammanslagna. Svart kurva visar koncentrationen av den totala mängden partiklar i kammaren. Blå kurva visar koncentrationen av tårgas i kammaren.

De partikelkoncentrationer som uppmättes med ELPI+ under försöken stämde väl överens med varandra, vilket kan ses i figur 12. De mycket höga koncentrationerna avtar inledningsvis exponentiellt, vilket tyder på att aerosolens partiklar slås ihop och därefter sedimenterar ned till marken. De skillnader som syns kan bero på samma typ av tidsförskjutning som för figur 8. Den absoluta partikelkoncentrationen är högre i tältet jämfört med tårgaskammaren (figur 8 och figur 12). Detta är väntat eftersom tältets volym är mindre än tårgaskammarens.



Figur 12. Partikelkoncentrationer som funktion av tid för de två försöken där tårgasfacklor tänds i ett tillpassningstält.

Medelvärden av aerosolernas storleksfördelningar, som bestämdes med ELPI+, presenteras i figur 13. Stora likheter med motsvarande resultat för försöken i tårgaskammaren kan noteras (se figur 9). Även för tåltresultaten noteras stora likheter mellan de två försöken och det är tydligt att en stor andel av partiklarna är större än 0,1 μm .



Figur 13. Partikelstorleksfördelningen, sett till antalet partiklar, som bestämdes då en Tårgasfackla 4 tändes i tillpassningstält. Topparna mellan 0,1 och 1 μm ligger vid $\sim 0,37 \mu\text{m}$ för försök 1 och vid $\sim 0,39 \mu\text{m}$ för försök 2.

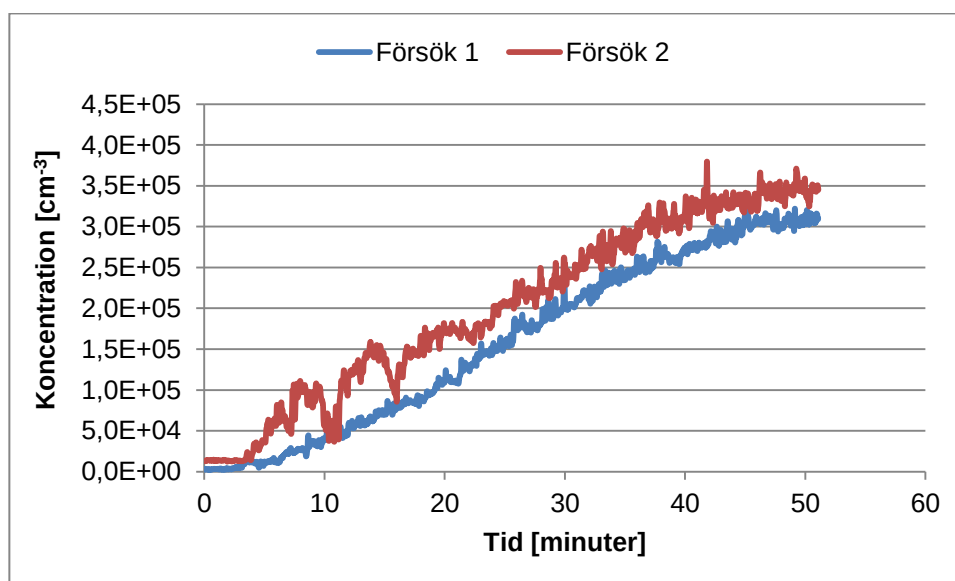
5 Jämförelse partikelmätning med PortaCount och tårgas

5.1 Saltaerosolgenerator

Saltaerosolgeneratoren (TSI Particle Generator Model 8026) är specifikt framtagen för att generera en icke hälsovådlig aerosol lämplig att användas för tillpassningstest med PortaCount. Enligt tillverkaren är antalsmedianen (NMAD) $\sim 0,04 \mu\text{m}$ vilket innebär att en stor andel, sett till antalet, av partiklarna är mycket små och bör passa väl för att genomföra tillpassningstest.

Två försök, där saltvattenlösningar bestående av ~ 1 dl vatten och 3 NaCl-tabletter à 100 mg styck aerosoliserades av generatoren, vilken placerades i Försvarsmaktens tillpassningstält²², vilket ger en begränsad volym ($6,9 \text{ m}^3$). Om generatoren används i ett större utrymme kommer det ta längre tid att erhålla en aerosol med tillräckligt hög partikelkoncentration. Notera att även tillverkaren (TSI) inte rekommenderar att denna aerosolgenerator används i utrymmen med en golvyta som överstiger 37 m^2 . Om en takhöjd på 2,5 m antas, motsvarar detta en volym av $\sim 90 \text{ m}^3$. FOI rekommenderar därför att någon typ av tält används för att begränsa testvolymen.

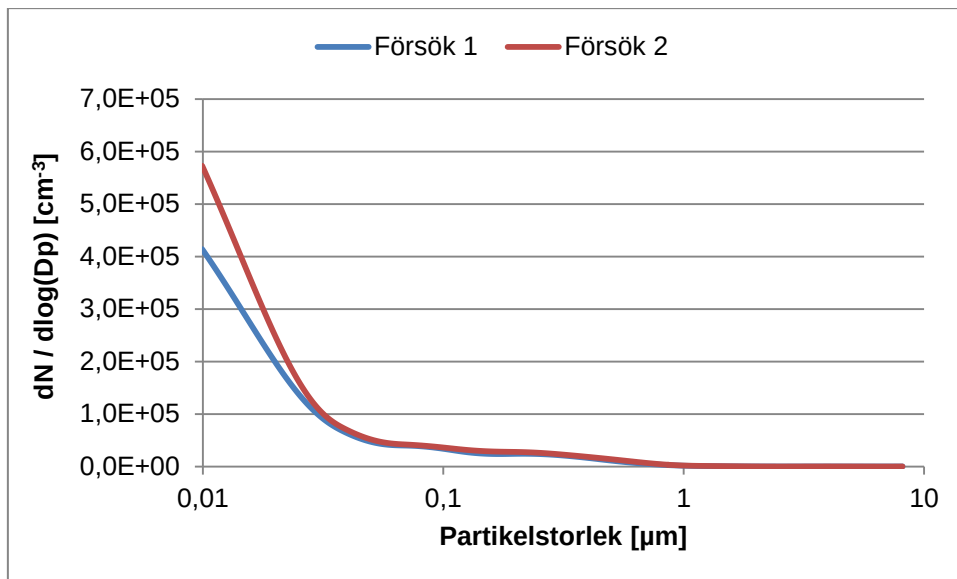
I figur 14 visas de uppmätta partikelkoncentrationerna i tillpassningstältet som funktion av genereringstid. Det är möjligt att utläsa att efter 15 minuter ligger partikelkoncentrationsnivån över $50\,000 \text{ cm}^{-3}$, vilket är den lägre gräns som FOI rekommenderar för tillpassningstest med PortaCount Pro+ (se avsnitt 3). Skillnader mellan de två försöken kan även ses, men dessa är relativt små och kan bero på variationer i mätutrustningen.



Figur 14. Uppmätta partikelkoncentrationer för de två försöken där saltvattenlösningar aerosoliserades i en sluten volym ($6,9 \text{ m}^3$).

De resulterande storleksdistributionerna presenteras i figur 15 för de två försöken. Mycket stora likheter dem emellan är uppenbara och även det faktum att merparten av partiklarna verkar vara mycket små ($< 0,1 \mu\text{m}$), vilket gör att denna aerosol är mycket lämplig att använda vid tillpassningstest.

²² Tillpassningstält, M7015-307010



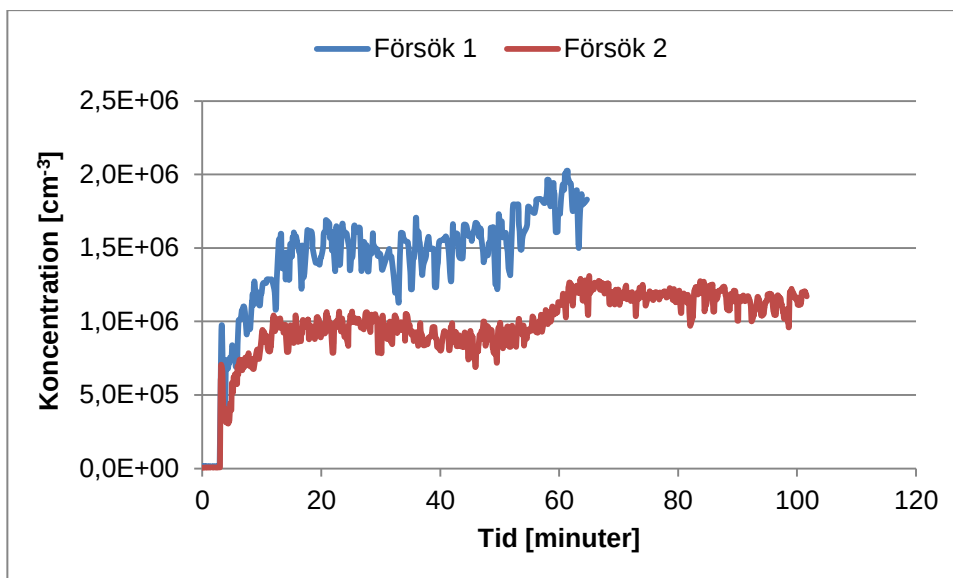
Figur 15. Storleksdistributioner, sett till antal partiklar, som bestämdes för saltaerosolen som genererades med hjälp av TSI Particle Generator Model 8026.

5.2 Värmeljus

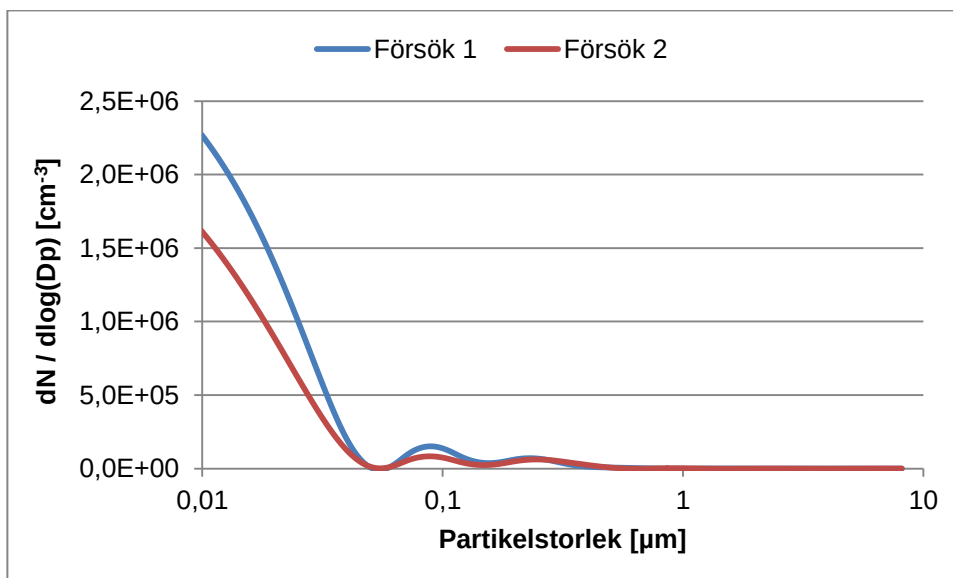
Försvarmakten har i sin metod för PortaCount 8020 M valt att använda förbränningspartiklar från värmeljus (TSI CBRN Candle) som aerosol vid tillpassningstest. Ljuset placeras, tillsammans med tillpassningsenheten, inuti Försvarmaktens tillpassningstält²² vilket ger en begränsad volym ($6,9 \text{ m}^3$) som ska fyllas med förbränningspartiklar. De tester som FOI har genomfört med denna genereringsmetod visar på att ett brinnande värmeljus resulterar i partikelkoncentrationer över $100\,000 \text{ cm}^{-3}$ (se figur 16). Ett värmeljus räcker alltså för att skapa en aerosol i tältet som ligger inom det intervall som FOI rekommenderar vid användning av PortaCount.

Som tidigare nämnts är aerosolens partikelstorleksfördelning av intresse, eftersom samma tillpassning kan antas ge olika skydd beroende på partikelstorlek. Förbränningspartiklar från två olika ljus undersöktes med instrumentet ELPI+ och resultaten presenteras i figur 17.

I figur 17 är det tydligt att en stor andel av partiklarna är mycket små och bör därför vara lämpliga som aerosol vid tillpassningstest. De två olika fördelningarna visar även stora likheter till utseendet, vilket innebär att en aerosol med liknande egenskaper kan åter-skapas vid separata tillfällen.



Figur 16. Uppmätta partikelkoncentrationer för de två försöken med förbränningspartiklar från värmeljus i en sluten volym ($6,9 \text{ m}^3$).



Figur 17. Partikelstorleksfördelning, sett till antalet partiklar, som bestämdes för förbränningspartiklar från ett värmeljus.

5.3 För- och nackdelar med tårgas och PortaCount

Eftersom tårgastest är det nuvarande tillvägagångssättet att säkerställa skyddsmaskens tillpassning är det av intresse att göra en jämförelse mellan de olika metoderna. FOI har utfört mätningar på två olika konfigurationer, där Tårgasfackla 4 tänts i ett mindre tält samt i SkyddC:s tårgaskammare.

För- och nackdelar med att använda tårgas för tillpassningskontroll av skyddsmask.

- + ”Skarpt test” som ger bäraren förtroende för skyddsutrustningen.
- + Inga mätinstrument behövs för tillpassningskontrollen.
- Endast större läckage kan upptäckas
- Kammare eller tält behövs
- Placering av tält, lokalisering av tårgaskammare
- Riskavståndet är minst 100 meter
- Hantering av kontaminerat tält och utrustning
- Risk för att de som arbetar med tårgas blir sensibiliserade och får allergiska reaktioner om de utsätts för tårgas.
- Det går inte att kontrollera att skyddsmasken har hög skyddsförmåga, på grund av många osäkerhetsfaktorer
- Subjektiv detektion, olika personer är olika känsliga
- Tårgaskoncentrationen avklingar snabbt i ett tält på grund av luftomsättning, vindkänslig
- Tårgastillpassning kräver utbildad personal, olycksberedskap och transporter

För- och nackdelar med att använda PortaCount för tillpassningskontroll av skyddsmask.

- + Tillförlitlig och individoberoende detektion av mängden partiklar inuti mask
- + Små läckage kan upptäckas
- + Höga tillpassningsfaktorer kan bestämmas
- + Ofarlig testaerosol
- + Testaerosol med mycket små partiklar kan användas
- + Finjustering av den personliga tillpassningen är möjlig
- + Ingen sanering av utrustning krävs efter avslutad tillpassningskontroll
- Tält eller annan avgränsad volym krävs
- Stressmomentet som uppstår vid ”skarpa test” uteblir
- Mätinstrument samt tillgång till el krävs

5.4 Skillnad gas/partiklar

FOI har i tre rapporter^{23, 24, 25} påvisat att det finns skillnader i Skyddsmask 90:s förmåga att skydda bäraren mot gas jämfört med partiklar. Detta är förväntat, eftersom gas oftast tränger igenom små öppningar i högre grad än partiklar. Utifrån de tester FOI utfört verkar det inte finnas ett tydligt samband mellan de tillpassningsfaktorer som bestäms för gas respektive partiklar för samma tillpassning och tillfälle. Detta innebär att en metod där skyddsmaskens tillpassning säkerställs baserat på penetration av partiklar inte ger en direkt indikation på bärarens skydd mot gaser. Det är dock rimligt att anta att en hög tillpassningsfaktor som bestäms för partiklar även ger bättre skydd mot gaser. FOI har genomfört försök med skyddsmask monterad på testhuvud för att skapa ett konstant läckage. Resultaten visar att skyddsfaktorn för gas ligger mycket under skyddsfaktorn för partiklar.

FOI anser det vara av stor vikt att utreda eventuella korrelationer mellan gas- och partikel-skydd, men detta kräver nya tester och försök. I nuläget kan det enbart slås fast att det finns skillnader, där gasskyddet, i princip, alltid är sämre än skyddet mot partiklar.

²³ FOI Memo 4138, Tillpassningsenhet PortaCount till Försvarsmakten (2012)

²⁴ FOI Memo 4685, Projektrapport IPE 2013 (2013)

²⁵ FOI Memo 4300, Skyddsfaktor partiklar och gas (2012)

6 Slutsatser

Som dimensionerande fall för att rekommendera en lägsta tillpassningsfaktor för andnings-skydd har arbete med containrar som gasats med metylbromid och fosfin använts. Med hänsyn till Arbetsmiljöverkets hygieniska gränsvärden, NVG och KTV, kan en bedömning av tillpassningsfaktorn göras.

Uppskattade skyddsfaktorer för fosfin och metylbromid har baserats på möjlig expone-ringskoncentration för dessa ämnen vid arbete med gasbehandlade containrar. För fosfin skulle då en önskad lägsta skyddsfaktor hamna mellan 3 000 och 5 000 och för metylbromid mellan 740 och 2 500. Därmed skulle en skyddsfaktor vid denna typ av arbete som lägst få vara 5 000.

Det kan dock finnas andra ämnen som kan kräva högre tillpassningsfaktor, eller till och med medhavd luft. Vid varje insats måste en riskbedömning göras, vilket kan ändra behovet av skyddsnivån. Dessutom måste alltid hänsyn tas till att en viss säkerhets-marginal i skyddsfaktorn hos andningsskyddet bör finnas på grund av individuella skillnader och toxicitet. När de potentiella kemikalierna är okända måste extra försiktighet iakttas, varför FOI rekommenderar en basnivå hos tillpassningsfaktorn på minst 10 000.

Högre tillpassningsfaktorer kan bestämmas med PortaCount jämfört med tårgas. Naturligt förekommande partiklar i omgivningsluften är dock inte att rekommendera som expo-nering då de varierar kraftigt i storlek, antal och typ beroende på, bland annat, tidpunkt och miljö. Det rekommenderas att genererad saltaerosol används för exponering, men i undan-tagsfall kan förbränningspartiklar från värmeljus användas. Fördelarna med PortaCount-metoden är att den är enklare att genomföra och att aerosolen är ofarlig samt enklare att hantera än tårgas. Dessutom ger PortaCount-metoden ett objektivet mätvärde av inläckaget, medan tårgasmetoden är subjektiv. Däremot ger den inte samma realistiska exponerings-miljö med medföljande stresspåslag som tårgasmetoden. Detta gör att det är bra att kom-binera tillpassningsmetoderna. Tårgastillpassning kan då genomföras mer sällan och Porta-Count-tillpassning som är enklare att utföra görs oftare.

Det finns skillnader i Skyddsmask 90:s förmåga att skydda bäraren mot gas jämfört med partiklar, eftersom gas oftast tränger igenom små öppningar i högre grad än partiklar. Däremot verkar det inte finnas ett tydligt samband mellan de tillpassningsfaktorer som bestäms för gas respektive partiklar. Detta innebär att en metod där skyddsmaskens till-passning säkerställs baserat på penetration av partiklar inte ger en direkt indikation på bärarens skydd mot gaser. Gasskyddet är dock, i princip, alltid sämre än skyddet mot partiklar. Det är dock rimligt att anta att en hög tillpassningsfaktor som bestäms för partiklar även ger bättre skydd mot gaser.

Bilaga 1. Gasningskemikalier (fumiganter)

Gasningskemikalie	CAS-nummer	Användning	Kemisk klass	Fysikaliskt tillstånd vid bruk	Kokpunkt (°C)
1,1,1-triklorethan	71-55-6	Gasning	Klorförening	Vätska	74
1,2-diklorpropan	78-87-5	Gasning, Nematicid, Förorening	Halogenerad organoförening	Vätska	95-96
1,2-diklorpropan med 1,3-diklorpropan och MITC	8066-01-01	Gasning, Nematicid	Halogenerad organoförening		
1,3-diklor-1-propen med 1,2-diklorpropan	8003-19-8	Gasning, Nematicid	Halogenerad organoförening		
1,3-diklorpropan	142-28-9	Gasning	Halogenerad organoförening		120
1,3-diklorpropan	542-75-6, 10061-01-5, 10061-02-6	Gasning, Nematicid	Halogenerad organoförening	Vätska	108
Akrolein	107-02-8	Algicid, Gasning	Aldehyd		56,84
Akrylnitril	107-02-8	Gasning, Insekticid	Nitril	Vätska	77,3
Aluminiumfosfid	20859-73-8	Gasning, Fungicid	Oorganisk förening	Fast form	
Bromcyanid	506-68-3	Gasning, Insekticid, Rodenticid	-	Vätska	61-62
Bromoetanol	540-51-2	Gasning	Bromerad alkohol		149-150
Dazomet	533-74-4	Gasning, Fungicid, Nematicid	Ospe.		
Dazomet, natriumsalt	53404-60-7	Gasning, Fungicid, Nematicid	Ospe.		
Dibromklorpropan, DBCP	96-12-8	Gasning, Nematicid	Halogenerad organoförening	Vätska	196

Gasningskemikalie	CAS-nummer	Användning	Kemisk klass	Fysikaliskt tillstånd vid bruk	Kokpunkt (°C)
Dietyldisulfid	110-81-6	Gasning	Sulfid		151 - 153
Dimetyldisulfid	624-92-0	Gasning	Sulfid		109 - 110
Etylendibromid (EDB)	106-93-4	Gasning, Nematicid	Halogenerad organoförening	Vätska	131-132
Etylendiklorid (EDC)	107-06-2	Gasning, Insekticid	Halogenerad organoförening	Vätska	83-84
Etylenoxid	75-21-8	Gasning	Alkohol/Eter	Gas	10,7
Etylformat	109-94-4	Gasning, Insekticid	Ester		54
Formaldehyd	50-00-0	Gasning, industrikemikalie	Aldehyd		-19,3
Fosfin	7803-51-2	Gasning	Fosforhydrid	Gas	-87
Fostietan	21548-32-3	Gasning, Nematicid	Organofosforförening		-
Freon 11	75-69-4	Drivmedel, Gasning, Insekticid	Halogenerad organoförening		
Freon 12	75-71-8	Drivmedel, Gasning, Insekticid	Halogenerad organoförening		
Furfural	98-01-1	Gasning	Aromatisk aldehyd		162
Kalciumcyanid	592-01-8		Oorganisk förening	Fast form	25,6
Kalciumtetratiokarbonat	-	Gasning	Oorganisk förening		
Kaliurnazid	20762-60-1	Gasning	Oorganisk förening		
Kinometionat	2439-01-2	Insekticid, Fungicid, Gasning	Ospec.		
Klorcyanid	506-77-4			Gas	13,8

Gasningskemikalie	CAS-nummer	Användning	Kemisk klass	Fysikaliskt tillstånd vid bruk	Kokpunkt (°C)
Klordinfluormetan	75-45-6	Drivmedel, Gasning, Insekticid	Halogenerad organoförening		-40,8
Kloroform	67-66-3	Lösningsmedel, Gasning	Halogenerad organoförening	Vätska	61,62
Klorpikrin	76-06-2	Gasning, Nematicid	Nitroförening	Vätska	112
Klorpikrin med blandade diklorpropener	37287-23-3	Gasning	-		
Koldioxid	124-38-9	Gasning, Insekticid, Rodenticid	Oorganisk förening		
Koldisulfid	75-15-0	Gasning, Lösningsmedel, Nedbrytningsprodukt, Nematicid	Oorganisk förening	Vätska	46,5
Koltetraklorid	56-23-5	Lösningsmedel, Gasning	Halogenerad organoförening	Vätska	76,7
Koltetraklorid med EDB & EDC	53908-27-3	Gasning, Nematicid	Halogenerad organoförening		
Koltetraklorid med EDC	8003-06-3	Gasning, Nematicid	Halogenerad organoförening		
Magnesiumfosfid	12057-74-8	Gasning, Rodenticid	Oorganisk förening	Fast form	-
Metamkalium	137-41-7	Gasning, Fungicid, Mikrobiocid, Algicid, Nematicid	Ditiokarbamat		

Gasningskemikalie	CAS-nummer	Användning	Kemisk klass	Fysikaliskt tillstånd vid bruk	Kokpunkt (°C)
Metamnatrium	6734-80-1, 137-42-8	Gasning, Herbicid, Fungicid, Mikrobiocid, Algicid	Ditiokarbamat		
Metylbromid	74-83-9	Gasning, Insekticid, Herbicid, Nematicid	Halogenerad organoförening	Gas	4,5
Metylbromid med klorpikrin	8004-09-9	Gasning, Fungicid, Nematicid	Halogenerad organoförening		
Metylenklorid	75-09-2	Lösningsmedel	Klorförening	Vätska	40
Metylformat	107-31-3	Gasning	Ester		31,50 – 31,80
Metylisotiocyanat (MITC)	556-61-6	Gasning, Insekticid, Herbicid, Nematicid, Nedbrytningsprodukt	Organisk svavelförening		119
Metyljodid	74-88-4	Gasning, Nematicid	Halogenerad organoförening		
Naftalen	91-20-3	Gasning	Aromat	Fast form	218
Natriumazid	26628-22-8	Gasning	Oorganisk förening		
Natriumtetratiokarbonat	7345-69-9	Gasning, Fungicid, Nematicid	Oorganisk förening		
N-metylditiokarbamat	-	Gasning, Herbicid, Nematicid, Fungicid	Ditiokarbamat		
Propargylbromid	106-96-7	Gasning, Nematicid	Halogenerad organoförening		88-90
Propylenoxid	75-56-9	Gasning	Epoxid	Gas	-10
Saltsyra	7647-01-0	Gasning, Fungicid, Nematicid, pH-reglerare, Herbicid	Oorganisk förening		-85,1

Gasningskemikalie	CAS-nummer	Användning	Kemisk klass	Fysikaliskt tillstånd vid bruk	Kokpunkt (°C)
Sulfurylfluorid	2699-79-8	Gasning	Oorganisk förening	Gas	-55
Svaveldioxid	7446-09-5	Gasning	Oorganisk förening	Gas	55
Tetraklorethan	79-34-5, 630-20-6	Lösningsmedel, Gasning	Halogenerad organoförening		146,5, 130,5
trans-1,3-diklorpropen	10061-02-6	Gasning	Halogenerad organoförening		112
Vinylklorid	75-01-4	Gasning	Halogenerad organoförening		-13
Väteazid	7782-79-8	Gasning	Oorganisk förening		
Vätecyanid	74-90-8	Gasning	Oorganisk förening	Vätska, gas	26

Bilaga 2. Säkl CBRN 13

2 Tårgas

Beskrivning

1. Tårgasfackla 4 (M4746-215031). – Tårgasfackla 4 får endast användas vid tillpassningskontroll av skyddsmasker samt vid C-övningar utomhus. Efter tändningen utvecklar facklan en gasaerosol.

Tårgasfackla 4 utvecklar 4 g aerosol under 5–20 sekunder. Den utströmmande tårgasen är het och har stor hastighet. En brinnande fackla kan därför förorsaka brand. Tårgasfackla 4 beskrivs i *IBOK TÅRGASFACKLA 3 och 4* (M7786-003240).

Tårgasen förorsakar retningar i luftvägarna (näsa, svalg m m) och ögonen. Retningen försvinner normalt efter några minuters vistelse i tårgasfri miljö.

Om man vistas länge i tårgas med höga koncentrationer kan hudretning uppstå. Särskilt känslig hud liksom fuktiga hudtor kan påverkas även vid låga koncentrationer.

En förnyad tillpassning får ske tidigast 15 min efter att läckage uppstått (då ögat har återfått sin normala känslighet).



Foto: Peppe Ericsson, Studio Ljusspel:

Bild 2:1 Tårgasfackla 4

Tillpassningskontroll

15. Koncentration vid tillpassningskontroll. – Vid förberedande tillpassningskontroll i provkammare ska inte koncentrationen överstiga 100 mg/m^3 .

Vid tillpassningskontroll ska övningsledaren förhandsberäkna tårgaskoncentrationen. Denna får inte överstiga 500 mg/m^3 och inte understiga 100 mg/m^3 .

16. Normvärde för tillpassningskontroll. – En lämplig begynnelsekoncentration ska ligga mellan $200\text{--}400 \text{ mg/m}^3$ (ska alltid beräknas). För att hålla rätt koncentration under hela tillpassningskontrollen kan ytterligare facklor tändas med 15–20 minuters mellanrum beroende på utsläppet från provkammaren.

Nya facklor får tändas under högst en timme, därefter ska provkammaren/tält 20 vädras ur i minst 10 min. För att fortsätta övningen ska ny begynnelsekoncentration alstras och därefter ska nya facklor tändas beroende på kammarens läckage.

I tält 20 (volym 20 m^3) ska en fackla tändas för att uppnå grundkoncentration. Därefter får en ny fackla tändas var 20:e minut. Högst tre facklor får användas under en timma.

Annan lämplig lokal eller tillfällig provkammare ska ha en volym av minst 10 m^3 .