

Studie-Utredning av sekundärexponering av brandpartiklar och PAH vid brandmannautbildning

HÅKAN WINGFORS, TOBIAS TENDEL,
KRISTINA ARNOLDSSON, ROGER MAGNUSSON



Håkan Wingfors, Tobias Tengel, Kristina
Arnoldsson, Roger Magnusson

Studie-Utredning av sekundärexponering av brandpartiklar och PAH vid brandmannautbildning

Titel	Studie-Utredning av sekundärexponering av brandpartiklar och PAH vid brandmannautbildning
Rapportnr/Report no	FOI-R--4178--SE
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2015
Antal sidor/Pages	25 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	MSB
Forskningsområde	2. CBRN-frågor och icke-spridning
FoT-område	
Projektnr/Project no	E4184
Godkänd av/Approved by	Mats Strömqvist
Ansvarig avdelning	CBRN-skydd och säkerhet

Bild/Cover: FOI/Tobias Tengel

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk, vilket bl.a. innebär att citering är tillåten i enlighet med vad som anges i 22 § i nämnd lag. För att använda verket på ett sätt som inte medges direkt av svensk lag krävs särskild överenskommelse.

This work is protected by the Swedish Act on Copyright in Literary and Artistic Works (1960:729). Citation is permitted in accordance with article 22 in said act. Any form of use that goes beyond what is permitted by Swedish copyright law, requires the written permission of FOI.

Sammanfattning

Vid brandmannautbildning utförs ett flertal heta övningar som innefattar rökdykning. Tidigare studier har visat att det finns en risk att brandlärare, elever och teknisk personal kan exponeras för brandpartiklar och associerade polycykliska aromatiska kolväten (PAH) inte bara under övningsmoment utan även före och efter övning vilket kallas sekundärexponering. I den här studien har förutsättningar för sekundärexponering undersökts där flera arbetsmoment har kunnat isoleras på MSBs övningsorter Sandö och Revinge. Studien visade att exponeringshalter i andningszon var generellt låga för brandlärare och ännu lägre för teknisk personal via inandning. Halter från areamätningar och avstrykningsprover visade att det var en kontamineringsgradient i förhållande till närheten av övningsobjekt, använd utrustning, fordon, kontaminerade larmställ och underställ. Huddeponeringsprover visade att deltagande i heta övningar innebär en ökning av halten PAH på hud men också att en direkt efterföljande dusch var effektiv för att tvätta bort PAH. Denna effekt var mindre tydlig för partikelassocierade PAH. Med hjälp av bra rutiner för tvätt av larmställ, dusch, korta vistelsetider i kontaminerade zoner samt med ändamålsenliga lokaler som underlättar sanering av personer och utrustning finns det goda förutsättningar att hålla sekundärexponeringen låg.

Nyckelord: Huddeponering, förbränningspartiklar, genombrott, hudavstryk, skyddskläder

Summary

During firefighter's training there are numerous exercises that involve live fire and smoke diving. Previous studies have shown that there is a risk of exposure to combustion particles and associated polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), not only during exercise moments but also before and after, which is denoted secondary exposure. In this study the potential for secondary exposure has been studied where several working tasks have been isolated on the MSB's exercise localities at Sandö and Revinge. The study showed that exposure concentrations in the breathing zone was generally low for instructors, and even lower for technical personnel through inhalation. Levels from area measurements and deposition samples showed that there was gradient of contamination in proportion to the proximity to exercise items, used equipment, vehicles, contaminated turn-out gear and underwear. Skin deposition samples showed that smoke diving exercises increased the level of PAHs on the skin but also that subsequent shower was efficient to remove most of the deposited PAHs. This effect was however less clear for the particle-associated PAH. With the help of good procedures and routines for washing clothes, shower, housekeeping, short residence time in contaminated zones, and with suitable premises that facilitate decontamination of personnel and equipment, there are promising preconditions to keep the secondary exposure at a low level.

Keywords: Skin deposition, combustion particles, penetration, skin swipes, protective clothing

Innehållsförteckning

1	Introduktion och syfte	7
2	Material och metod	8
3	Resultat	10
4	Diskussion och slutsatser	23
5	Referenser	24

1 Introduktion och syfte

Under senare år har medvetenheten och kunskapen om arbetsmiljörisker kopplade till exponering av brandpartiklar ökat hos svenska brandmän och detta till stor del genom projektet "Friska brandmän" (Magnusson och Hultman 2014). Detta har fått ett stort genomslag för att införa nya rutiner kring hygien vid insatser men också hur kontaminerat material tas om hand efter insatser. Nya brandstationer konstrueras och planeras efter olika kontamineringszoner allt för att minska exponering av brandpartiklar och associerade ämnen.

Vid MSB:s övningsområden vid Sandö och Revinge utbildas brandmän, räddningsledare och insatspersonal. Ett mycket brett spektrum av bränder och olycksscenarier övas för att ge en bra förberedelse för det framtida yrket. På övningsområdena arbetar fast anställda brandlärare och teknisk personal med utbildning, förberedelse och logistik kring övningarna. I en tidigare studie från 2014 benämnd "*Kartläggning av arbetsmiljörisker vid heta övningar – övningsfälten Sandö och Revinge*" (Wingfors et al 2014) utreddes förutsättningarna för exponering av brandpartiklar under övningsmoment på Sandö och Revinge. Där beräknades skyddsfaktorer för kombinationen larmställ och underställ vilka visade sig vara i området 200-1000 för ett 30-tal polycykliska aromatiska kolväten som är ämnen relaterade till brand. Detta innebär att koncentrationen är 200-1000 gånger lägre innanför larmställ och underställ än utanför. I en liknande studie från Australien hittades avsevärt lägre skyddsfaktorer (9-100) men då hade enbart larmställets skydd studerats (Kirk och Logan 2015). PAH-föreningar är en grupp kolväten som består av sammanfogade bensenringar, från två till sju ringar. Lättare PAH föreningar är mer flyktiga och förekommer främst i gasfas i luften medan tyngre PAH är svårflyktiga och associerar lättare till partiklar. Partiklarna kan i sin tur vara både luftburna och deponera på ytor vilket gör att exponeringen kan ske på flera olika sätt. Partikelstorleken kan variera från mycket små nära en brand (0.1 µm) till uppemot 1 µm.

Anledningen att studera PAH, förutom att de alltid bildas vid brand, är att de kemiskt representerar ämnen som finns i gas och partikelfas och att det finns en koppling mellan PAH och cancer som är en misstänkt sjukdomsbild hos brandmän som i övrigt betraktas som en frisk yrkesgrupp (Bofetta et al 1997). De cancerformer som ofta nämns är testikelcancer, cancer i urinblåsan och olika tumörformer kopplat till lymfsystemet. Här bör det dock understrykas att resultaten inte är helt entydiga att visa på en förhöjd cancer risk hos brandmän och det bedrivs nu mycket forskning på detta område (Ide 2014, Daniels et al 2015, Tsai et al. 2015, Ahn et al 2012). Vidare har PAH-ämnet benso[a]pyren som är klassad som H,C,R (hudpenetrerande, cancerframkallande och reproduktionsstörande) i AFS 2011:18 en särställning i Kemiska arbetsmiljörisker AFS 2014:43 (38-44 §§) där särskilda krav riktas mot verksamhet där dessa ämnen hanteras. Bland annat ska riskbedömningen dokumenteras med avseende på vilka platser där man kan bli exponerad samt vilka åtgärder som är nödvändiga för att hålla exponeringen minimal. Vidare ska det föras ett register för den personal som kan bli utsatt. Det finns också sju andra PAH (bens[a]antracen, krysen, benso[b]fluoranten, benso[k]fluoranten, indeno[1,2,3-cd]pyren, dibens[a,h]antracen, benso[ghi]perylen) som också hör till gruppen carcinogena PAH som också har inkluderats i dessa studier på Sandö och Revinge.

Data från den tidigare studien på Sandö och Revinge (Wingfors et al. 2014) visade även att exponeringsnivåer och lufthalter kunde variera mellan olika övningsmoment men också att det kan finnas risk för en betydande sekundärexponering. Med sekundärexponering menas exempelvis att man blir utsatt för dessa ämnen före och efter rökdykningsmomentet via inandning av förorenad luft och hudkontakt med kontaminerat material. Även i internationella forskningsrapporter finns det rapporterat att sekundärexponering kan utgöra en stor del av den totala exponeringen vid övningar och olycksbränder (Baxter et al. 2014, Fent et al 2014). Detta är bevisat genom uppmätta halter i arbetslokaler, i andningszon, via huddepositionsprover och som metaboliter av polycykliska aromatiska kolväten i urinprover där olika arbetsmoment har kunnat isoleras. Eftersom friskluftsmask (skyddsfaktor >10 000) används under rökdykningsmomenten är andningsvägarna då helt skyddade. Däremot kan larmställ, utrustning, fordon, områden runt övningsobjekt, utrymmen för materialvård, omklädningsrum samt tvättutrymmen komma att bli så kontaminerade att dessa i sig utgör en källa för ytterligare exponering både via förångning och uppvirvling av partiklar men också via direktkontakt så att exponering kan ske både via inandning och/eller hudupptag.

Den här studien ämnar att utreda om det finns en risk att sekundärexponering kan ske vid ett antal arbetsmoment och för olika personalkategorier under normala utbildningssituationer vid MSB:s övningsområden (Revinge och Sandö). Om så är fallet är syftet att kunna föreslå exponeringsreducerande åtgärder och att öka medvetenheten hos personal vid MSB:s övningsområden kring arbetsmoment där sekundärexponering kan ske. Det övergripande målet med undersökningen är att ta fram ett underlag för att effektivt kunna motivera till och att hålla PAH-exponeringen hos MSB:s personal på en låg nivå.

2 Material och metod

Försöksupplägg: I diskussion med personal på övningsområdena valdes följande delstudier och arbetsmoment ut för närmare undersökning:

1. Personburna mätningar i andningszon på teknisk personal som arbetar med att förbereda övningar, återställa objekt, rengöra utrustning och tvätta kläder under en vanlig övningsdag. Här valdes sex personer ut, tre vid respektive övningsområde.
2. Personburna mätningar i andningszon på brandlärare som följde med sin utbildningsgrupp under hela dagen men inte själva genomförde rökdykning. Här valdes fem personer ut (fyra vid Sandö samt en vid Revinge).
3. För att studera om det förekommer en signifikant deponering av brandpartiklar på hud för elever och brandlärare som genomför rökdykning togs hudavstrykningsprover före och efter en arbetsdag på frivilliga brandlärare och elever vid Sandö. Här valdes 12 personer ut plus två kontroller.
4. För att studera effekten av direkt efterföljande dusch togs även hudavstrykningsprov efter dusch för de som deltog i ovanstående punkt.
5. Stationär provtagning genomfördes på ett antal platser för att studera om det förekommer förhöjda halter i utrymmen där personal vistas före och efter övning och där andningsskydd normalt inte används. Lokaler som valdes ut varierade från objekt som anses vara rena t.ex. bibliotek och fikarum till objekt där exponering antas kunna ske t.ex. vagnhall och övningsobjekt. Här valdes 14 objekt ut (åtta vid Revinge samt sex vid Sandö)

6. För att studera allmän kontaminering av brandpartiklar i lokaler togs avstrykningsprover på ett antal ytor (~300 cm²). Avstrykningsprov från 11 lokaler analyserades (fyra i Sandö samt sju i Revinge)
7. För att utreda specifikt om bärandet av använda larmställ kan avge brandpartiklar togs både luft och hudavstrykningsprover på tre personer under en normal arbetsdag när rökdykning inte genomfördes.
8. Analyser genomfördes på tvättade och otvättade larmställ för att studera effekten av tvätt.
9. Undersökning av genombrott av fina partiklar på en ny typ av kolunderställ jämfört med befintligt underställ.

Provtagning (Sandö): Två utbildningsdagar (13-14 april 2015) valdes ut då rökdykning var inplanerad för en grupp SMO-studenter. Dagen inleddes med att hudavstrykningsprov togs före övningen. Avstrykningsprovet bestod av ett rent glasfiberfilter (Ø=47 mm) med en tillsats av 500 µl ren aceton vilket ströks på en yta av ca 30 cm² på ena sidan av nacken. Efter övningsdagen togs ett nytt hudavstrykningsprov före dusch vilket åtföljdes av ett nytt avstrykningsprov efter dusch på andra sidan av nacken än den som tidigare använts.

Sju kalibrerade luftprovtagningspumpar (3 l/min med Gilian 5000 och SKC Aircheck 2000) utrustade med filter och adsorbenter placerades på brandlärare (fyra) samt teknisk personal (tre). Stationär provtagning genomfördes med samma metodik men också med pumpar med högre pumpkapacitet (5 l/min SKC-Leland). De personburna provtagningarna genomfördes under ca 8 h och de stationära under ca 24 h. Avstrykningsprover på ytor togs på samma sätt som hudavstrykningar men en större yta provtogs (~300 cm²).

Provtagning (Revinge): Två utbildningsdagar (15-16 september 2015) valdes ut då det föregick verksamhet vid anläggningen. Luftprovtagning (stationär samt personburen) genomfördes enligt samma metodik som ovan. Fyra personburna mätningar samt åtta stationära mätningar utfördes. Avstrykningsprover på ytor utfördes i sju olika lokaler enligt samma metodik som vid Sandö.

Provtagning (FOI): På FOI utfördes ett försök där tre personer bar otvättade larmställ under en arbetsdag. Först togs ett hudavstrykningsprov enligt tidigare beskrivning och sedan placerades dubbla personburna pumpar innanför dräkt med filter och adsorbent. Arbetsdagen avslutades med att pumparna stängdes av och ett nytt hudavstrykningsprov togs.

Analys: Prover (filter och adsorbenter) spikades med 100 ng internstandard (Naphalen-d₈, Acenaphthene-d₁₀, Fenantren-d₁₀, Krysen-d₁₂, Perylen-d₁₂) och extraherades i ultraljudsbad med 5 ml diklormetan. Extraktet överfördes till en ren vial och extraktionen ovan upprepades 2 gånger vilket gav 15 ml extrakt. De kombinerade extrakten indunstades med ett flöde av ren kvävgas till 500 µl varpå 1 ml hexan tillsattes och indunstningen fortsatte till ca 200 µl återstod. Dessa extrakt renades och fraktionerades på en silikakolonn (10 % deaktiverad) där en PAH-fraktion erhöles vilken indunstades i toluen till en slutvolym av 50 µl. Dessa fraktioner analyserades med GC-MS med selektiva jonspår (SIM) enligt tidigare protokoll (Wingfors et al. 2011) och halter bestämdes mot certifierade referensmaterial för PAH-analys (SRM 1491).

Analys av kläder: För att undvika att förstöra dyra larmställ sattes en icke-destruktiv analysmetod upp för att analysera mängden PAH i tvättade och otvättade larmställ. Genom att med ett buntband avskärma nedre delen av ärmen kunde en begränsad del extraheras i en bägare med 200 ml diklormetan. Extraktet spikades med 200 ng av samma internstandard som användes för filter och adsorbenter och ovanstående upparbetning och analys genomfördes. (Buntbandet avlägsnades och änden blev något avfärgad av lösningsmedlet).

Genombrott av partiklar på underställ: En aerosol av paraffinolja genererades med hjälp av en nebulisator till koncentrationer mellan $1,5\text{--}80 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ för storleksklasserna 0,09-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3, 0,3-0,4, 0,4-0,5, 0,5-0,6, 0,6-0,7, 0,7-0,8 och 0,9-1,0 μm . Dessa storleksklasser mättes med en partikelräknare baserad på laserteknik (LAS-X) på utsida och insida av underställ av befintlig typ och en ny variant baserad på aktivt kol. Båda typerna av underställ tillhandahölls av MSB.

3 Resultat

Analysresultaten presenteras i form av luftkoncentration (ng/m^3) eller normaliserat mot yta (cm^2). I tabell 1 ges resultaten från lärarnas personburna mätningar av PAH-ämnena uppmätt i andningszonen under arbetsdagen (5h-8h). Analysen omfattar 24 olika PAH-ämnena och för att underlätta läsningen av tabellerna har **summa PAH satts i fetstil** i tabellen för att kunna få en snabb överblick av resultaten. Vidare har summan av de gas- och partikelassocierade PAH (**g-PAH och p-PAH**) räknats ut för att få en bild av delen i gas och partikelfas. PAH i gasfas (Naftalen- $\rightarrow$ 2,3,5-trimetylnaftalen) är lättare och flyktigare än de tyngre ämnena som gärna binder till partiklar.

Benso[a]pyren är en av åtta föreningar i gruppen som är med på listan över carcinogena PAH. Föreningen är den mest studerade av PAH och används ibland som indikator för hela gruppen. Den är även den enda föreningen där man fastställt ett hygieniskt gränsvärde för PAH ($2000 \text{ ng}/\text{m}^3$). Sett till detta gränsvärde underskreds alla mätningar med stor marginal då det högsta värdet för Lärare 1 ($210 \text{ ng}/\text{m}^3$) utgör ca 1/10 av gränsvärdet. Det finns även ett korttidsvärde som avser högsta tillåtna lufthalt i andningszon under en 15 minuters period som är på $20\,000 \text{ ng}/\text{m}^3$ vilket också beräkningsmässigt förefaller ha underskridits om hela dagens exponering hade skett under 15 minuter.

I dessa försök är det PAH i gasfas som är den största andelen, mer än 75 % i de flesta fallen medan de tyngre PAH, varav vissa är carcinogena, representerar den mindre fraktionen sett till summan av alla PAH.

Tabell 1. Luftkoncentration vid personburna mätningar för brandlärare i ng/m³.

Substans	Lärare 1	Lärare 2	Lärare 3	Lärare 4	Lärare 5
Naftalen	220	310	770	130	6,3
2-metylnaftalen	600	120	270	100	<4,7
1-metylnaftalen	720	87	230	73	<3,1
Bifenyl	6600	150	530	100	26
2,6-dimetylnaftalen	940	130	59	65	<2,9
Acenaftalen	3000	230	1500	230	11
Acenaften	190	21	98	20	10
2,3,5-trimetylnaftalen	92	300	6,4	25	2,5
Fluoren	1400	130	690	170	32
Fenantren	1100	130	770	200	24
Antracen	530	37	280	58	4,6
1-metylfenantren	170	4,3	56	75	1,4
Fluoranten	870	60	750	96	6,6
Pyren	750	59	620	64	7,2
Benz[a]antracen *	190	12	110	14	1,2
Krysen*	130	11	84	10	1,1
Benso[b]fluoranten*	230	23	170	21	1,6
Benso[k]fluoranten*	81	5,8	44	5,8	0,44
Benso[e]pyren	84	8,2	58	7,5	0,73
Benso[a]pyren*	210	15	110	16	0,59
Perylen	24	1,7	13	1,6	0,10
Indeno[1,2,3-cd]pyren*	87	7,2	51	8,8	0,80
Dibens[a,h]antracen*	12	0,91	6,8	1,1	0,19
Benso[ghi]perylene*	64	3,9	26	6,5	1,2
Sum PAH	18000	1600	7300	1500	150
p-PAH	2700	210	2000	250	84
g-PAH	16000	1400	5300	1200	65

* Ämnen vilka finns med på listan över carcinogena PAH

Lufthalterna för den tekniska personalen (tabell 2) visar på ännu lägre halter i andningszon jämfört mot gränsvärdet för Benso[a]pyren. De är i storleksordningen 100-1000 gånger under gränsvärdet för en arbetsdag.

Tabell 2. Luftkoncentration vid personburna mätningar för teknisk personal i ng/m³.

Substans	Teknisk 1	Teknisk 2	Teknisk 3	Teknisk 4	Teknisk 5	Teknisk 6
				R1	R2	R4
Naftalen	80	35	57	26	23	6,6
2-metylnaftalen	130	31	31	12	15	5,7
1-metylnaftalen	100	24	25	7,0	9,0	3,3
Bifenyl	930	120	56	97	130	36
2,6-dimetylnaftalen	150	66	17	5,1	5,7	<2,9
Acenaftalen	260	130	110	27	46	13
Acenaften	11	10	13	5,5	7,7	5,6
2,3,5-trimetylnaftalen	85	2,2	0,23	7,2	11	2,5
Fluorene	190	110	94	43	74	26
Fenantren	180	120	82	73	100	57
Antracen	61	36	17	21	32	10
1-metylfenantren	61	41	15	8,6	12	3,3
Fluoranten	85	39	15	23	26	13
Pyren	150	35	12	21	24	14
Benz[a]antracen *	11	5,2	2,3	5,9	7,6	1,3
Krysen*	8,9	4,5	1,8	6,5	8,4	1,3
Benso[b]fluoranten*	15	8,7	3,9	6,5	7,8	1,8
Benso(k)fluoranten*	3,9	2,3	1,3	1,9	1,9	0,53
Benso[e]pyren	6,3	3,4	1,6	3,0	3,6	0,87
Benso[a]pyren*	11	5,5	2,4	3,7	4,1	0,91
Perylen	1,2	0,53	0,21	0,61	0,69	0,13
Indeno[1,2,3-cd]pyren*	3,9	2,4	0,93	2,7	3,1	0,97
Dibens[a,h]antracen*	0,51	0,36	0,12	0,51	0,95	0,97
Benso[ghi]perylene*	3,5	1,7	0,9	3,1	3,4	1,7
Sum PAH	2500	830	560	410	560	210
p-PAH	300	110	43	220	310	130
g-PAH	2200	730	520	190	250	75

* Ämnen vilka finns med på listan över carcinogena PAH

I tabell 3 återfinns resultaten från de stationära 24 h-mätningarna i olika lokaler vid Sandö. Personal vistades i lokalerna under tiden för mätningarna förutom i övningslokalen Källaren på Lillön vilken inte var i drift under tiden för mätningarna. De är listade så att platsen med lägst koncentration är till vänster i tabellen och högst till höger. Under provtagningen vid ett av de kalla objekten, Gröna kulissen, startades en övning i ett rum bredvid så att brandgaser och brandpartiklar trängde in i rummet där provtagning skedde under ca 40 minuter av de totalt 24 h som mätningen pågick. Nu är inte den mätningen representativ för ett kallt objekt men visar att halter kan snabbt stiga till höga nivåer i ett närområde.

Tabell 3. Luftkoncentrationer av PAH i olika utrymmen vid Sandö uttryckt i ng/m³.

Ämne/prov	Bibliotek	Fikarum	Tvätt-hall	Vagn-hall	Källaren Lillön	Omklädningsrum larmstall	Gröna kulissen ^a
Naftalen	20	49	14	1600	1000	4800	21000
2-metylnaftalen	5,5	18	7	1700	640	2600	26000
1-metylnaftalen	4,1	14	6,3	1200	640	2100	2100
Bifenyl	14	36	21	1200	3600	4900	4300
2,6-dimetylnaftalen	5,8	9,5	4,1	890	280	640	310
Acenaftalen	10	43	74	68	5700	1800	2800
Acenaften	2,4	9	7,6	9	500	130	170
2,3,5-trimetylnaftalen	3,8	3,8	2,2	43	18	63	
Fluorene	14	45	110	94	2600	1100	1200
Fenantren	26	64	380	90	220	1100	1900
Antracen	3,2	8,9	120	19	720	320	620
1-metylfenantren	17	23	15	5	68	32	75
Fluoranten	6,9	15	59	17	200	150	1500
Pyren	6,2	9,7	43	15	140	97	1300
Benz[a]antracen *	1,8	3,2	1,4	0,92	1,5	1,4	320
Krysen*	1,1	2,2	1,2	0,79	1,4	1,3	240
Benso[b]fluoranten*	2,6	6,6	1,8	1,3	0,84	0,58	360
Benso(k)fluoranten*	0,6	2	0,43	0,28	0,23	0,15	90
Benso[e]pyren	0,99	2,1	0,64	0,66	0,51	0,27	150
Benso[a]pyren*	2,0	4,3	1,1	1,1	0,33	0,39	390
Perylen	0,15	0,38	0,13	0,12	<0,009	0,048	44
Indeno[1,2,3-cd]pyren*	0,76	1,8	0,54	1,1	0,17	0,43	320
Dibens[a,h]antracen*	0,22	0,22	0,064	0,14	<0,01	0,065	38
Benso[ghi]perylene*	0,56	1,3	0,4	1,5	0,13	0,42	300
Sum PAH	150	370	870	6900	18 000	20 000	66 000
p-PAH	24	49	110	40	340	250	5100
g-PAH	120	320	760	6800	18000	20000	61 000

* Ämnen vilka finns med på listan över carcinogena PAH, ^aI Gröna kulissen pågick en brandövning i ett rum bredvid under 40 minuter av de 24 h.

Biblioteket och fikarummet vid Sandö visar på lägst koncentration av PAH vilket är logiskt då personal med kontaminerade kläder normalt inte ska uppehålla sig där. Därefter kommer lokaler med förhöjda nivåer, i jämförelse med rena objekt, där personal arbetat under dagen. Lättflyktiga PAH är den största koncentrationen för alla objekt och jämfört med det enda hygieniska gränsvärde för PAH som finns (Benso[a]pyren 2000 ng/m³) så är uppmätta värden mycket låga sett till tyngre PAH.

Att lärarnas omklädningsrum uppvisar högst halter (sett till summan av PAH) visar att larmställen blir kraftigt kontaminerade vid övningar. Trots att koncentrationerna för tyngre PAH är låga, och betydligt under gränsvärdet, vore det önskvärt att försöka förbättra miljön i lokalen och få ner den totala koncentrationen PAH.

Resultaten från de stationära 8h-mätningarna i olika lokaler vid Revinge presenteras i tabell 4. Personal vistades i lokalerna under tiden för mätningarna. De är listade så att platsen med lägst koncentration är till vänster i tabellen och högst till höger.

Tabell 4. Luftkoncentrationer av PAH i olika utrymmen vid Revinge uttryckt i ng/m³.

Ämne/prov	Lektionssal	Omklädnings- rum	Kläd- mottagning	Vagnhall	Maskvård	Verkstad	Service förråd	Holland Vehicle
Naftalen	20	13	3,6	15	37	63	54	33
2-metylnaftalen	7,0	7,0	3,0	12	32	68	50	21
1-metylnaftalen	3,6	4,4	1,6	6,3	15	31	23	14
Bifenyl	20	28	14	40	80	65	140	190
2,6-dimetylnaftalen	5,2	2,2	2,2	4,8	11	30	25	9,1
Acenaftylen	0,51	6,3	1,9	8,8	10	17	10	100
Acenaften	0,98	2,0	3,6	4,6	5,6	6,3	9,7	6,3
2,3,5-trimetylnaftalen	1,2	0,96	2,1	2,6	3,0	8,8	14	3,3
Fluorene	3,0	8,9	16	18	23	31	39	74
Fenantren	4,3	9,6	28	21	42	39	46	71
Antracen	0,22	1,2	2,3	2,8	6,6	4,1	4,1	18
1-metylfenantren	0,25	0,41	1,7	1,3	2,0	4,1	2,5	3,0
Fluoranten	<0,37	1,3	3,4	3,3	5,1	5,4	3,9	13
Pyren	<0,60	1,3	2,5	3,5	4,5	4,4	4,3	16
Benz[a]antracen *	0,12	0,36	0,43	0,62	0,17	0,44	0,32	2,5
Krysen*	<0,048	0,20	0,48	0,52	0,10	0,40	0,18	2,5
Benso[b]fluoranten*	<0,019	0,37	0,44	0,63	0,038	0,52	0,20	3,6
Benso(k)fluoranten*	<0,016	0,11	0,13	0,17	0,023	0,18	0,072	0,92
Benso[e]pyren	<0,071	0,16	0,17	0,29	0,094	0,30	0,11	1,9
Benso[a]pyren*	<0,011	0,23	0,24	0,36	0,021	0,41	0,17	2,1
Perylen	<0,009	0,060	0,056	0,081	<0,009	0,089	0,044	0,37
Indeno[1,2,3-cd]pyren*	<0,020	0,20	0,19	0,30	0,028	0,50	0,15	2,1
Dibens[a,h]antracen*	0,084	0,066	0,034	0,13	0,41	0,11	0,038	0,24
Benso[ghi]perylene*	<0,015	0,30	0,33	0,47	0,034	1,7	0,28	3,5
Sum PAH	67	88	89	150	280	380	420	590
p-PAH	9,1	25	57	53	83	92	100	210
g-PAH	58	63	32	94	200	290	320	380

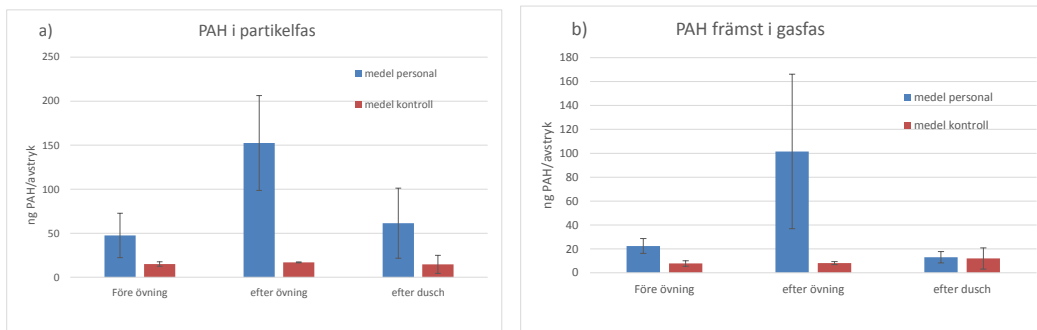
* Ämnen vilka finns med på listan över carcinogena PAH

Resultaten från Revinge (tabell 4) uppvisar samma mönster som mätningarna vid Sandö. Låga halter detekteras i lokaler som förväntas vara rena som t.ex. lektionssalar medan förhöjda koncentrationer uppmäts i lokaler där man arbetar med kontaminerade arbetsställ etc. Jämfört med det enda hygieniska gränsvärde för PAH som finns (Benso[a]pyren 2000 ng/m³) så är alla uppmätta värden mycket låga.

Det ska tilläggas att omklädningsrummet i Revinge (tabell 4) är ett omklädningsrum för kläderna man har före larmstället. Mätvärdena är följaktligen inte direkt jämförbara med omklädningsrummet vid Sandö (tabell 3) där smutsiga larmställ förvaras. Det är trots detta intressant att visa på minskningen i koncentration mellan de två olika lokalerna, en minskning av den totala koncentrationen PAH med 200 gånger genom att man lämnar ställen i ett annat rum innan man går till omklädningsrummet.

Det är önskvärt att man, för att få ner koncentrationer av PAH, om möjligt flyttar förvaring/omklädning av använda larmställ till en separat byggnad så att man genom detta isolerar dem från rena miljöer som t.ex. fikarum/lunchrum. Vid Revinge har man löst problemet med kontaminerade larmställ genom att larmstället hängs upp i en separat byggnad innan man går in i omklädningsrummet, beläget i byggnaden bredvid. Detta är en lösning man kan överväga på övningsområdet på Sandö.

PAH-ämnen har visats vara hudpenetrerande i flera studier varpå det förutom att utföra luftmätningar också är intressant att studera de mängder som kan deponera på hud under olika arbetsmoment. För de tolv stycken elever som deltog i en rökdykningsutbildning analyserades PAH jämfört med två personer som ej deltog i övningsmomentet. Huddeponeringsprover finns redovisade i för ämnesgruppen partikelassocierade PAH i figur 1a och gasassocierade PAH i figur 1b i enheten ng/avstryk som medelvärden ($\pm$ standardavvikelse) för övningsdeltagare och kontrollgrupp. Halten av PAH i avstrykningsproven ökade signifikant efter övningen. Duschen har en positiv effekt på att minska halten partikelbundna PAH och minskningen beräknas till att vara 87 %. För de ämnen som återfinns i gasfas var duschen om än mer effektiv och halterna verkade minska till en lägre nivå än de var före övningen. Detta kan tyda på att det fanns en begynnelseexponering från larmställerna redan innan provtagningen.



Figur 1 a och b. Hudavstrykningar av partikelbundna [a] och gasassocierade (b) PAH före övning, efter övning samt efter dusch på tolv frivilliga elever. Kontrollpersoner deltog ej i övning men var på området.

Avstrykning av arbetsytor i olika lokaler är inte ett mått på exponering men kan visa på en relativ kontamineringsgrad mellan lokaler. I tabell 5 ges koncentrationer i form av dubbelprover för ett antal arbetsytor vid Sandö. I dessa prover är det de partikelbundna PAH som dominerar. Detta visar att ämnen i gasfas, i större utsträckning, ventileras bort över tid till skillnad från partikelburna PAH.

Tabell 5. Avstrykningsprover provtagna i olika lokaler vid Sandö uttryckt i ng/yta (300 cm²).

Substans	Lunchrum		Omklädn.rum larmstall		Kontor vid tvätthall		Bord tvätthall#	
Naftalen	32	17	57	64	83	35	36	50
2-metylnaftalen	1,2	2,3	17	13	14	6,9	9,5	13
1-metylnaftalen	1	1,6	11	8,5	10	4,5	6,5	9
Bifenyl	22	48	65	39	28	14	17	10
2,6-dimetylnaftalen	0,62	0,71	3,4	2,2	3	2,6	3,3	4
Acenaftalen	2,5	5,6	48	48	62	40	45	68
Acenaften	0,3	0,47	3	2,9	3,4	2,4	2,8	4
2,3,5-trimetylnaftalen	0,12	0,11	0,37	0,29	0,64	0,68	0,6	0,8
Fluorene	3	4,5	45	39	56	46	42	58
Fenantren	19	23	270	270	390	240	370	420
Antracen	3,7	7,4	70	83	100	54	110	110
1-metylfeantren	1,9	2,3	1,8	1,8	1,8	2,8	2,3	2,3
Fluoranten	21	34	360	410	180	250	620	720
Pyren	14	29	310	360	130	210	590	640
Benz[a]antracen *	3,3	8,9	76	120	70	65	170	180
Krysen*	4,6	7,9	77	98	79	79	200	230
Benso[b]fluoranten*	12	20	170	250	310	260	440	560
Benso(k)fluoranten*	4,8	4,8	47	68	72	67	84	140
Benso[e]pyren	6,5	7,5	58	85	110	88	140	170
Benso[a]pyren*	3,4	11	95	160	150	150	180	190
Perylen	1,9	0,92	11	18	19	18	22	21
Indeno[1,2,3-cd]pyren*	2,7	5,9	57	88	99	91	130	100
Dibens[a,h]antracen*	0,3	0,68	6,7	10	11	11	15	14
Benso[ghi]perylene*	2	4,3	40	61	73	61	92	71
Sum PAH	160	250	1900	2300	2000	1800	3300	3800
p-PAH	77	140	1300	1700	1300	1400	2700	3000
g-PAH	87	110	590	570	750	440	650	750

Avstrykningsprovet från lunchrummet visar på låga nivåer av PAH även om det kan vara svårt att relatera detta värde utan en bra referens. Om man däremot jämför det mot omklädningsrummet där folk hänger av sig smutsiga larmställ ser man en tiofaldig ökning i koncentrationen av partikelburna PAH. Kontoret i anslutning till tvätthall där man förvarade kommunikationsutrustning visade på liknande nivåer som i omklädningsrummet medan ytterligare en ökning uppmättes för bordet i tvätthallen jämfört med kontoret (dubbla koncentrationen).

Partikelburna PAH vilka är bundna/stationära på en yta är inte hälsovådliga så länge dom inte virvlas upp i luften och inandas eller exponeras mot huden. Eftersom förhöjda nivåer registrerades i ett kontor där personal sitter och arbetar finns det dock skäl att även i fortsättningen vara noggrann med att torka av dessa ytor kontinuerligt.

Resultat från motsvarande avstrykningsprov för Revinge presenteras i tabell 6.

Tabell 6. Avstrykningsprover provtagna i olika lokaler vid Revinge uttryckt i ng/yta (300 cm²).

Substans	Kläd- hantering	Lunchrum	Maskvård	Omklädnings- rum (elever)	Rum (smutsiga elev ställ)	Verkstad	Radio- apparater [#]
Naftalen	8,7	8,9	4,0	19	30	49	130
2-metylnaftalen	2,4	2,9	2,5	4,5	11	62	17
1-metylnaftalen	1,1	1,5	1,4	2,3	6,0	34	10
Bifenyl	5,2	26	7,8	33	110	78	170
2,6-dimetylnaftalen	0,74	1,3	1,0	1,3	3,3	21	5,2
Acenaftylen	0,34	0,99	0,95	3,6	18	7,5	44
Acenaften	0,83	1,5	0,34	0,39	1,9	0,95	2,6
2,3,5-trimetylnaftalen	0,074	0,21	0,38	0,25	0,71	4,5	0,74
Fluorene	1,0	1,3	5,4	3,4	18	11	31
Fenantren	8,0	6,2	47	18	93	53	180
Antracen	0,98	1,2	4,9	4,3	19	10	11
1-metylfenantren	1,7	1,2	4,3	2,1	9,4	42	16
Fluoranten	7,3	5,0	24	16	80	61	170
Pyren	6,2	4,4	24	16	79	75	170
Benz[a]antracen *	0,79	1,3	1,2	6,9	22	24	45
Krysen*	5,6	3,5	3,6	10	28	41	110
Benso[b]fluoranten*	3,1	4,8	0,32	14	40	39	130
Benso(k)fluoranten*	0,82	1,0	0,093	2,7	8,3	23	27
Benso[e]pyren	1,2	1,5	2,2	6,2	15	30	53
Benso[a]pyren*	0,76	0,91	1,1	7,0	16	12	83
Perylen	0,28	0,35	0,78	1,2	2,7	1,8	9,8
Indeno[1,2,3-cd]pyren*	0,83	0,62	1,4	4,1	9,5	6,6	42
Dibens[a,h]antracen*	<0,11	0,12	0,12	0,57	1,3	1,6	2,9
Benso[ghi]perylene*	0,95	0,78	1,7	5,3	11	20	53
Sum PAH	59	77	83	180	630	710	1500
p-PAH	40	34	65	120	450	450	1100
g-PAH	19	43	18	60	180	260	380

*Ämnen vilka finns med på listan över carcinogena PAH. # Osäkra mätvärden för PAH i gasform för detta prov (naftalen->2,3,5-trimetylnaftalen)

Vid Revinge observeras jämförbara mätdata mot Sandö. Avstrykningsprovet från klädhantering, lunchrum och maskvård visar på låga nivåer av PAH. En liten förhöjning uppmäts i omklädningsrummet för elever, omkring dubbla koncentrationen med avseende på tyngre PAH medan rummet för smutsiga larmställ (elever) även här har en förhöjd nivå med omkring 10 ggr koncentrationen.

Högsta koncentrationen registreras för avstrykningsprover från radioapparater, dubbla koncentrationen jämfört med verkstaden och rummet för smutsiga ställ (med avseende på p-PAH).

I tabell 7 ges luftkoncentrationer för två replikat av personburna mätare placerade innanför dräkt under en arbetsdag (7,5 h). Det är tydligt att ställen avger PAH till luften både i form av gas och partikelfas.

Tabell 7. Luftkoncentrationer innanför dräkt (ng/m³)

Substans	A1	A2	B1	B2	C1	C2
Naftalen	130	54	130	150	160	200
2-metylnaftalen	170	69	160	160	150	170
1-metylnaftalen	160	63	170	150	140	160
Bifenyl	440	200	360	540	430	450
2,6-dimetylnaftalen	210	84	210	180	190	150
Acenaftalen	2700	1200	2800	3400	2900	3500
Acenaften	150	68	160	180	160	180
2,3,5-trimetylnaftalen	170	63	140	130	220	150
Fluoren	2100	930	1300	1500	1700	1600
Fenantren	2100	1600	910	830	720	850
Antracene	660	470	330	260	210	250
1-metylfeantren	74	51	25	20	20	24
Fluoranten	310	150	140	110	34	59
Pyren	220	110	96	82	25	43
Benz[a]antracen *	12	6,5	0,63	1,3	1,2	1,2
Krysen*	8,6	4,6	0,49	0,72	0,79	0,65
Benso[b]fluoranten*	18	9,9	1,2	0,99	1,3	1
Benso(k)fluoranten*	4,5	2,5	0,87	0,21	0,4	0,29
Benso[e]pyren	6,2	3,6	0,48	0,71	0,75	0,56
Benso[a]pyren*	13	7,3	1,7	1,2	1,0	0,73
Perylen	0,77	0,44	0,96	1,1	0,22	0,47
Indeno[1,2,3-cd]pyren*	6,3	3,8	1,2	1,1	0,6	0,41
Dibens[a,h]antracen*	0,98	1,6	<0,01	3,5	2,8	1,1
Benso[ghi]perylene*	4,8	3,3	1,3	0,21	0,69	0,44
Summa PAH	9600	5100	7000	7700	7100	7800
g-PAH	9600	5100	7000	7700	7100	7800
p-PAH	76	44	8,8	11	9,8	6,9

* Ämnen vilka finns med på listan över carcinogena PAH

Det togs även avstrykningsprover på hud under denna arbetsdag vilket ger ett mått på vad som deponeras på huden genom att bära ett larmställ under en arbetsdag. Dessa resultat presenteras i tabell 8. Halterna av partikelbundna PAH har ökat med drygt tio gånger jämfört med nollprovet som togs före ställen togs på. Eftersom samma metodik användes som för avstrykningsproverna som togs på de tolv frivilliga i rökdykningsutbildningen kan provresultaten jämföras. Det visar sig att medelvärdet (86 ± 55 ng/avstryk) för att bära ett otvättat ställ är nästan i nivå vad den gruppen hade i proverna efter övning (152 ± 54 ng/avstryk).

Tabell 8. Koncentrationer av PAH på hudyta (ng/30 cm²)

Substans	A före	A efter	B före	B efter	C före	C efter
Naftalen	5,2	83	14	20	3	4,1
2-metylnaftalen	1,1	10	1,3	2,2	0,89	2,3
1-metylnaftalen	0,56	10	3	3,3	0,94	2,4
Bifenyl	86	450	120	130	64	64
2,6-dimetylnaftalen	0,91	9,4	15	8	1,2	4,1
Acenaftylen	0,39	66	0,45	26	0,17	40
Acenaften	1,5	7,3	5,7	6,8	1,4	1,8
2,3,5-trimetylnaftalen	0,15	0,22	0,20	1,1	0,23	1,3
Fluorene	0,8	52	1,4	22	1,3	29
Fenantren	2,3	68	1,3	23	3,3	37
Antracen	0,28	14	0,19	7,5	0,29	13
1-metylfenantren	14	40	21	30	17	19
Fluoranten	1	94	0,43	19	1,3	19
Pyren	0,75	0,42	0,37	14	1,2	16
Benz[a]antracen	0,31	8,3	0,35	3	0,45	2,4
Krysen*	0,14	7,9	0,2	2,1	0,4	1,4
Benso[b]fluoranten*+	3,3	20	0,51	7	1,1	6,9
Benso(k)fluoranten*						
Benso[e]pyren+	1,7	10	1,6	3,7	0,65	3
Benso[a]pyren*+						
perylene						
Indeno[1,2,3-cd]pyren*	0,090	1,4	<0,03	0,3	0,14	0,78
Dibens[a,h]antracen*	2,9	4,6	<0,11	2,1	<0,11	6,1
Benso[ghi]perylene*	0,08	2,7	0,037	0,71	0,077	0,46
Summa PAH	120	1500	190	330	99	270
p-PAH	10	150	3,5	52	5,3	56
g-PAH	110	1300	180	280	93	220

* Ämnen vilka finns med på listan över carcinogena PAH

Larmställen extraherades och analyserades för deras PAH-innehåll för att studera effekten av tvätt. Ställen var utvalda av tvätteripersonal för att utgöra ett representativt urval av ställ. Det var också en ganska stor spridning i halter på både tvättade och otvättade ställ men utifrån dessa resultat ger tvätten en reningseffekt på ungefär 90 %.

Tabell 9. PAH-resultat från extraherade larmställ uttryckt som µg/prov, Som metodblank extraherades och analyserades en otvättad labbrock med samma metodik.

Ämne	Tvättat µg/ prov	Tvättat µg/ prov	Tvättat µg/ prov	Tvättat µg/ prov	Otvättat µg/ prov	Otvättat µg/ prov	Otvättat µg/ prov	Labrock µg/ prov
naftalen	3,6	0,31	0,31	0,34	1,5	4,0	1,7	<0,007
2-metylnaftalen	0,91	0,092	0,053	0,092	0,59	4,1	1,0	<0,013
1-metylnaftalen	0,42	0,029	0,037	0,044	0,39	1,5	0,94	<0,005
Bifenyl	2,0	0,14	0,13	0,17	1,4	3,9	3,4	<0,002
2,6-dimetylnaftalen	0,24	0,039	0,016	0,03	0,23	0,38	0,37	<0,003
Acenaftalen	4,0	0,31	0,40	0,72	10	35	48	<0,002
Acenaften	0,20	0,014	0,015	0,032	0,54	2,1	2,9	<0,001
2,3,5-trimetylnaftalen	0,03	0,0018	0,0080	0,0046	0,090	0,074	0,14	<0,008
Fluorene	34	0,34	0,37	0,64	6,4	24	40	<0,006
Fenantren	21	7,2	7,1	7,0	40	94	130	0,017
Antracen	2,6	1,9	2,2	2,0	13	34	41	<0,007
1-metylfenantren	1,8	0,61	0,65	0,76	4,7	9,4	9,3	<0,005
Fluoranten	35	13	11	12	120	190	420	0,012
Pyren	35	13	10	11	120	180	410	0,009
Benz[a]antracen *	15	5,1	3,5	4,0	46	61	140	0,033
Krysen*	15	5,7	3,9	4,4	44	57	120	<0,005
Benso[b]fluoranten*	22	10	8,0	6,1	45	62	110	0,033
Benso(k)fluoranten*	6,9	3,1	2,6	2,2	15	18	32	0,0076
Benso[e]pyren	14	5,0	4,1	3,5	27	36	75	0,034
Benso[a]pyren*	2,1	0,69	0,65	0,57	4,2	5,5	11	0,019
Perylen	11	4,8	4,1	3,1	22	25	44	0,019
Indeno[1,2,3-cd]pyren*	0,92	0,43	0,37	0,29	2,1	2,4	4,1	<0,008
Dibens[a,h]antracen*	8,7	4,1	3,4	2,8	20	21	37	<0,009
sum PAH	240	75	62	62	550	870	1700	0,23

* Ämnen vilka finns med på listan över carcinogena PAH

Genombrott av partiklar på underställ

Det finns ett intresse att utveckla skyddsförmågan för larmställ och underställ från både användare och tillverkare. I det här försöket testades skyddsförmågan mot partiklar på en ny typ av underställ baserad på aktivt kol jämfört med det befintliga understället som används av personal på övningsplatserna. Eftersom brandpartiklar är mycket små (< 1 µm) är det viktigt att testa skyddsförmågan i dessa storleksområden. Skyddsförmågan för det befintliga understället var över 90 % för de testade storlekssklasserna och under 75 % för understället baserat på aktivt kol (se tabell 10). Utifrån den här aspekten finns det inga skäl att motivera ett byte till just detta underställ. Men ett kolbaserat underställ kan ha helt andra egenskaper för ämnen i gasfas vilket kan undersökas vidare.

Tabell 10. Genombrott partiklar på underställ av befintlig och en ny typ av underställ baserad på aktivt kol. Skyddseffektiviteten är uttryckt i procent för ett urval av storleksklasser.

Effektivitet för storleksklass (%)	Befintligt underställ	Kolunderställ
0,1-0,5 µm	92,2	71,7
0,5-1,0 µm	96,0	73,1
0,1-1,0 µm	92,7	71,9
0,09-1,0 µm	92,8	72,0

4 Diskussion och slutsatser

Resultaten från dessa åtta delstudier ger en bild av exponeringsförutsättningar för PAH i arbetsmiljön på ett övningsområde där rökdykning regelbundet övas. Dessutom isolerar undersökningen några specifika exponeringssituationer på ett representativt sätt. Allmänt sett ur ett strikt lagtillämpningsperspektiv verkar personalen inte vara kraftigt exponerad via luften för PAH vid något av övningsområdena förutsatt följande av de nuvarande rutinerna för skydd mot inandning av brandpartiklar. Den här studien visar dock tydligt att sekundäre exponering av brandpartiklar och PAH kan förekomma vid MSB:s övningsområden vilket i sig inte är förvånande eftersom övning med rökdykning regelbundet genomförs. Det systematiska arbetsmiljöarbetet måste också därför anpassas efter att PAH-ämnen återfinns i larmställen, i underkläderna och på huden samt i luften i flera arbetslokaler, men också på arbetsytor och på utrustning vilket gör att flera exponeringsvägar bör sammanvägas i en riskbedömning. Med bakgrund av att dessa ämnen också utgör en särställning i kemiska arbetsmiljörisker (AFS 2014:43) blir slutsatsen att det ur ett försiktighetsperspektiv finns anledning att ytterligare minimera den totala exponeringen av PAH för personalen vid MSB:s övningsområden. Det bör vidare noteras att det hygieniska gränsvärdet för benso[a]pyren (2000 ng/m³) allmänt betraktas som högt och det kan jämföras med EUs miljö kvalitetsnorm för benso[a]pyren som är på enbart 1 ng/m³ och det svenska miljömålet på 0,1 ng/m³ men i dessa fall avser man att skydda allmänbefolkningen och inte en specifik yrkesgrupp. Våra slutsatser och rekommendationer utifrån den här undersökningen blir:

1. Brandlärare kan bli exponerade för PAH via luft under övningar även om inte gränsvärdet överskrids. Det är viktigt att poängtera att exponering kan ske på flera sätt samt att andningsskydd ska användas vid risk för inandning av brandgaser och brandpartiklar såsom nedströms övningsobjekt och arbete i varma objekt.
2. Den tekniska personalen verkar ha en mycket låg exponering via luft av brandpartiklar men det är också de som hanterar kontaminerat material såsom kläder, radioapparater, bränslen och fordon. Användning av skyddshandskar (även engångstyp) och andningsskydd (även engångs med ventil) är likafullt viktigt vid moment som kan innebära sekundäre exponering.
3. PAH halter i luft var låga i lokaler som lunchrum och bibliotek men det var förhöjda halter i lokaler där övningsverksamhet sker t.ex. vagnhall, verkstad och omklädningsrum (där kontaminerade larmställ förvaras) och i övningsobjekt. Det är på grund av detta viktigt att isolera lokaler där man förvarar kontaminerad utrustning/kläder från rena miljöer som t.ex.

fikarum/lunchrum för att minska risken för kontaminering. Detta har lösts på den ena utbildningsorten (Revinge) genom att förvara kontaminerade larmställ i en separat byggnad skild från omklädningsrummet. En liknande lösning bör övervägas på den andra utbildningsorten (Sandö). Även om medvetenheten i vissa fall är hög om vilken skyddsnivå som gäller vid olika arbetsmoment kan det vara värdefullt att internt klassa olika arbetsmoment och utrymmen efter kontamineringsgrad.

4. Flera arbetsytor där kontaminerat material hanteras blir också kontaminerade t.ex. bord i tvätthall, kontor i anslutning till tvätthall och kommunikationsutrustning. Man bör, även i fortsättningen, vara noga med att rengöra dessa ytor kontinuerligt för att minska möjlig sekundärexponering. Skyddshandskar bör även användas vid rengöring och hantering av kontaminerad utrustning.
5. Man blir hudexponerad av brandpartiklar och PAH genom att delta i rökdykning men dessa resultat visar att en direkt efterföljande dusch har en positiv effekt. Med anledning av detta är det viktigt att man utför detta direkt efteråt och inte väljer att utföra någon annan aktivitet såsom t.ex. träning eller bastu där genereringen av värme och fukt sannolikt ökar hudupptaget.
6. Studierna har visat att övningar ger olika belastning av PAH-ämnen och kopplat till den pedagogiska effekten av dessa övningar bör en sammanvägd översyn göras av förhållandet mellan heta övningar och övningar där kallrök används.
7. Bärandet av kontaminerat larmställ kan innebära exponering via luft men framförallt via hud eftersom ställen avger ämnen i både gas- och partikelfas under en arbetsdag. Därför är det också viktigt att avlägsna larmställ och underställ direkt efter avslutad övning så att den exponeringen blir så kort som möjligt.
8. Analys av efterföljande tvätt visar på en tillfredställande minskning av PAH, med en reduktion på omkring 90 %. Utifrån dessa resultat bör varje övning inledas med ett rent underställ och larmställ.
9. Även om det testade understället inte visade på en förbättring kan det vara intressant att följa utvecklingen av nya skyddsmaterial i framtiden.

5 Referenser

Magnusson S, Hultman D. Friska brandmän-Skellefteåmodellen förbättrar arbetsmiljön. MSB743 www.msb.se

Ide C.W., Cancer incidence and mortality in serving whole-time Scottish firefighters 1984-2005. Occupational Medicine 64, 421-427. 2014.

Bofetta P, Jourenkova N., Gustavsson P. Cancer risk from occupational and environmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. Cancer Causes and Control 8 447-472. 1997

Baxter C. S., Hoffman J.D., Knipp M.J., Reponen, T., Haynes E.N. Case study: Exposure of firefighters to particulates and polycyclic aromatic hydrocarbons. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 11, D85-D91, 2014.

Fent K.W. Eisenberg J., Snawder J., Sammons D., Pleil, J.D., Stiegel M.A., Mueller C., Horn G.P., Dalton J. Systemic exposure to PAHs and benzene in firefighters suppressing controlled structure fires. *Annals of Occupational Hygiene* 58, 830-845, 2014.

Kirk K.M. Logan M.B. Firefighting Instructors exposures to polycyclic aromatic hydrocarbons during live fire training scenarios. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 12, 227-234, 2015.

Ahn Y-S, Jeong K-S., Kim K-S. Cancer morbidity of professional emergency responders in Korea. *American Journal of Industrial Medicine* 55. 768-778, 2012.

Wingfors H, Söderström R, Magnusson R. Kartläggning av arbetsmiljörisker vid heta övningar-övningsfälten Sandö och Revinge, mättrapport. FOI Memo 5116 www.foi.se

Wingfors, H., Hägglund, L., Magnusson, R. Characterization of the size-distribution of aerosols and particle-bound content of oxygenated PAHs, PAHs, and n-alkanes in urban environments in Afghanistan *Atmospheric Environment* 45, 4360-4369, 2011.

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