Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

STUDIE

Gasformig HF vid brand i trånga utrymmen – risker för hudupptag vid insatser

Gasformig HF vid brand i trånga utrymmen-risker för hudupptag vid insatser

Tidsperiod: 2020–2021

Utförare: Totalförsvarets forskningsinstitut

Ansvarig: forskare/författare: Håkan Wingfors, Roger Magnusson, Lina Thors, Marianne Thunell

Kort sammanfattning: I studien har risker för hudexponering av vätefluorid (HF) i gasform undersökts under en kontrollerad rökdykning och i en diffusionscell med human hud. Resultaten visar att skyddskläder använda av räddningstjänst skyddar relativt väl samt att upptaget av HF genom hud är lågt. Sammantaget bedöms riskerna för allvarliga konsekvenser under rökdykning orsakade av HF-exponering som låga förutsatt att andningsvägar skyddas.

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)

MSB:s Kontaktperson: Yvonne Näsman, 010-240 40 30

Foto: Håkan Wingfors

Text: Håkan Wingfors, Roger Magnusson, Lina Thors, Marianne Thunell

Tryck: DanagårdLiTHO

Publ. nr: MSB 1717 – februari 2021

MSB har beställt och finansierat genomförandet av denna studierapport. Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll.

Sammanfattning/Abstract

Vid bränder och termisk rusning av batterier baserade på Li-jon teknik kan ämnet vätefluorid bildas. På grund av ämnets hudskadande och systemtoxiska egenskaper har en studie på uppdrag av MSB genomförts för att undersöka risker för ett potentiellt hudupptag hos räddningstjänstpersonal med externt luftpaket. I en kontrollerad rökdykningsövning utförd i en container genererades luftkoncentrationer av vätefluorid. Realistiska skyddsfaktorer för larmställ/underställ undersöktes genom att bestämma koncentrationen av vätefluorid på ut- och insida av barriären när rörelsemoment genomfördes. Potentialen för ett hudupptag undersöktes genom att exponera human hud för gasformig vätefluorid. En genomsnittlig skyddsfaktor för skyddskläder bestämdes till 120. Små men detekterbara mängder av vätefluorid penetrerade hud i koncentrationsområdet 10–1000 ppm. En svettig hud var mer benägen att ta upp vätefluorid än en torr. De penetrerade mängderna var mycket låga i jämförelse med studier där exponering för vätskeformig vätefluorid studerats. Sammantaget visar resultaten på att risken för ett potentiellt hudupptag av vätefluorid är lågt och att det är osannolikt att allvarliga konsekvenser kan uppstå. Det går däremot inte att utesluta att viss smärta eller hudrodnad kan uppkomma.

In case of fire and thermal runaway of batteries based on Li-ion chemistry, significant amounts of hydrogen fluoride (HF) may be released. Due to its ability to cause skin damage and potentially systemic toxicological effects, a study was carried out to investigate the risk of dermal exposure for firefighters since they are fully protected from inhalation exposure by their use of respirators. In a controlled smoke diving exercise, performed in a container, air concentrations of HF were generated. Work protection factors for fire suite ensembles were investigated by measuring air concentrations of HF on the outside and inside of the garment barrier when realistic movements were executed. The potential for skin uptake was investigated by exposing human skin in a diffusion cell to gaseous HF and measuring HF in a receptor solution. An average work protection factor was determined to be 120. Low but detectable amounts of HF penetrated the skin in a concentration range of 10–1000 ppm. Skin humidified with sweat showed a higher degree of penetration than dry skin. Penetrated amounts were, however, much lower in comparison with studies covering dermal exposure to aqueous solutions of HF. Overall, our results indicate that the risk for a potential skin uptake of HF is low and it is unlikely that adverse health effects are caused from this exposure route during firefighting. However, a certain risk for smarting or redness of the skin cannot be excluded.

Innehåll

INTRODUKTION 5

MATERIAL OCH METOD 7
Riskbedömning 7
Containerförsök 7
Skyddskläder 8
Rörelsemönster 8
Försök för bestämning av hudpenetration 9

RESULTAT 10
Skyddsfaktor larmställ 10
Hudpenetration 11

DISKUSSION 12

SLUTSATS 15
Tack 15

REFERENSER 16

Introduktion

Under de senaste årtiondena har det skett en utveckling och implementering av ny batteriteknik i samhället. Detta öppnar för fossilfria transporter men också för energilagring inom en rad olika områden. Ett antal studier visar dock på att batterier som utsätts för värme, mekanisk eller annan påverkan kan ge upphov till termisk rusning med delvis explosiva, oförutsägbara och svårsläckta brandförlopp som följd. Det har även visats att en delvis annan sammansättning av brandgaser bildas vid dessa bränder än vid mer konventionella bränder. Den komponent som främst väckt intresse är bildandet av det frätande och giftiga ämnet vätefluorid (HF)[1, 2].

Eftersom räddningstjänstpersonal i rollen som rökdykare alltid skyddar sina andningsvägar med en heltäckande övertrycksmask kopplad till ett externt luftpaket är risken för inhalationsskador av HF i stort sett obefintliga. Ren HF i vätskeform (kokpunkt 19 °C) och fluorvätesyra som den bildar i sin reaktion med vatten är hudskadande, frätande och potentiellt systemtoxiska. Mot bakgrund av detta har därför olika studier genomförts för att utreda risker för hudexponering av HF vid släckinsatser för räddningstjänsten[3–5]. Den potentiella risk som finns för räddningstjänstpersonal är att HF i rökgaserna kan orsaka lokala hudskador och ett upptag av fluoridjoner i kroppen som kan ge systemisk förgiftning.

Erfarenheter från släckinsatser med elfordon är fortfarande relativt få och idag saknas det uppgifter om allvarliga konsekvenser eller tillbud som kan kopplas till hudexponering av HF vid släckinsatser. Men eftersom släckinsatser av elfordon förväntas öka, på grund av det större antalet elfordon i samhället, är det av stor vikt att undersöka dessa risker. I en tidigare studie som speciellt fokuserade på larmställens skyddsförmåga framkom att vanligt förekommande larmställ har ett bra inneboende skydd mot HF i gasform och partiklar medan vissa andra förekommande ämnen i brandgaser såsom kolväten och vätecyanid lättare kan tränga igenom[4]. I den studien togs dock ej hänsyn till ventilationsflöden och inläckage av gaser via öppningar, dragkedjor och andra svagheter i materialet som uppstår när en person rör sig.

Det finns många studier som pekar på allvarliga risker för hudskador vid hantering av HF i vätskeform, även som fluorvätesyra, från industrin men det finns inga studier som fokuserat på risker för enbart hudexponering av gasformig HF vilket är det mest relevanta fallet för räddningstjänstpersonal förutsatt att mask och luftpaket används på ett korrekt sätt. Med en väl grundad insatsmetodik kan de flesta exponeringsriskerna troligtvis reduceras effektivt i öppen terräng där vind och utspädning är gynnsamma. Däremot i trånga utrymmen med sämre ventilation kan exponering för högre koncentrationer av olika ämnen uppstå. Utifrån det kunskapsläge som rådde vid våra tidigare studier rekommenderades vissa försiktighetsåtgärder vid insatser med e-fordonsbränder i allmänhet och i trånga utrymmen i synnerhet. För att få ett bättre underlag för riskbedömning vid dessa insatser är syftet med denna studie att:

1. Ta fram data avseende inläckage av HF som uppkommer vid rörelsemönster
2. Ta fram data för ett potentiellt hudupptag av gasformig HF

Med syfte att utreda graden av inläckage genomfördes i den här studien en kontrollerad rökdykningsövning i trångt utrymme där gaskoncentrationer av HF uppmättes utanför och innanför dräkt vid rörelsemönster som simulerar arbetsmoment som räddningstjänstpersonal kan tänkas utföra. Vidare genomfördes experiment där människohud i en diffusionscell exponerades för HF i gasform för att undersöka potentiellt upptag genom huden.

Material och Metod

Riskbedömning

FOIs riskbedömning för genomförandet av studierna ledde fram till att vissa skyddsåtgärder och säkerhetsmarginaler behövde beaktas. De genererade HF-halterna kontrollerades för att hamna i området 50–100 ppm innan rökdykare gick in i container. Vidare användes kemdräkt under larmstället för att skydda huden och videoövervakning och samband upprätthölls under försöket. Slutligen fanns det tillgång till tempererat vatten på plats och dusch genomfördes efter varje försök. Umeå Brandförsvar deltog under försöket och lämnade samråd avseende riskbedömningen.

Övningscontainer och mät- och övervakningsutrustning vid försöket

Containerförsök

Inledande tester med termisk rusning av rökbildande s.k. påsbatterier indikerade låga halter av HF (< 5 ppm) jämfört med teoretiskt beräknade (100–200 ppm). Två ytterligare genereringstekniker med gasflaska samt spraymunstycken (nebulisatorer) med 40 %-ig HF(aq) provades därför ut för att kontrollerat kunna höja halten HF.

För att skapa en kontrollerad begynnelsekoncentration av HF användes teknikerna på följande sätt: I en uppvärmd 20-fotscontainer (38 m^3) initierades brand termiskt i två påsbatterier (3,6 V 10 Ah, 80–90 % SOC, med en beräknad genererad gasvolym om ~100 l), samtidigt som 400 liter gas innehållande 3500 ppm från en gasflaska tillfördes via en regulator. Generering via två spraymunstycken med källstyrkor på ca 40 mg HF/min utfördes kontinuerligt under ca tio minuter före rökdykning. Ingen generering av HF användes när rökdykare var i containern. Begynnelsekoncentrationen kontrollerades med HF-indikeringsrör samt med HF-sensor (elektrokemisk cell) före rökdykare gick in i containern. Referensmetoden som användes för att bestämma koncentrationer utanför dräkt (i containern) och innanför dräkt baseras på att rökgaser pumpas genom två gastvättflaskor (s.k. impinger) fyllda med 0.1 M NaOH-lösning. Koncentrationen av fluoridjoner bestäms med jonselektiv elektrod kalibrerad mot utspädda lösningar av NaF och relateras mot provtagen gasvolym med kalibrerade pumpar.

Provtagningsslangar och gastvättflaskor bestod av material inerta mot HF

(PTFE eller PE) och efter provtagning sköljdes slangarna med 0.1 M NaOH-lösning och vatten för att få med eventuell HF som deponerat inuti. En fläkt användes för att skapa en homogen gasblandning i containern och temperatur och relativ luftfuktighet övervakades under försöket.

Två rökdykare utrustade med personburen provtagningsutrustning gick gemensamt in i containern efter avslutad generering och genomförde en serie rörelsemönster som pågick i 18 minuter (total vistelsetid 20 min.), vilket upprepades i tre separata övningar. Provtagning inne i containern med referensmetoden utfördes under samma tid som rökdykarna vistades i containern. Med detta upplägg erhölls data för beräkning av skyddsfaktorer där skyddsfaktor definieras som koncentrationen utanför dräkt dividerat med koncentrationen innanför dräkt. En hög skyddsfaktor betyder en hög skyddsnivå.

Skyddskläder

Närmast kroppen användes en kemdräkt av engångstyp på vilken luftpumpar och provtagare för 1. bröst/hals, 2. arm och 3. ben fästes (se bild 2). Båda rökdykarna använde full utrustning för rökdykning utanpå kemdräkten (underställsbyxa/tröja, tjocksockar, larmställsbyxa, larmställsjacka, stövlar, rökdykarluva, hjälm, handskar, luftpaket och ansiktsmask). Storleken på stövlar och jacka fick ökas en till två gånger jämfört med normal storlek för att kompensera för kemdräkten.

Personburen provtagning (vänster), fullt klädd rökdykare (mitten) och urstigning ur container (höger).

Rörelsemönster

För att skapa de pump- och ventilationsflöden i skyddskläderna som uppstår vid släckinsatser utarbetades en serie moment à 1 minut som simulerar reella rörelsemönster. Dessa genomfördes tre gånger under varje övning (3x6 minuter).

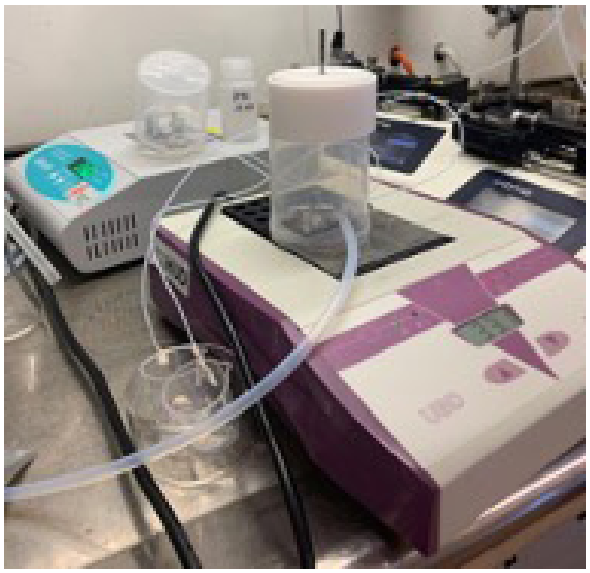
1. Stå stilla: 1 minut
2. Gå fram och tillbaka längs containerväggen: 1 minut
3. Klättra stege utan stege: 1 minut (röra armar och ben växelvis)
4. Släckrörelse: 1 minut
   a. Gå ned på knä
   b. Simulera att slå på fogfighter
   c. Rotera överkropp fram och tillbaka
5. Släpa docka utan docka: 1 minut

   a. Gå ned på huk och koppla brandmannagrepp
   b. Backa bakåt
6. Skruva/meka: 1 minut
   a. Skruva åt höger och vänster med händerna uppsträckta
   b. Skruva åt höger och vänster i maghöjd
   c. Skruva åt höger och vänster på huk

Försök för bestämning av hudpenetration

Separata försök utfördes för att studera hudpenetration av HF. I dessa försök användes en hudpenetrationsmodell som utvecklats och validerats vid FOI, där människohud placeras i en diffusionskammare (exponeringsarea 1,13 cm^2). Människohuden är från buk som erhållits i samband med kosmetiska operationer. Innan försöket snittas huden till en tjocklek av 500 µm, vilket innehåller överhuden och delar av läderhuden. Detta motsvarar att ämnen som passerat överhuden kan nå blodkärlen i läderhuden vilket kan leda till systemiska effekter, dock krävs tillräckliga mängder av ett ämne som passerat hud för att sådana effekter ska uppstå.

HF i gasform exponerades på hud i olika koncentrationer genom att leda ett gasflöde med HF genom en öppen cell över diffusionskammaren, se bild 3 för försöksuppställning. Högsta HF-koncentrationen (1000 ppm) levererades från en certifierad gasflaska och lägre koncentrationer genererades genom spädning av denna luft med hjälp av massflödesregulator. För att utreda påverkan av svettig hud genomfördes även försök där en svettdroppe (5 µl) placerades på huden innan HF-exponering initierades. Exponering av HF pågick under 20 min och sedan avbröts gasexponeringen genom att lyfta av behållaren. I kammaren under huden flödade en receptorlösning bestående av vatten som kontinuerligt fångade upp HF som passerat hud (totalvolym 10 ml). Flödet av receptorlösning fortlöpte under två timmar för att säkerställa uppsamling av all HF som gått genom huden. Mängden HF som passerat hud bestämdes sedan genom mätning av fluoridjoner i receptorlösningen med hjälp av en jonselektiv elektrod.



Försöksuppställning för hudpenetrationsförsök med vätefluorid (HF). I den främre uppställningen pågår gasexponering genom att HF leds in i behållare över hudkammare. I den bakre uppställningen har exponering avbrutits och behållare luftas men uppsamling av HF i receptorlösning pågår.

Resultat

Skyddsfaktor larmställ

I tabell 1 visas data för uppmätta koncentrationer av HF utanför och innanför dräkt under rökdykningsövningarna samt uträknade skyddsfaktorer. Trots ansträngningar att öka koncentrationen HF i containern genom att tillföra HF från gasflaska och från spraymunstycke erhölls mycket lägre medelkoncentrationer än de förväntade. Begynnelsekoncentrationerna mätta med direktvisande tekniker indikerade halter mellan 5–29 ppm HF och medelkoncentrationerna uppmätta med referensmetoden indikerade halter mellan 4–13 ppm vilket tyder på att halterna sjönk under de 20 minuter som rökdykningen genomfördes. Koncentrationerna i containern var dock tillräckligt höga för att ge mätbar koncentration HF även innanför larmställ så att skyddsfaktorer kunde beräknas.

Tabell 1. Uppmätta vätefluoridkoncentrationer utanför och innanför dräkt under rökdykningsövningar. I sista kolumnen ses de beräknade skyddsfaktorerna.

20 min		Teoretisk konc.ppm	Begynnelse -konc utanför ppm	Medelkonc. utanför ppm	Medelkonc. innanför ppm	Skyddsfaktor
Försök 1	Rökdyk. 1	>50	5	3,8	0,41 ±0,2	9,3
	Rökdyk. 2				0,36 ±0,1	11
Försök 2	Rökdyk. 1	70	15	6,5	0,08 ±0,01	81
	Rökdyk. 2				0,04 ±0,02	160
Försök 3	Rökdyk. 1	70	29	13	0,05 ±0,02	260
	Rökdyk. 2				0,06 ±0,03	220

Det första försöket med lägst HF-halter indikerade skyddsfaktorer på ca 10 medan de två andra försöken gav skyddsfaktorer för betydligt högre skyddsförmåga. Vi har ingen förklaring till att skyddsfaktorn var sämre när halten var lägre. Det var inte heller några tydliga skillnader mellan provtagningsplatserna arm, ben och bröst/hals vid försöken. Den genomsnittliga skyddsfaktorn för HF vid räddningstjänstlika rörelsemönster var 120. Detta betyder att i genomsnitt tar sig 1/120-del av exponerad mängd HF igenom larmställ och underställ och kan komma i kontakt med hud.

Hudpenetration

I tabell 2 visas resultaten för hudpenetrationsförsöken av gasformig HF där totalt upptag under 120 minuter presenteras efter 20 minuter exponering. Försöken visade att mycket små men detekterbara mängder HF penetrerade huden. Svettig hud visade på ett högre upptag än torr hud vid exponering för 100 ppm HF.

Tabell 2. Penetrerad mängd vätefluorid under 120 minuter när hud exponerats i 20 minuter för olika gaskoncentrationer.

Försök	1	2	3	4		
20 minuter exponering	µg/cm²	µg/cm²	µg/cm²	µg/cm²	Medel ± std µg/cm²	Total upptag helkropp (mg)*
10 ppm svettig hud	≤ 0,3	1,1	≤ 0,3	–	0,6 ± 0,4	8
100 ppm torr hud	0,40	0,34	0,46	–	0,4 ± 0,1	7
100 ppm svettig hud	3,5	1,4	4,6	–	3,2 ± 1,7	57
1000 ppm torr hud	1,1	11	12	2	6,6 ± 5,8	118

*beräknat på 18 000 cm² hudyta (en naken vuxen person)

Diskussion

Syftet med detta arbete var att skapa ett bättre underlag för bedömning av potentiella risker för hudexponering av HF under rökdykning. Även om HF-koncentrationerna under containerförsöken visade på lägre halter än de eftersträvade så visar försöken att kombinationen larmställ och underställ ger ett relativt gott skydd för att undvika hudexponering av HF i gasform. Den genomsnittliga skyddsfaktorn beräknades till ca. 120, vilket innebär att koncentrationen av HF är ca. 120 ggr lägre närmast huden jämfört med koncentrationen utanför larmstället. Med tanke på att tidigare studier visat att larmställ inte släpper igenom gasen så tyder detta på att det är just ventilationsflöden orsakade av rörelser som ger ett visst inläckage av ämnet[4]. I en tidigare studie åt MSB där PAH-ämnen, gasformiga eller bundna till partiklar, studerades på liknande sätt under rökdykning bestämdes en genomsnittlig skyddsfaktor till 146[6]. Om resultaten i denna studie tyder på att HF binder in till partiklar som fastnar i kläderna eller om HF-gasen på något sätt binder in på ytor i klädlager undersöktes inte. Oavsett anledning så visar resultaten att larmställ och underställ ger ett relativt bra skydd.

Våra tester av hudpenetrationsförmågan vid exponering för gasformig HF visar att små men mätbara mängder (0,6–6,6 μg/cm^2) av ämnet tar sig igenom huden vid exponering för 10–1000 ppm. Vid 1000 ppm var resultaten svårtolkade där två tester visade på en högre penetrationsmängd även om de också var relativt låga. Att hudupptaget av HF är högre vid svettig och fuktig hud var väntat. En relevant fråga som inte undersöktes i denna studie är hur fuktiga klädlager inverkar på skyddsförmågan. I en aktuell rapport som presenterades på konferensen FIVE 2020, presenterades data som tyder på att en fuktig larmhuva kan skydda bättre mot genombrott av HF än en torr larmhuva[5]. I rapporten diskuterades dock att vidhäftningen av ett fuktigt klädlager mot hud kan öka graden av exponering.

En viktig slutsats är att hudpenetration för gasformig HF är i en mycket lägre storleksordning än vid hudexponering för vätskeformig fluorvätesyra. I tabell 3 visas jämförbara data från en tysk studie där hudpenetration av vätskeformig fluorvätesyra i tre koncentrationer undersöktes[7]. Genombrottsmängderna är i storleksordningen 50–10 000 μg/cm^2, vilket är ca 50–14000 gånger högre nivåer än i vår studie med gasformig HF. I det lägre området (5 %-ig HF) observerades enbart milda frätskador medan synliga och djupare frätskador erhölls i det övre koncentrationsområdet.

Tabell 3. Hudpenetrationsdata efter exponering för av olika koncentrationer av fluorvätesyra, (data hämtat från Dennerlein 2016, normaliserat mot cm^2[7])

Försök	5 % HF	30 % HF	50 % HF
Mängd HF på hud (0,64 cm^2)	12 100 µg	78 600 µg	138 800 µg
3 min	50 ± 8,8 µg/cm^2	567 ± 160 µg/cm^2	8314 ± 603 µg/cm^2
5 min	41 ± 5,7 µg/cm^2	633 ± 156 µg/cm^2	11133 ± 802 µg/cm^2
10 min	71 ± 14 µg/cm^2	531 ± 114 µg/cm^2	9346 ± 953 µg/cm^2

Ur ett insatsperspektiv, där externt luftpaket används, finns det två risker med HF-exponering, dels lokala hudeffekter som smärta, hudrodnad och frätskador men också ett upptag av fluoridjoner som kan leda till effekter som celldöd och hjärtpåverkan. Trots att fluorid inte anses som livsnödvändigt för människan och är toxiskt i höga halter, exponeras vi för fluorid via exempelvis mat och vatten. Fluorid används också i tandkräm (500–2000 ppm) och ibland som tillsats i dricksvatten för att skydda mot karies i tänderna. Ett tillräckligt dagligt intag för vuxna kvinnor och män anges till 2,9–3,2 mg av Livsmedelsverket och det övre tolerabla dagliga intaget har angetts till 10 mg för en vuxen man. En akuttoxisk dos uppskattas till 5 mg/kg kroppsvikt och en dödlig dos till 32 mg/kg kroppsvikt[8]. För en person som väger 75 kg innebär detta 375 mg fluorid för en akuttoxisk dos och 2400 mg fluorid för en dödlig dos. En omräkning av erhållna hudexponeringsdata i denna studie vid exponering för 100 ppm under 20 minuter för en naken person (1,8 m^2 hudyta, se tabell 2) ger ett totalt upptag på 57 mg vilket är 7–42 gånger lägre än de akuttoxiska dosnivåerna.

Ett räkneexempel; en helt naken person med externt luftpaket behöver då cykla testcykel i 14 timmar med exponering för 100 ppm HF för att uppnå dödlig dos via hudupptag. Detta är givetvis ett sk. worst-case scenario, men våra resultat behöver sättas i perspektiv.

En säkerhetsfaktor i skyddskläderna på ca 120 ggr (10–260) och en säkerhetsmarginal på 7–42 ggr avseende upptaget vid 100 ppm HF på svettig hud vid 20 minuters exponering kan multipliceras för att ge en total säkerhetsmarginal. En multiplikation ger då en sämsta total skyddsmarginal på 70 ggr och en genomsnittlig på 840 ggr. Mot bakgrund av att vårt försöksupplägg, utförda i container och med en hudcell, inte helt kan fånga förhållandena vid en riktig räddningstjänstinsats och spegla exponeringen korrekt är det rimligt att anta en viss försiktighet. Omständigheter kopplade till varierande halter, hög förekomst av partiklar och andra ämnen, påverkan av värme, insatsspecifika händelser och icke-linjära samband över tid är svåra att studera och kan ändra marginalerna. Men beträffande insatser på upp till 1 h (~3 luftpaket) i trångt utrymme med brandgaser verkar det mycket osannolikt att HF-exponering på hud kan leda till allvarliga hälsoeffekter. I bild 4 sammanfattas de exponeringsrisker vi har studerat och resonemanget för bedömningen.

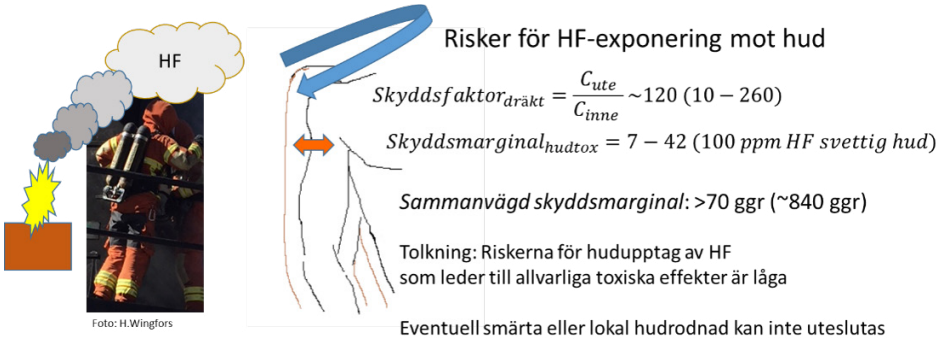


Illustration av säkerhetsfaktorer för potentiellt hudupptag av HF under släckinsats.

Det finns ytterligare aspekter som inte kan bedömas med denna studie. Uppkomsten av tillfällig smärta och hudrodnad är svår att studera men har i tidigare studier angetts uppkomma vid exponeringskoncentrationer på 122 ppm mot naken hud[9]. Dessa effekter har också beskrivits uppkomma relativt snabbt [5,9] och uppkomst av sådana symtom kan inte uteslutas vid en insats och bör uppmärksammas men det är osannolikt att det leder till mer allvarliga konsekvenser. Likaså är det svårt att veta vilka exponeringskoncentrationer som bildas i ett trångt parkeringsgarage där ett eller flera e-fordon brinner. Våra erfarenheter med att generera HF i olika kammare och testuppställningar är att gasen lätt fäster mot ytor och kräver därför ofta dynamiska system med inert material för att få stabila halter. Med andra ord, det har varit svårt att få en stabil koncentration i ett trångt utrymme och vi tror därför att halterna av HF kan komma att sjunka snabbare än andra gaser.

Slutsats

Denna rapport tar fram data som visar att riskerna för allvarliga konsekvenser är låga vid släckinsats inkluderande gasformig HF där andningsvägarna är skyddade och full rökdykarutrustning används. Det är dock fortfarande viktigt att fullt ut tillämpa rutinerna framtagna för att minska exponering för brandpartiklar i likhet med Friska Brandmän, Skellefteåmodellen och/eller Ren arbetsplats. All brandrök innehåller en blandning av toxiska och frätande gaser och partiklar vilka har visats binda in och ansamlas i klädlager. Därför ska alla kläder inklusive underställ tas av efter insats och dusch genomföras så fort det är möjligt för att minska tiden för potentiell hudkontakt.

Tack

Vi tackar Umeå Brandförsvar för hjälp, stöd och goda råd under försöket. Vi tackar även Totalförsvarets Skyddscentrum för utlåning av testcontainer.

Referenser

1 Campion, C.L., W.T. Li, and B.L. Lucht: Thermal decomposition of LiPF6-based electrolytes for lithium-ion batteries. Journal of the Electrochemical Society 152(12): A2327-A2334 (2005).

2 Larsson, F., P. Andersson, P. Blomqvist, and B.E. Mellander: Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires. Scientific Reports 7(2017).

3 Thors, L., H. Wingfors, F. Andreas, L. Hägglund, T. Tengel, and T. Marianne: ”Nya risker för räddningspersonal vid bränder/gasning av batteripack hos e-fordon.” MSB1055, 2016.

4 Wingfors, H., A. Fredman, and M. Thunell: ”Brandskyddskläder motståndskapacitet-materialtester med kemikalier som bildas vid bränder och termisk rusning i Li-jon batterier i e-fordon.” MSB1350, 2019.

5 ven Veen, N., and A. Koppen: Emergency responses in smoke from Li-ion batteries. In FIVE, O. Willstrand (ed.). online conference https://www.ri.se/en/five/five2020/papers, 2020.

6 Wingfors, H., J.R. Nyholm, R. Magnusson, and C.H. Wijkmark: Impact of Fire Suit Ensembles on Firefighter PAH Exposures as Assessed by Skin Deposition and Urinary Biomarkers. Annals of Work Exposures and Health 62(2): 221–231 (2018).

7 Dennerlein, K., F. Kiesewetter, S. Kilo, T. Jager, T. Goen, G. Korinth et al.: Dermal absorption and skin damage following hydrofluoric acid exposure in an ex vivo human skin model. Toxicology Letters 248: 25–33 (2016).

8 Barbier, O., L. Arreola-Mendoza, and L.M. Del Razo: Molecular mechanisms of fluoride toxicity. Chemico-Biological Interactions 188(2): 319–333 (2010).

9 NRC, ”Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals.” The National Academy Press, Washington DC www.nap.edu, 2004.

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

I samarbete med:

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)
651 81 Karlstad Tel 0771-240 240 **www.msb.se**
Publ.nr MSB1717 – februari 2021