



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

Håkan Wingfors

Risker för hudexponering vid insatser där HF förekommer i rökgaserna

- Mål: Underlag för bättre riskbedömning vid dessa släckinsatser
- Kort om tidigare studier
- Vilka data saknas för att kunna göra en bra riskbedömning
- Genomförande, resultat och tolkning
- Det finns inga dumma frågor!

Är gränserna mellan rök/kem exakta?

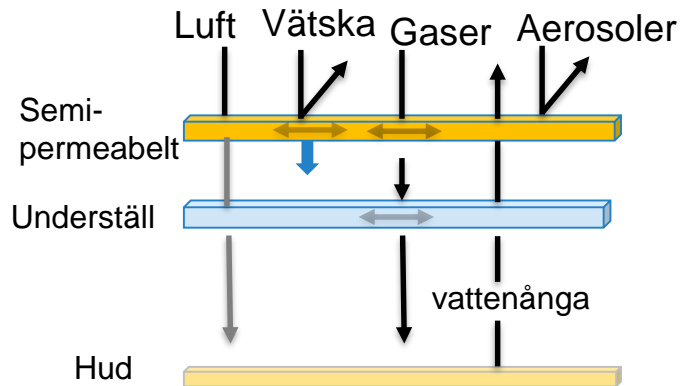
- AFS 2007:7
- Skyddsnivåerna rök vs. kem
- Brand- och rökgaser
- Kemikalieutsläpp
- Val av insatsmetodik

Det är gråzon och era insatser vilar på goda kunskaper, klok metodik, bra skyddsutrustning, tillförlitlig rapportering av tillbud, dialog och att bra riskbedömningar genomförs



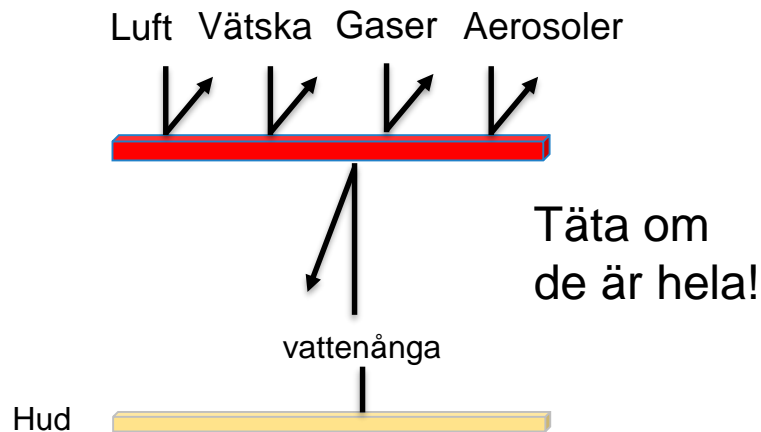
Penetration och permeation av skyddsplagg

Larmställ



Inläckage i öppningar, dragkedjor, defekter

Kemdräkt



Tidigare studier-etablerad kunskap

- Det bildas gasformig $\text{HF}_{(g)}$ vid brand och termisk rusning av Li-jon batterier!
- HF i vätskeform (fluorvätesyra) är hudskadande och toxisk!
- Larmställ och underställsmaterial släpper igenom många gaser inom minuter!
- Larmställ och underställsmaterial skyddar bra mot partiklar och $\text{HF}_{(g)}$ i tester genomförda under 20 minuter

Referenser HF_(g) exponering-hud

Experimentella studier

1. 122 ppm gav smärta på oskyddad hud efter 1 minut men vid 61 ppm kändes inte smärta på hud. Från arbetsmiljö Två frivilliga personer. ([Machle](#) o.a. 1934).
2. ≤4,6 ppm under en arbetsdag rapporterades inga speciella irriterande effekter på hud. Två frivilliga personer. (Collings o.a. 1951).
3. 1,42-4,74 ppm 6h/dag i 10-50 dagar för fem frivilliga män. Viss rödhet och irritation på hud. ([Largent](#) 1960, 1961)
4. 1,83-7,8 ppm under 1 timma rapporterades inga hudsymptom (Lund o.a. 1995)

Från olyckor

1. På en industri i Texas (oktober 1987) läckte 24 ton HF ut under 48 h. På ungefär 400 meters avstånd fanns ett samhälle där totalt 3000 människor utrymdes från en yta av 13 km². Ett enda mätvärde indikerade en halt på 10 ppm och de rapporterade symptomen var ögonirritation (41,5 %) halsbränna (21 %), huvudvärk (20,6 %), andnöd (19,4 %), halsont (17,5 %), bröstsmärta (16,9%), hosta (16,4 %) och yrsel (15%) ([Wing et al](#) 1991).
2. En industri i Tulsa, Oklahoma skedde ett gasutsläpp av HF med en uppskattad nedströmskoncentration av HF på 20 ppm. 36 människor behandlades för kemisk exponering och inga dödsfall rapporterades ([Himes](#) 1989).
3. På en oljeindustri exponerades 13 arbetare för en maxkoncentration av 150-200 ppm bestående av vätefluorsyredimma under ca 2 minuter. En snabb behandling med kalcium [glukonat](#) genomfördes och inga symptom förutom irritation av övre luftvägar kvarstod efter en timma. ([Lee et al.](#) 1993).
4. I [Gumy](#) City, Korea (27 [September](#) 2012) läckte 8-12 ton vätefluorid ut under ca 8 h och fem oskyddade arbetare dog i samband med olyckan. Ingen tillförlitlig koncentration av HF i luft finns att tillgå, men av de 140 brandmän, poliser och frivilliga som arbetade under/efter olycksinsatsen inom ett avstånd av 100 m rapporterade 15 (10,7 %) hudbesvär i form av klåda, hudutslag och eller smärta. De flesta symptomen var relaterade till andningsvägar (lunga 35,0 %, hals 17,1 %) och ögon (30,0 %). I studien analyserades även calciumhalter i blod men de avvek inte från det normala ([Cho et al](#) 2013).

1. En genomsnittlig exponering under arbete av 3,6 ppm gav inga signifikanta skillnader mellan exponerade arbetare och en kontrollgrupp. ([Derryberry et al.](#) (1963))
2. Intermittent exponering av HF 14-27 ppm under 5-års period. Medicinsk utvärdering avslöjade inga kliniska bevis för skada. [Machle](#) and Evans (1940)

Sammantaget:

En brist på riktigt bra data som kan fastställa säkra exponeringsdoser av gasfas mot hud.

En brist på data som fastställer realistiska exponeringskoncentrationer innanför dräkt

Vilken kunskap saknas?

1. I vilken utsträckning läcker HF(g) in i dräkten vid rörelse
2. Graden av hudupptag vid exponering för gasformig HF
3. Inga kända tillbud där gasformig HF vid släckinsatser kunnat kopplas till hudskador eller relaterade effekter av ett hudupptag

Vi försöker besvara 1 och 2

Genomförande, två delar

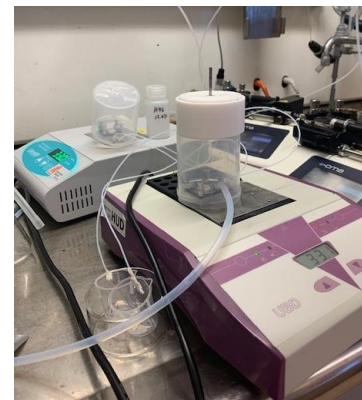
1. Kontrollerad rökdykning med HF där HF mäts på ut och insida dräkt

2. Exponering av human hud i en hudcell där upptaget av fluoridjon mäts under huden



1. Ge svar på graden av inläckage

2. Ge svar på mängden HF som penetrerar hud



Genomförande rökdykning



1. Riskbedömning (Kemdräkt, < 100 ppm, samband, sanering)
2. Mätmetoder utanför och innanför dräkt
3. Rörelsemönster 20 min

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. Roterar 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

Nya och vanliga larmställ, underställ

Tre tekniker för att generera HF

1. Två stora påsbatterier (3,6 V 10Ah)
2. 400 l gas med 3500 ppm HF
3. Två nebulisatorer ~80 mg HF/min

Resultat

En genomsnittlig skyddsfaktor
~120 (10-260)

Vid normala rörelsemönster

1/120 del går igenom



Försök	Rök -dyk	Teoretisk C	Begynnelse C	Medel C utanför	Medel C innanför	Skyddsfaktor
Försök 1	1	>50	5	3,8	0,41 ±0,2	9,3
	2				0,36 ±0,1	11
Försök 2	1	70	15	6,5	0,08 ±0,01	81
	2				0,04 ±0,02	160
Försök 3	1	70	29	13	0,05 ±0,02	260
	2				0,06 ±0,03	220

Framsida



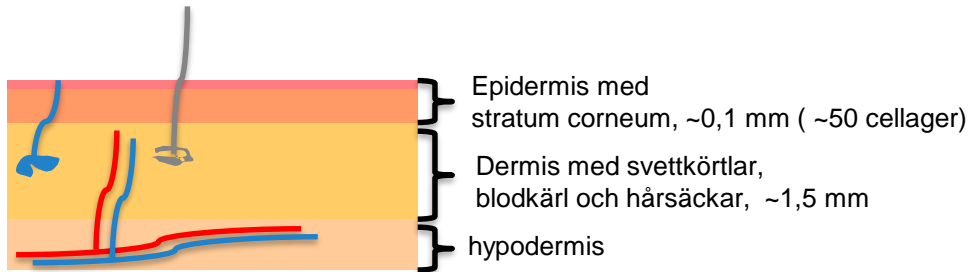
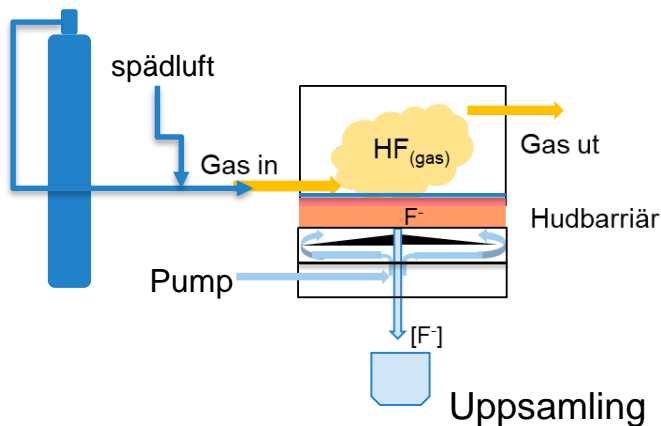
Hudförsök

Spädd från gasflaska

10 ppm

100 ppm

1000 ppm



Kroppens största organ,
~1,8 m²

20 minuters exponering

120 minuters uppsamling i recepturlösning

Resultat hudförsök

Försök 20 min	1 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	2 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	3 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	4 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	Medel $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	Total upptag helkropp (mg)*
10 ppm svett	$\leq 0,3$	1,1	$\leq 0,3$	-	$0,6 \pm 0,4$	8
100 ppm torr	0,40	0,34	0,46	-	$0,4 \pm 0,1$	7
100 ppm svettig	3,5	1,4	4,6	-	$3,2 \pm 1,7$	57
1000 ppm torr	1,1	11	12	2,0	$6,6 \pm 5,8$	118

* Beräknat på 18 000 cm^2 hudyta (en naken vuxen person)

Små men detekterbara mängder uppmäts som upptag från gasformig HF

Sätta huddata i perspektiv

Hudexpo- nering	Mängd mg	Upptag $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	Upptag helkropp
HF(g) 100 ppm svettig hud	0,1 ?*	$3,2 \pm 1,7$	57 mg
HF (aq) 5 % 10 min	19	$71 \pm 14^{**}$	(1278 mg)?
HF (aq) 30 % 10 min	123	$531 \pm 114^{**}$	(9558 mg)?

*depositionshastighet 1 cm/s, ** Dennerlein et al 2016

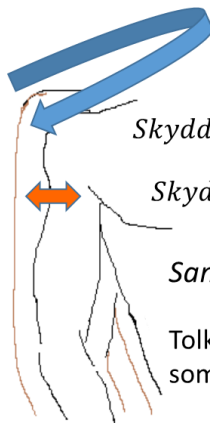
Upptag från HF i vätskefas är i storleksordningen
>20 gånger högre än från HF i gasform

Även om det finns stora osäkerheter att omvandla data från hudcell till helkropp och upptag till toxiska doser så verkar det finnas marginaler. Toxiska doser 375-2400 mg för en 75 kg person

Sammanvägd skyddsmarginal



Foto: H.Wingfors



Risker för HF-exponering mot hud

$$\text{Skyddsfaktor}_{\text{dräkt}} = \frac{C_{\text{ute}}}{C_{\text{inne}}} \sim 120 \text{ (10 - 260)}$$

$$\text{Skyddsmarginal}_{\text{hudtox}} = 7 - 42 \text{ (100 ppm HF svettig hud)}$$

Sammanvägd skyddsmarginal: >70 ggr (~840 ggr)

Tolkning: Riskerna för hudupptag av HF som leder till allvarliga toxiska effekter är låga

Eventuell smärta eller lokal hudrodnad kan inte uteslutas

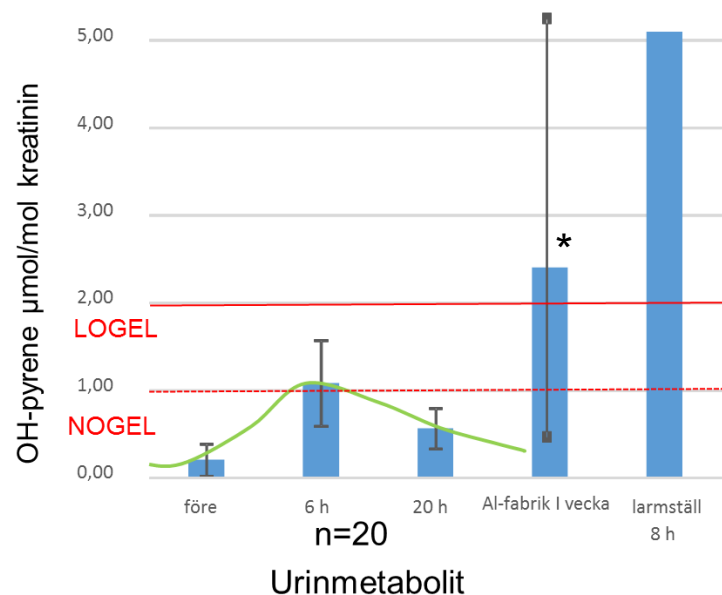
I princip kan man då rökdyka i ~20 h i höga HF koncentrationer (1000 ppm)
Stämmer detta? Det verkar orimligt länge.

Osäkerheter i bedömningen

- Linjärt samband? Beräkningar?
 - Insatsspecifika händelser
 - Rök, värme andra ämnen
 - Svett? Och fuktiga klädlager
 - Vetenskaplig metodik för att utreda komplexa exponeringsrisker?
 - HF-koncentration vid insats i trångt utrymme?
 - Vad är exponeringsdosen?
 - Uppkomst av smärta och hudrodnad?
-
- **Under en rökdykning som varar 1 h verkar det osannolikt att allvarliga hälsoeffekter kan uppstå via hudexponering av gasformig HF**

Klädlagers betydelse vid hudexponering

- Kan skydda och fördröja exponering
- Kan bidra till ökad hudexponering (Morrison o.a. 2016)
- 80-90 % av kontaminering kan undvikas genom avklädning (Levitin o.a. 2003)



*Carstensen et al. Scand J Work Environ Health 1999. 25:24

Upptag av gaser via hud

- Ett antal relativt reaktiva gaser har ett lågt upptag via hud i ~1000 ppm (0,1 %) under 20-30 min
- Detta verkar gälla tex. metylbromid, ammoniak, sulfurylfluorid, klorpikrin, vätecyanid, klorgas, fosfin, vätesulfid och etylenoxid enligt *in vitro*-studier
- En akut eller dödlig inhalationsrisk i samtliga fall!

Gaskin et al. Toxicology and Industrial Health 2017 a, 33:289.

Gaskin et al. Toxicology and Industrial health 2017 b, 33:547.

Gaskin et al. Journal of Hazardous Materials 2013 a, 262:759.

Gaskin et al. Journal of Hazardous Materials 2013 b, 252-253:

Heath Let al. 2017, Annals of Work Exposures and Health 61:589-595.

Upptag av gaser via hud

- Inte speciellt välstuderat
- Ofta ses huden som en god barriär till skydd mot de flesta gaser
- Några väl kända undantag finns rapporterat från arbetsmiljön

Wu et al. Environmental Science&Technology 2016, 50:6599.

Johanson& Boman. Occupational and Environmental Medicine 1991, 48:788.

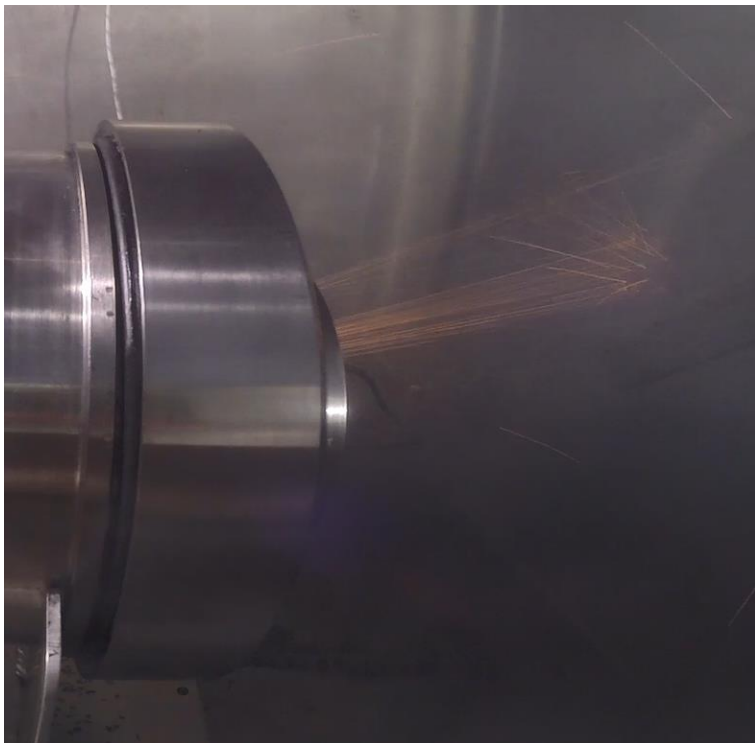
Lärdomar

- Dagens larmställ och underställ skyddar huden relativt bra under insatser mot HF i gasform
- Men så fort insatsen är över bör klädlager tas av för att undvika en förlängd hudexponering
- (Det var inte lätt att generera HF i containern)

Effekt

- Friska brandmän, Ren arbetsplats, etc !
- Uppdaterade riskbedömningar?
- Kemdräkt? Vid kemolycka.
- Förändrad insatsmetodik?
- Mäta ämnen vid insatser?
- Anpassad personsanering?

Tack för att ni lyssnade



Tack till

- Umeå Brandförsvär
- SkyddC (FM)
- Flera brandmän som agerat bollplank och anonyma granskare
- Kolleger: Roger Magnusson, Marianne Thunell, Lina Thors, Andreas Fredman