



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap

STUDIE

Rökgasexponering vid Li-jonbatteribrand

Viktiga gaskomponenter, fallbeskrivningar och
rekommendationer vid omhändertagande

Rökgasexponering vid Li-jonbatteribrand

Tidsperiod: 2021–2022

Utförare: Kunskapscentrum för katastrofmedicin/kirurgi, Umeå universitet,
Ansvarig forskare/författare: Ulf Björnstig och Erik Lindeman (vissa avsnitt)

Kort sammanfattning: Gaser från Li-jonbatteribränder innehåller ett flertal giftiga och retande gaskomponenter varav vätefluorid (HF) är en. Varken svenska eller norska myndigheter, ansvariga för förgiftningsfrågor, har dock noterat den speciellt befara- de HF-problematiken. Li-jonbatteribrand som krävt räddningsinsats hade 2018–2020 en incidens om 13 per miljon invånare och år. Giftinformationscentralens senaste rekommendationer för omhändertagande redovisas.

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)

MSB:s Kontaktperson: Yvonne Näsman, 0102-404 030

Produktion: Advant

Publikationsnummer: MSB1960 - augusti 2022

ISBN: 978-91-7927-269-2

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

Förord

Denna kunskapssammanställning har genomförts på uppdrag av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), Avdelningen för räddningstjänst och olycksförebyggande, Enheten för brand och räddning.

Brand i Li-jonbatterier har uppmärksammats av olika grupper av räddningspersonal, samt rönt ett medialt intresse. Framförallt har misstanken att brandgasernas innehåll av vätefluorid (HF) kunnat orsaka svårartade systemeffekter (effekter på inre organs funktion) varit i centrum. Trots växande teknisk kunskap om dessa bränder, har det visat sig att kunskaperna om medicinska effekter på människor inte har utvecklats i samma grad. Räddningspersonal har vid seminarium i ämnet efterfrågat nationella riktlinjer om hur exponerad personal och allmänhet bör behandlas (Söderholm, 2011; Westman, 2021).

Avsikten med studien är att beskriva kunskapsläget vad avser händelser med brand i Li-jonbatteri, framförallt i slutet utrymme, samt vad dessa händelser har genererat för konsekvenser. I uppdraget ingår även att beskriva kunskapsläget avseende några viktiga komponenter såsom HF i brandgaserna och deras effekt på människa, samt utarbeta råd om hur man bör hantera denna typ av händelser. Eftersom god samverkan mellan räddningstjänst och ambulanssjukvård är nyckeln till framgångsrik räddningsinsats, beskrivs fakta (även något specialiserade sådana) för ömsesidig förståelse av insatsens olika komponenter och möjligheter.

Ansvariga för rapporten är professor emeritus Ulf Björnstig, Umeå universitet. Överläkare Erik Lindeman har bidragit med kunskap och information från svenska Giftinformationscentralen (GIC) avseende olika gaskomponenters effekt och behandling av brandgasexponerade. Han har speciellt bidragit med aktuell och bred kunskap om HF:s verkan på människa som presenteras fullständigt i ”Bilaga”.

Karin Gunnvall, lokal samordnare och CBRNE sakkunnig, Ambulanssjukvården i Storstockholm AB, har bidragit med data avseende omhändertagande av drabbade vid Li-jonbatteribrand i deras område, samt för tillgång till den instruktionsfilm man tagit fram i Region Stockholm i samverkan med GIC.

Överläkare Patrick Brandenstein, Medicinskt ledningsansvarig läkare Ambulanssjukvården och Ambulanshelikopter Västerbotten, samt kontaktläkare för SLAS, har bidragit med SLAS synpunkter. SLAS är ”Sveriges Ledningsansvariga Ambulansläkare i Samverkan”, en organisation inom FLISA; ”Föreningen för Ledningsansvariga Inom Svensk Ambulanssjukvård”.

Handläggarna Yvonne Näsman, Per-Ola Malmquist och Ulf Bergholm, MSB, har aktivt medverkat i projektet och vid framtagande av MSB data.

Ett antal experter har också bidragit med väsentlig information för vilket de tackas:

- Sentrumleder, överlege, Arne Broch Brantsäter, Nasjonal behandlingstjeneste for CBRNE-medisin och M.D., Ph.D., Knut Erik Hovda, Norwegian National Unit for CBRNE Medicine i Oslo, tackas för information om norska erfarenheter av Li-jonbatteribränder och norska fakta och rekommendationer för behandling av sådan rökgasexponering.
- Docent Anton Westman, Umeå universitet, som har genomfört intervjun med Malmöfallet och bidragit vid inhämtande av medicinska data från detta fall.
- Docent Fredrik Sjövall, forskningsansvarig, medicinska fakulteten, Lunds universitet, som varit behjälplig med framtagande av patientdata från Skånes universitetssjukhus, Malmö.
- Övriga rådfrågade toxikologer och befattningshavare inom ämnesområdet som bidragit med expertkommentarer och råd i enskilda frågor.

Etikmyndighetens beslut Dnr 2021-06592-02 och 2019-06137 har godkänt metoden för patientkontakt i projektet.

Umeå, 20220430

Ulf Björnstig

Professor emeritus

Kunskapscentrum för katastrofmedicin/kirurgi

Umeå universitet

901 87 Umeå

Kom ihåg för räddningspersonal

A. Räddningsinsats – faktorer relaterade till Li-jonbatteribrand

Läs händelsen

- Identifiera om Li-jonbatteri brinner? Då bildas retande gaser inklusive vätefluorid (HF). Har betydelse för omhändertagandet.
- Vid brand i lägenhet – brinner det i möbelstoppningar (polyuretan), melamin, plaster, bänkskivor av laminattyp, bomull, eller Li-jonbatteri? Då kan vätecyanid genereras som är en oerhört giftig, men behandlingsbar, gaskomponent. Värdefull kunskap vid omhändertagande av drabbade.
- Rök från brinnande Li-jonbatteri i slutet utrymme kan utgöra en explosionsrisk.
- Vid brand i Li-jonbatteri – kom ihåg att det kan brinna, återantända och generera värme länge (stora batterier i timmar).
- Värmekamera kan identifiera var i ett "batteripaket" det brinner, samt om den värmeproducerande processen upphör eller ökar.

B. Räddningsinsats – allmän bedömning av rökgasexponerad

- Bedöm om drabbade har tecken på att ha exponerats för heta, eller retande gaser, dvs. finns sot, frätskada, eller svullnad i och kring näsa eller mun, eller finns andningspåverkan som hosta, pipande och/eller väsande och ansträngd andning.
- Om medvetandesänkning föreligger – misstänk oxygenbrist, inklusive CO (kolmonoxid) och/eller HCN (vätecyanid) - förgiftning, vilka ofta samverkar.
- OBS. Både CO- och HCN-förgiftning ger ett bedrägligt fräscht utseende ("körsbärsröd hudfärg") – låt dig inte luras att den drabbade är väl oxygenerad.
- Föreligger hudbrännskador – kyl omgående med vatten (eller brännskadegel) om möjligt.
- Bedöm om initial sanering behövs dvs. tag av kläder vid betydande röklukt.

C. Räddningsinsats av ambulanspersonal – behandling av rökgasexponerad

Standardbehandling – oxygenbrist – retande gaser:

- Vid medvetlöshet eller tecken på svullnad i de övre luftvägarna – överväg intubation om det tar lång tid till sjukhus.
- Vid allvariga symtom på rökgasinhalation eller medvetandepåverkan – ge oxygen med högt flöde (15 l/min) via reservoirmask. I kritiska fall – om möjlighet finns – ge 100 procent oxygen via CPAP (övertryck) eller respirator. Vid lindriga symtom kan oxygen ges på mask eller gramma.
- Vid ansträngd andning – ge först bronkvidgande inhalation, som kompletteras med inhalation av inflammationsdämpande medel (kortison) för att förbättra oxygenutbytet i lungorna – dvs. liknande vanlig astmabehandling.

Behandling mot specifika gaskomponenter

- **CO-förgiftning** med medvetandepåverkan (Glasgow coma scale GCS \leq 13) skall behandlas med **100 procent oxygen**, vilket kräver tät mask, CPAP, eller intubation med "kuffad" tub. På vissa orter finns tryckkammare som kan vara ett bra behandlingsalternativ.
- Om **HCN-producerande** brand föreligger och den drabbade är medvetandesänkt (GCS \leq 13), kan HCN ha bidragit till detta. Då ges omgående, hydroxykobalamin (**Cyanokit**®) – 5 g i 200 ml NaCl som infusion under 15–30 minuter. Om allvarig cirkulationspåverkan (chock/hjärtstopp) eller koma (GCS \leq 9) inte viker på 5 g kan dosen upprepas. Ett mindre bra alternativ är **Natriumtiosulfat** 150 mg/ml–100 ml iv. under 5–10 minuter.
- Om tecken till exponering för retande gaser föreligger vid Li-jonbatteri-brand, kan **HF-exponering** bidra till symtomen. Då ges 4 ml inhalation med **nebuliserad kalciumglukonat** (1 del kalciumgluconat 10 procent injektionslösning + 3 delar isoton koksaltlösning) som tillägg till den bronkvidgande och inflammationsdämpande behandlingen. Kontakta vid behov Giftinformationscentralen via telefon 112 eller 0104-566 700.

Innehåll

Sammanfattning	8
1. Inledning	9
2. Uppdraget	11
3. Några data angående föremål och drabbade	12
3.1 Data från MSB:s insatsrapporter	12
3.2 Data från Storstockholms brandförsvär (SSB)	14
3.3 Validering av MSB-data avseende skadefall mot sjukvårdsdata ..	14
4. Fallbeskrivningar	16
4.1 Elcykelbrand – IVA-vård	16
4.2 Två fall i Mellansverige	18
5. Kunskapssammanställning	19
5.1 Brandrök – olika kemiska komponenter från brand i Li-jonbatteri ..	19
5.1.1 Tekniska batteriegenskaper	19
5.1.2 Termisk rusning i ett Li-jonbatteri	20
5.1.3 Brännbara ämnen och komponenter i fordon och Li-jonbatterier	20
5.1.4 Kylmedium i fordon	21
5.1.5 Inredningsdetaljer	21
5.1.6 Grundmålning och rostskydd	21
5.1.7 Kompositter som t.ex. kolfiber	21
5.1.8 Framtida elektriska drivbatterier	21
5.2 Fysiologisk effekt på människa	21
5.2.1 Värme	21
5.2.2 Brännskada – utbredning och djup	22
5.2.3 Brandgasers medicinska påverkan	23
6. Sammanfattning och diskussion	29
7. Referenser	32
8. Vätefluorid (HF) i vätske- och gasform	36
8.1 HF i vätskeform	36
8.2 HF i gasform	37
8.2.1 Inhalationsexponering och risk för systemtoxicitet (påverkan på inre organ)	37
8.2.2 Inhalationsexponering och risk för skador på luftvägar och lungor	38
8.2.3 Gasformig HF i röken från brinnande Li-jonbatterier	38
8.2.4 Koncentration HF i brandrök från Li-jonbatterier	39
8.3 Avsaknad av toxisk lungpåverkan i litteraturen	40
8.4 Referenser bilaga	41

Sammanfattning

Utgående från MSB:s insatsrapporter har brand i Li-jonbatteri, som krävt insats av räddningstjänsten (N = 402), studerats för åren 2018–2020. Dessa händelser har haft en incidens om 13 per miljon invånare och år. De vanligaste brandföremålen var mobiltelefoner, läsplattor/datorer, batterier till hoverboards, elcyklar och sparkcyklar. Brand har uppkommit både under laddning och utan att laddning pågått. Det senare har av MSB:s utredare uppfattats förekomma speciellt med elcykelbatterier.

Av de hundra bränder där någon person bedömdes ha exponerats för rök hade enligt MSB-data nio procent erhållit någon form av medicinsk bedömning – fem procent av ambulanssjukvården på plats och fyra procent uppgavs ha sökt sjukvårdsinrättning. Bränder i elcykelbatteri hade initierat flest medicinska kontakter, följda av brand i hoverboardbatteri.

Vid validering av data avseende personskadeutfallet i MSB:s statistik mot CBRNE-ledningsenhetens medicinska data i Storstockholm (tolv bränder), visade sig MSB:s data om sjukvårdsinsats i nästa samtliga fall korrelera väl med sjukvårdens. Av de 14 personer som transporterades till sjukvårdsinrättning bedömdes alla vara lindrigt skadade, utom två som var rödprioriterade (prio 1). Bägge hade ådragit sig allvarligare värmeinducerade brännskador. Några skadefall relaterade till systemeffekter (dvs. påverkan av kroppens inre organ) genom inandning av vätefluorid (HF) hade ej registrerats i ambulansdata. Denna enkla validering indikerar således att MSB-data gav en god uppfattning om sjukvårdsbehovet i de matchade fallen och HF specifika systemeffekter saknades i CBRNE-enhetens sjukvårdsdata.

Den mycket uppmärksammade gaskomponenten vätefluorids (HF:s) befarande frätande och giftiga effekt har inte noterats speciellt, varken hos svenska Giftinformationscentralen (GIC), eller hos Norska CBRNE-enheten, trots att man i Norge har högsta andelen e-fordon i Europa. GIC har inte funnit evidens i den vetenskapliga litteraturen att gasformig HF skulle ge befarande systemeffekter. Detta beskrivs i [Region Stockholms och GIC:s informationsfilm](#) som speciellt belyser HF:s effekter.

Brandgaserna kan ha en kvävande effekt, dvs reducera oxygeneringen (syresättningen) av kroppens celler, eller ha en toxisk (giftig) effekt. Det finns möjlighet att i akutskedet förbättra den drabbades chans till överlevnad genom att påverka framförallt oxygeneringen. Detta görs genom att tillföra (i) oxygen (syre), (ii) vidga luftvägarna med farmaka, samt (iii) ge inflammationshämmande farmaka i luftvägarna. Vidare finns möjlighet att ge antidot (motmedel) mot cyanväteförgiftning (HCN) som blockerar cellandningen. Vid brand i Li-jonbatteri, kan behandlingen kompletteras med kalciumgluconat-aerosol i andningsluften, för att minska HF:s retande effekt lokalt på luftvägarna. Rekommendationerna är utarbetade i samverkan med Giftinformationscentralen och aktörer inom området.

1. Inledning

I samband med hela samhällets inriktning mot elektrifiering av många produkter och transporter, har frågan om riskerna med de brandgaser som kan uppstå vid gasning, eller brand i Li-jonbatterier, diskuterats livligt. Framförallt har kännedomen om vätefluoridkomponentens (HF) verkan upplevts som bristfällig (Söderholm, 2011; Westman, 2021). Därför har Avdelningen för räddningstjänst och olycksförebyggande hos MSB initierat denna studie. Avsikten var att ta fram fakta, utgående från nuvarande kunskapsläge, för att belysa problematiken för personer som exponeras för sådan brandrök. Genom ökade kunskaper kan taktik och omhändertagande optimeras, vilket är en av anledningarna till att MSB tar fram tillgängliga fakta.

Räddningspersonal exponeras redan idag och kommer i framtiden att exponeras för nya risker, beroende på nya konstruktioner, material och drivsystem i framtida föremål och fordon (Teknikutveckling; MSB 2016 nedan). MSB har tagit fram ett flertal rapporter med inriktning på teknisk utveckling och brandtekniska frågor, vilka ej kommer att behandlas vidare i föreliggande studie:

Teknikutveckling:

- MSB 2020; [Elektriska fordon och räddning](#)
- MSB 2016; [Förändringar: omvärldsanalys personbilar](#)
- MSB 2013; [E-fordons potentiella riskfaktorer vid trafikskadehändelse](#)

Gaser Li-jonbatteri:

- MSB/FOI 2015; [Vented Gases and aerosol of automotive Li-ion LFP and NMC batteries in humidified nitrogen under thermal load](#)

Räddningsinsats:

- MSB 2020; [Vägledning, räddningsinsats där litiumjonbatterier förekommer](#)

Skyddsklädsel:

- MSB 2018; [Brandskyddskläders skyddskapacitet- materialtester med kemikalier som bildas vid bränder och termisk rusning i Li-jon batterier i e-fordon](#)

Elektrifieringen av vägfordon, cyklar, sparkcyklar, hoverboards, verktyg etc. bidrar till en ökning av problematiken med Li-jonbatteribränder. Dessa bränder karaktäriseras inte sällan av hög temperatur, svårighet att släcka branden och att brandförloppet kan ta lång tid. Därför kan det sannolikt uppstå betydande rökgaskoncentration inomhus och i slutna utrymmen. Ett cykelbatteri kan, enligt Meraner, Li, och Sanfeliu Meliá (2021), samt Willstrand, Bisschop, Blomqvist, Temple och Anderson (2020), bland många gaskomponenter producera kolmonoxid (CO), vätefluorid

(HF/LiPF₆), saltsyra (HCl), vätecyanid (HCN), nitroösa gaser (NO_x) och svavel-dioxid (SO₂). Dessutom produceras viss mängd explosiva komponenter som vätgas. I Willstrand et al. (2020) anges i Tabellerna 7 och 22 uppmätta och/eller beräknade koncentrationer i 1 000 m³ av olika gaskomponenter vid e-fordonsbrand i relation till hälsogränsvärden. Dessa indikerar att HCl, NO₂ och SO₂, i jämförelse med HF, är väl så betydelsefulla gaskomponenter ur hälsosynpunkt. HCN är ej redovisat. Utgående från dessa data kan man befara betydande hälsokonsekvenser. Därför är det av värde att närmare penetrera frågan ur räddnings- och omhändertagandesynpunkt.

Generellt föreligger hos Li-jonbatterier egenskapen att en termisk rusning, eller brand av annan orsak, ofta kan fortgå utan tillförsel av oxygen (syre) utifrån. Detta eftersom batteriet i sig innehåller oxidationsmedel. Dessutom tillför den lagrade elektriska energin ytterligare energi till branden. Eftersom det ofta är svårt att få in kylande släckmedel till brandhärden, kan den här typen av bränder i större batterier bli en teknisk utmaning att släcka. Detta bidrar i sin tur till att generera stora mängder brandgaser. Glödbland och pyrolys förekommer vid höga brandtemperaturer som kan generera särskilt giftiga gaskomponenter.

Li-jonbatterier användes alltmer i olika små och stora applikationer. Eftersom många hanteras inomhus finns risk för spontana inomhusbränder. Detta kan ske inte bara vid laddning, utan också spontant på grund av så kallad dendritbildning i batteriet, som ger en form av intern kortslutning. En dramatisk illustration av en spontanbrand är den brand som uppstod i en fraktcontainer med Li-jonbatterier i främre delen av ett fraktplan av typ jumbojet. Branden släcktes ej av gängse automatiska oxygenreducerande/kvävande släckåtgärder. Roderstyrningen brändes sönder. Den tjocka röken tog sig upp och in i cockpit, hämmade sikten totalt och inkapaciterade piloterna. Via autopilot, som hade kvar viss funktion, försökte man nödlända på Dubais flygplats, men man störtade i öknen (UPS Airlines Flight 6, Wikipedia, 2010; TheFlightChannel, 2018).

Inom fordonsbranschen introduceras nya konstruktionsmaterial som olika plaster, hartser, lim, kolfiber, magnesiumlegeringar etc. som kan ha en potential att producera mycket giftiga gaser och intensifiera ett brandförlopp. E-fordon med allt större drivbatterier (upp mot några tons vikt) finns på marknaden. Även betydligt större batterier kommer i framtiden att finnas i form av exempelvis stationära batterilager. Ibland finns ett stort antal fordon samlade i slutna utrymmen som i garage, bilfärjor och vid sjötransport av nytillverkade fordon, då många tusen bilar transporteras. Att parkeringsgarage kan utgöra en lokal där många fordon kan brinna illustreras av branden i ett parkeringsgarage i Liverpool då 1 400 bilar brann vid nyår 2017/2018 och i Stavanger brann 300 bilar upp i ett parkeringsgarage 2020. Bägge bränderna inträffade dock i öppna parkeringshus. I slutna garage blir givetvis rök-gaskoncentration och risker större.

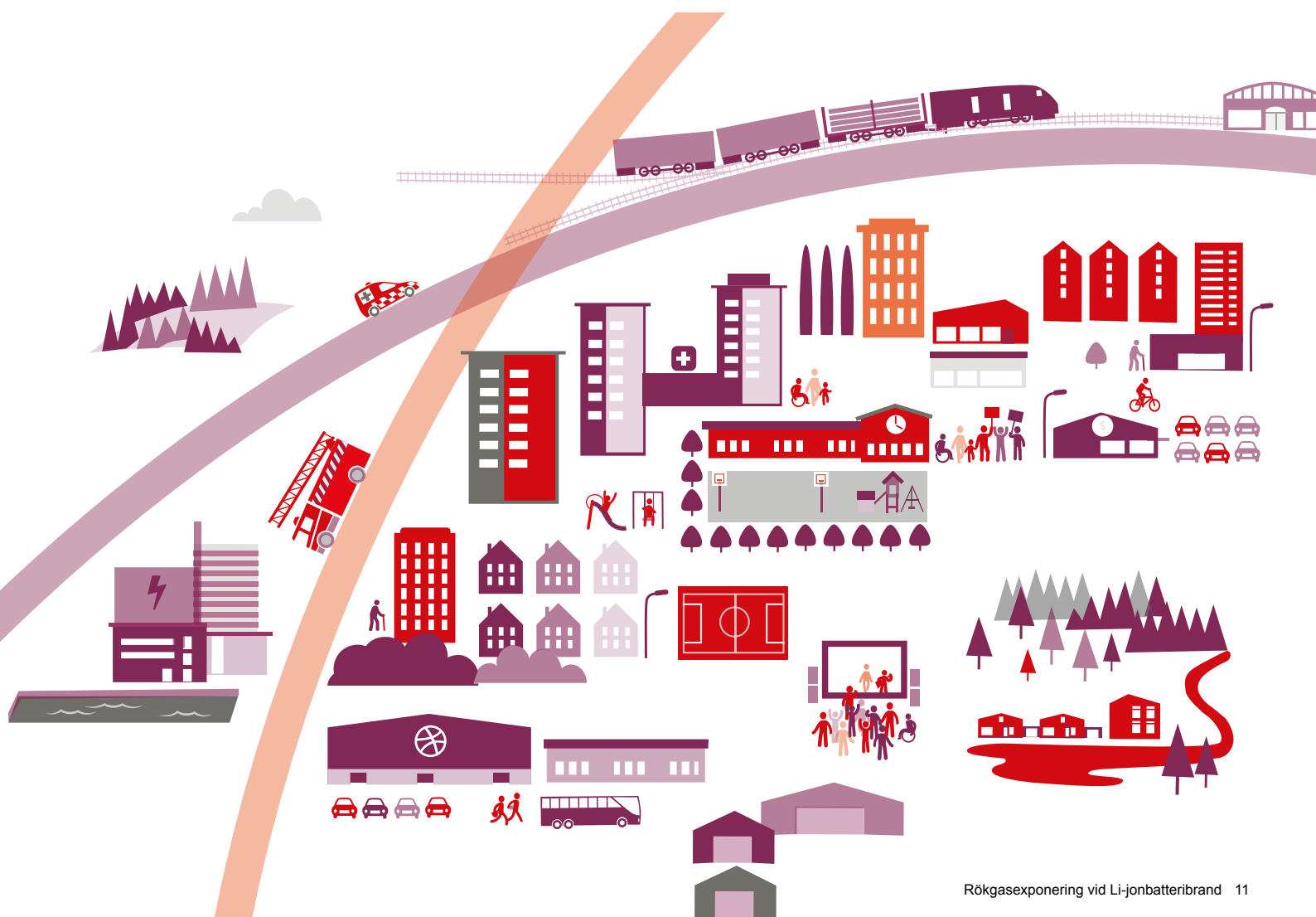
Möjligen ger ovanstående problem ett något pessimistiskt intryck avseende framtiden. Dock finns en positiv aspekt i form av att förbättrad kunskap och taktik vid insats, kan ha betydande potential till förbättrad arbetsmiljö, samt förbättrad säkerhet för insatspersonal och andra drabbade. Användning av modern kunskap kan förbättra resultaten, exempelvis genom användning av motmedel (antidot) mot de allra giftigaste gaskomponenterna och optimal behandling av rök-inhalation hos de drabbade. Det förutsätter dock god samverkan mellan räddningstjänst och ambulanspersonal och att man vet vilka ämnen man ska fokusera på. En god kunskap om att ”att läsa branden” ger indikation om vilka behandlingsbara brandgaser som sannolikt genereras.

2. Uppdraget

Avtalet om uppdraget anger: ”Den övergripande målsättningen är att ta fram en kunskapsöversikt över verkliga fall fokuserade huvudsakligen mot mindre batterier typ cykelbatterier etc. som inte sällan förvaras i slutna utrymmen. Övergripande ska också den sammanställda kunskapen kunna bidra till utvecklingen av kvalitetssäkrade metoder och tekniker som stöd till de kommunala räddningstjänsterna för effektivare räddningsinsatser. Kunskapen ska ligga till grund för framtida utbildningar”.

”Utöver detta kan översikten också komma att bidra till underlag för proaktiv riskeliminering beträffande handhavande av denna typ av Li-jonbatterier”.

”Avsikten med föreliggande dokument är att det ska kunna användas som kunskaps- och utbildningsunderlag för räddningspersonal från räddningstjänst, prehospital sjukvård och polis, vid brand och speciellt brand i Li-jonbatteri, samt som planeringsunderlag för insatser i olika slutna miljöer och situationer”.



3. Några data angående föremål och drabbade

3.1 Data från MSB:s insatsrapporter

Utgående från MSB:s insatsrapporter från åren 2018–2020 fanns 402 fall rapporterade i hela Sverige där Li-jonbatteri angavs vara orsak till branden och/eller hade brunnit. Små knappbatterier (ofta kallade Li-batterier) är exkluderade i denna studie. Givet att dessa data är valida för Li-jonbatteribrand där räddningstjänstinsats genomförs, blir incidensen 13 per miljon invånare och år, utgående från i medeltal 10,3 miljoner invånare i Sverige för aktuell period. Brandföremålen framgår av Tabell 1.

Tabell 1. Frekvens händelser med olika brandföremål (354 kända; kolumn 1) och antal händelser respektive personer (inom parentes) där hälsoproblem omhändertagits av sjukvårsinstitans (kolumn 2) respektive av ambulanssjukvården.

Föremål	Summa händelser	Till sjukvård	Endast bedömning av Ambulanssjukvård
Mobiltelefon	54	1 (1)	1 (2)
Dator/läsplatta	49	1 (1)	2 (4)
Hoverboard	45	1 (1)	5 (9)
Elcykel	42	6 (9)	5 (7)
Leksak/hobbyartikel	38	1 (2)	0
Sparkcykel	35	1 (2)	1 (1)
Verktyg	25	0	1 (2)
Powerbank	18	1 (2)	0
Elmoped/mc	15	1 (1)	1 (2)
Truck/bil/lastfordon/båt	7	0	0
Annat föremål	26	4 (4)	3 (12)
Summa	354	17 (23)	19 (39)

I datamaterialet fanns totalt 409 fall. Dock hade inte Li-jonbatteriet engagerats vid 6 bilbränder, plus att en elcykelsadel sattes i brand, men inte heller här engagerades Li-jonbatteriet. Ingen av dessa händelser ingår därför i materialet som presenteras i Tabell 1. Tabellen presenterar de 354 fall där uppgift fanns avseende

typ av batteri som brunnit. I 48 fall saknades sådan uppgift. Gruppen ”annat” innehåller bl.a. batteri till städmaskin, batteri till surfbräda och båt-batterier som tagit eld vid laddning inomhus, plus diverse andra Li-jonbatterier på laddning. På en lastbil hade en last av Li-jonbatterier tagit eld när de sekundärt exponerades för brand i lastbilen. Som kuriosa kan nämnas att tre mobiltelefoner och tre andra Li-batteridrivna föremål hade tagit eld när de lagts på het spisplatta. MSB:s utredare Ulf Bergholm har noterat att speciellt batterier till elcyklar verkar ha en benägenhet att ta eld utan att ha varit på laddning. Se också fallbeskrivning under punkt 4.1.

Mobiltelefoner och läsplattor/datorer var vanligaste brandföremål, följda av hoverboards och elcyklar, se Tabell 1.

Beträffande behov av sjukvård så angavs att 23 personer från 17 (4 procent) olika händelser uppsökt sjukvårdsinstans. Ambulanspersonal undersökte på plats och färdigbehandlade 39 personer från 19 (5 procent) händelser, vilka bedömdes klara sig utan ytterligare sjukvård. Nio av dem var från samma batteribrand.

Totalt hade 36 (9 procent) av 402 händelser genererat någon form av sjukvårds- eller ambulanskontakt för totalt 62 personer. Händelser med elcykel stod för 11 (31 procent) av dessa 36 händelser. 16 (26 procent) av de 62 personerna som haft någon form av vårdkontakt hade inandats rök från elcykelbrand. Hoverboards hade näst högsta frekvensen händelser där behov av medicinsk undersökning ansågs ha förelegat – se Tabell 1.

Sammanfattning

- Incidensen Li-jonbatteribränder som föranlett insats av räddningstjänsten var 13/miljon invånare och år.
- Mobiltelefoner/läsplattor orsakade flest händelser.
- Elcykel- och hoverboardbatterier orsakade flest medicinska kontakter.
- Medicinsk kontakt av något slag var aktuell i knappt var tionde brand.



3.2 Data från Storstockholms brandförsvaret (SSB)

I en rapport avseende bränder med relation till Li-jonbatterier inom SSB:s upptagningsområde ca 1,4 miljoner invånare, redovisade man 19 bränder (17 bränder år 2020 plus 2 bränder 2019), se Tabell 2 (From & Wiberg, 2020).

Tabell 2. Brandföremål i SSB:s studie (From & Wiberg, 2020)

Föremål	Summa händelser
Elcykelbatteri	7
Elsparkcykel	5
Powerbank	2
Elbil	2
Mobiltelefon	1
Dator	1
Radiostyrd modell	1
Totalt	19

Om data är representativa för antalet Li-jonbatteribränder i området blir incidensen 12 per miljon invånare och år (17 bränder, 1,4 miljoner invånare, år 2020).

Bränderna har inträffat både under laddning och under icke-laddning, samt under nyttjande av produkten, eller efter åverkan. Elva (58 procent) av dem inträffade i flerbostadshus och resten i enskilt boende, hotell, kontor etc. I den egna bostaden inträffade 57 procent av bränderna.

Bränderna bedöms ha uppstått genom s.k. termisk rusning som genererat intensiv energiutveckling, dock var brandförloppet i tre fall en långsam process med huvudsakligen rökutveckling.

En brand som uppstod i en powerbank under laddning av en mobiltelefon kan vara illustrativ (From & Lindström, 2020). Den låg på laddning i en säng där brand uppstod under utveckling av mörk/svart rök och branden spred sig också till golvet under sängen. Två personer i familjen hade genomgått brandskyddsutbildning, men de lyckades inte att kväva branden eller släcka den med vattenslang. Personerna var tvungna att krypa nära golvet för att kunna orientera sig, eftersom röken var så tjock. En person blev bränn- och rökskadad och fördes till sjukhus.

3.3 Validering av MSB-data avseende skadefall mot sjukvårdsdata

En jämförelse mellan dessa datakällor kan ge en uppfattning av validiteten hos MSB:s insatsrapporter vad avser data på personskadefall. I MSB-rapporterna är enskilda personer inte möjliga att identifiera. Vi har dock genom att matcha insatsens tid och plats mot motsvarande data i ambulanssjukvårdens journalsystem hos CBRNE-ledningsenheten; AISAB (Ambulanssjukvården i Storstockholm AB), kunna söka svaret på hur man där bedömt det medicinska tillståndet. Man finner

då följande för den tidsperiod där matchning varit möjlig Februari 2019–November 2021 (34 månader):

- Antal rapporterade händelser hos MSB-insatsrapporter i Storstockholm med angiven personskada: 26.
- Antal motsvarande händelser som också återfanns i CBRNE-lednings-enhetens journalregister: 12 (46 procent).

Således finns möjlighet att genomföra viss validering av skadefallen i de tolv fall som finns i bägge registren. Då finner man för dessa tolv fall:

- Att i 11/12 fall stämmer data acceptabelt/bra beträffande skadefall och vårdnivå. Från 6 av dessa 12 händelser transporterades enligt sjukvårdens data 14 personer till sjukhus. Nästa samtliga hade lindriga skador, dock hade två allvarigare brännskador och klassades som prio 1 enligt sjukvårdens s.k. sållningstriage.
- I ett fall angav MSB-data sjukvård, medan CBRNE-data angav oskadad, innebärande att vederbörande endast bedömts av ambulanssjukvården på platsen.

Om man analyserar systematiska skevheter orsakade av tid på dygnet för larm, finner man ingen anmärkningsvärd skillnad mellan de olika grupperna från matchningen av de 26 fallen:

- Dagtid 06.00–22.00 inkom 18 (69 procent) av larmen och nattetid 22.00–06.00 inkom 8 (31 procent) av de totalt 26 larmen. Av de 12 fallen som fanns i bägge registren inkom 8 (67 procent) larm dagtid och 4 (33 procent) nattetid. Av de 14 som ej återfanns i CBRNE-data vid matchningen inkom 10 (71 procent) dagtid och 4 (29 procent) nattetid.

Någon total genomgång av skadefall från denna typ av händelser inom ambulanssjukvården i Storstockholm har ej varit möjligt att genomföra inom ramen för detta projekt. Defragmenterad organisation, GDPR, sekretess/beslutsregler, samt mycket stort antal journaler spridda på olika enheter har bidragit till att detta varit praktiskt omöjligt att studera. Sådana data hade givetvis kunnat ytterligare bidra till att validera fullständigheten i MSB:s register över insatsrapporter.

Sammanfattning

- Alla av de matchade fallen klassificerades som lindriga utom två som hade värmeorsakade brännskador.
- Inga speciella HF-relaterade systemeffekter (dvs. effekter på inre organs funktioner) hade rapporterats.
- MSB:s insatsrapporter som matchats mot CBRNE-ledningsenhetens data, visade god validitet vad avser personskadefallen.
- CBRNE-ledningsenheten i Stockholm hade medverkat i hälften av de MSB-rapporterade skadehändelserna i samma område.
- Ingen anmärkningsvärd skevhet i tid på dygnet förelåg för de olika grupperna i matchningen.

4. Fallbeskrivningar

En farhåga eller ett kunskapsgap har varit att de misstänkt aggressiva brandgaserna skulle utgöra en betydande riskfaktor för allvarliga medicinska konsekvenser. Man har därvid ofta relaterat risken till produktionen av olika vätefluoridföreningar (HF) som uppkommer vid brand i Li-jonbatterier, vilka är starkt reagerande substanser.

Sammanställningar över skadefall orsakade av brandrök från Li-jonbatteribränder saknas i stort i litteraturen. Svenska Giftinformationscentralen (GIC) har inte noterat denna HF-problematik i sin databas från verkliga händelser. Inte heller i Norge, som har högst andel e-bilar i Europa, har motsvarande instans noterat den befarande problematiken. Således har ansvariga instanser inte noterat någon sådan speciell problematik varken i Sverige eller Norge.

Här redovisas händelser som har anknytning till sådan brand och som kan ge en indikation om symtom vid exponering för den aktuella brandröken.

4.1 Elcykelbrand – IVA-vård

Malmö; En tidig morgon i oktober 2018 varnades den drabbade (75 år), som befann sig i sovrummet på övervåningen, av brandvarnaren. Den satt i trappuppgången mellan under- och övervåning i hans fristående hus om 126 m². Orsaken var rökutveckling från ett cykelbatteri (Figur 1) som spontant tagit eld i gästrummet (volym 45 m³) på nedre våningen, trots att det ej varit satt på laddning. Batteriet (36 V) tillhörde en cykel av märket Orion 2012. Röken hade spridit sig via tvättstugan (45 m³) till hallen (18 m³) och via köket fram till brandvarnaren i trappan till övervåningen, dvs. uppskattningsvis i en volym om drygt 300 m³. När den drabbade passerade ner och genom köket möttes han av så tät rök i hallen att han var tvungen att i blindo treva sig genom hallen (3 meter) för att nå fram till ytterdörren. Alla dörrar inomhus var öppna. Den drabbade gjorde inget släckförsök. Han andades några andetag under passagen genom röken i köket och hallen och uppskattar att passagen tog cirka ½–1 minut. Fick hosta av röken, men kände sig för övrigt okej när han kom ut och bad granne larma. Ambulans var på plats inom 10–15 minuter.



Figur 1. Bild på "tvilling" till det brunna batteriet som legat nära det brunna. Begränsad skada på golvet där det brunna batteriet legat (Foto: Ulf Bergholm, MSB:s olycksutredare).



Aktuella symtom och åtgärder; Hosta direkt efter rökexponeringen. Kände initialt inget behov av ambulanstransport, dock tillstötte 20–30 minuter efter rökexponeringen nya symtom i form av rotatorisk yrsel och dimsyn. Sanerades primärt genom att kläderna togs av innan han togs in i ambulansen. Ändå beskrevs mycket stark röklukt i ambulansen, varför personalen arbetade iklädda viss kemskyddsklädsel. Behandlades redan i ambulansen med oxygen (syrgas) och upprepade (x 10) kortisoninhalationer. BT 139/70. Den drabbade sanerades sedan ytterligare på akutmottagningen genom helkroppsvätt på grund av betydande röklukt.

Intensiv hosta vid ankomst och lite tjock röst. Intuberades "profylaktiskt" för att säkra andningen. Vårdades initialt på IVA i respirator. Följande medicinska fakta av intresse var:

Akuta undersökningar och iakttagelser; Bronkoskopi (undersökning av luftvägarna) initialt var utan anmärkning. Något senare när ventrikelsond (slang till magsäcken) skulle sättas, noterades dock stark svullnad i svalget och rikligt med geléaktigt slem, så svårt att få ner sonden. Röntgen av lungor visade att i vänster underlob fanns atelektaser (sammanfallna lungblåsor). Behandlades med Kalciumgluconat i inhalation, för att reducera slemhinneskada orsakad av eventuell HF-inandning. Hade rödfärgad urin, vilken med all sannolikhet orsakats av att Cyanokit® (antidot mot HCN-förgiftning), givits tidigare under förloppet. EKG visade förmaksflimmer (känt sedan tidigare) men med snabb kammarfrekvens=107. Upprepad ögonspolning. Ur respirator efter drygt ett dygn och observeras därefter ytterligare knappt två dygn innan han skrevs ut.

Medicinska laboratoriedata med anknytning till rökgasexponering som kan vara av intresse (laboratoriets normalvärden inom parentes); Kalciumjon-värden i blod var omkring nedre normalvärdet initialt. P-Kalium vid övre normalgränsen. P-laktat 4,4 (0,5–2,2) mmol/l. Ecv-Basöverskott -6,0 (-3,0–3,0) mmol/l, dvs. lindrig metabol acidosis. P-Myoglobin lätt förhöjt 141 (28–72) µg/l. Ett enstaka CK-värde vid inkomst normalt (1,4 µkat/l), P-kreatinin 144 (60–105) µmol/l. Övriga IVA-laboratoriedata låg inom normalgränserna. Oxygenering (syresättning) väsentligen utan anmärkning både venöst och arteriellt.

Kvarstående besvär; Upplevde dimsyn några dagar efter vårdeposiden. Stark muskelvärk i hela kroppen, men framförallt i lärmuskulaturen – försvann successivt på några månader. Sprängande huvudvärk och ont i öronen – smärtor som successivt försvann närmaste tiden efter händelsen. Hade aldrig haft besvär av huvudvärk tidigare. Saneringen av bostaden var otillfredsställande och kvarstående brandlukter upplevdes orsaka försämring vid hemkomst. Detta fördröjde tiden innan han kunde flytta tillbaka med månader.

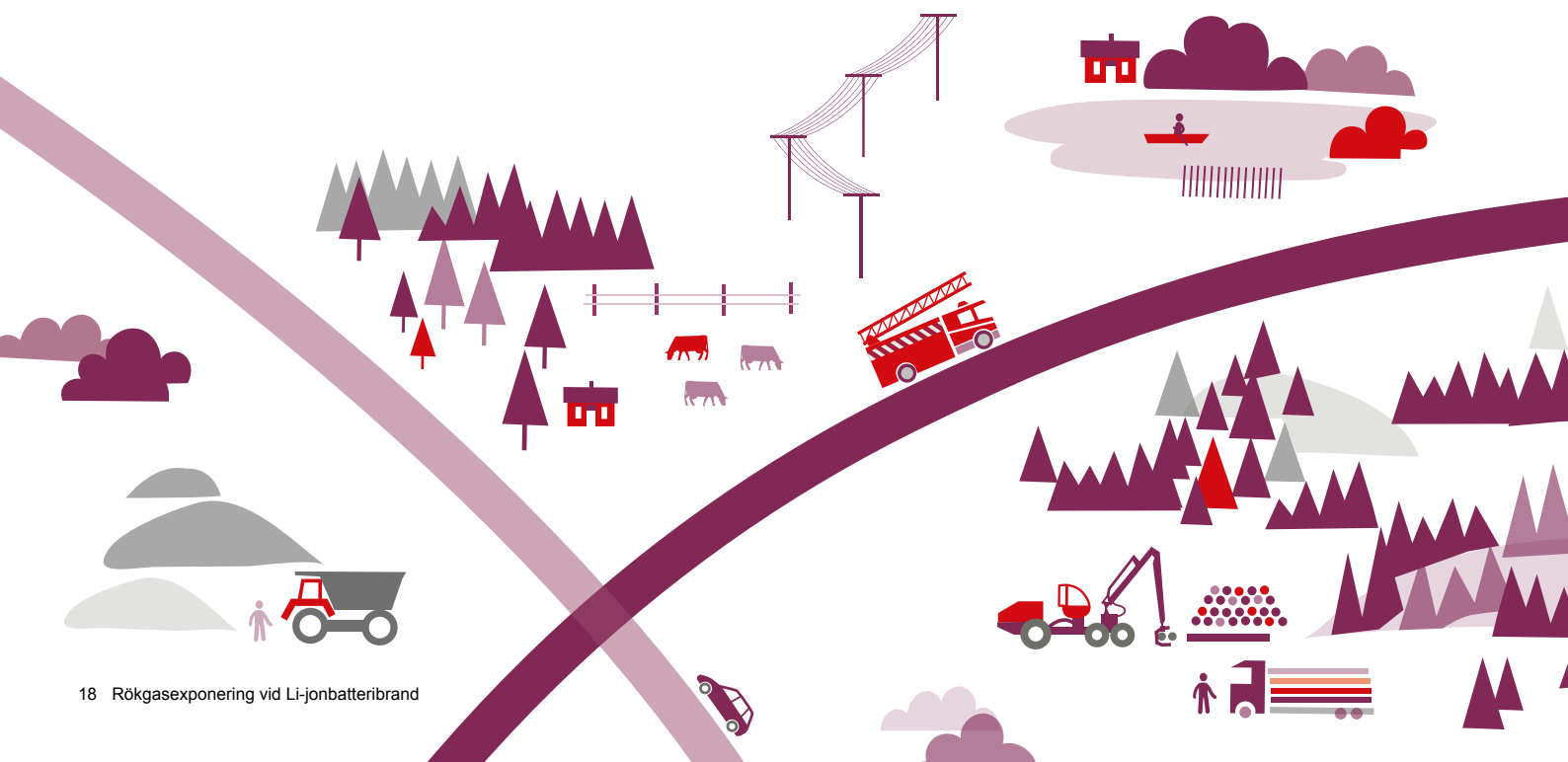
Sammanfattning; Det är mycket svårt att dra några bestämda slutsatser av detta enskilda fall. Symtomen från luftvägar och ögon kan tyda på exponering för retande gaser, inklusive HF. Ingenting i laboratorieundersökningar, eller i det fortsatta kliniska förloppet, tyder på allvarlig slemhinneskada, eller systempåverkan (påverkan på inre organs funktioner), orsakad av HF. Helt adekvat att behandla luftvägen med Kalciumgluconat aerosol tillsammans med bronkvidgande och inflammationshämmande medel enligt GICs rekommendationer. Varken patientens sprängande huvudvärk efter händelsen, eller den kvarstående muskelvärken, kan dock enkelt förklaras.

4.2 Två fall i Mellansverige

En städmaskin på laddning i källare hade tagit eld. Måttligt tät rök (som kvällsdimma) när räddningstjänsten kom till platsen. Två personer utan andningsskydd inandades under 1–2 minuter luften/röken. Man noterade lite sveda i halsen på kvällen, men inga andra symtom och man har inte noterat några långtidseffekter.

Sammanfattning

- Varken svenska eller norska myndigheter har noterat speciell problematik med vätefluorid (HF) från inandning av brandrök från Li-jonbatteribränd.
- Brandröken innehåller ett flertal retande komponenter varav HF är en.



5. Kunskaps-sammanställning

5.1 Brandrök – olika kemiska komponenter från brand i Li-jonbatteri

Brandröken kan vid Li-jonbatteribränder innehålla vätgas, metan, etan, etylen och propan som är explosiva. Brandröken innehåller också frätande, giftiga och kvävande komponenter (Willstrand et al., 2020). Bildningen av toxiska (giftiga) gaser är mest uttalad vid oxygenfattig förbränning och pyrolys (Helsebiblioteket, 2021).

5.1.1 Tekniska batteriegenskaper

Den senaste och modernaste celltypen, som har ett överlägset energiinnehåll, kallas idag vanligen för Li-jonbatteri. Små knappbatterier som kallas Li-batterier behandlas ej här. Li-jonbatterier kan ha mycket olika utformning beroende på användningsområde och tillverkarens preferenser, men innehåller ofta:

- Anod, (minus-elektrod), av koppar som oftast är bestruken med amorft kol, grafit, grafen eller en mix av dessa.
- En katod (plus-elektrod) av aluminium som kan vara belagd med ett oxidmaterial, som kan bestå av många olika komponenter som: nickel/mangan/koboltoxid, nickel/kobolt/aluminiumoxid, järnfosfatoxid, titanoxid. Där emellan avgränsas elektroderna av en separator bestående av en polymer.
- Cellen fylls sedan med en organisk elektrolyt av t.ex. alkydkarbonat, där en litiumoxid i form av ett salt lösts upp i elektrolyten.

En battericell innehåller både ett **kemiskt brännbart energilager** och ett **elektrokemiskt energilager**, plus en mängd olika oxidationsämnen där oxygen (syre) kan frigöras om cellen upphettas. Ett sådant fall kan vara det som kallas termisk rusning och det kan exempelvis utlösas av mekanisk penetration, eller temperaturer över 150–190 grader Celsius. Det som då händer är att den elektrokemiska energin agerar ”tändsticka” och tänder elektrolyten. På samma gång frigörs oxygen ifrån oxidationsämnena. Dessutom hjälper amorft kol, grafit, grafen, eller en mix av dessa till med att driva den termiska rusningen.

En omfattande inventering av det tekniska kunskapsläget är presenterat i två RISE-rapporter (Research Institutes of Sweden). Den ena omfattar bland annat 250 tekniska referenser, inom området (Bisschop, Willstrand, Amon, Rosengren, 2019) och den andra beskriver utförligt kunskapsläget avseende brandgaser, släckning etc. (96 referenser) (Willstrand et al., 2020).

5.1.2 Termisk rusning i ett Li-jonbatteri

Fordonstillverkare följer ett antal standarder och regelverk, vilket innebär att dess batterisystem är väl provade och att batteriets övervakningssystem hanterar de parametrar som krävs för god säkerhet (jfr. Hasvold et al., 2007). Säkerheten torde vara betydligt lägre i mindre batterier som exempelvis till cyklar, hoverboards etc. (Perfect Hoverboard, 2021).

Li-jonceller avger vid brand lätta och tunga ljusgråa gaser, samt mörka, nästa svarta, gaser med stor andel av amorft kol och grafit. De tunga gaserna är relativt lättantändliga och det syns hur de ”kryper” utmed underlaget. De lätta gaserna ser mera tyngdlösa ut och följer vindriktningen.

Li-jonceller kan också ”gasa” utan brand och då föreligger risk för plötslig antändning av gaserna och kanske explosion, vilket är värdefullt för räddningspersonal att känna till.

Återantändning kan ske även om till synes öppna lågor släckts vid en batteribrand. Det är då viktigt att fortsätta att kyla batteriet. Värmekamera är att rekommendera för att registrera termisk aktivitet i batteriet.

Bli inte förvånad om termisk aktivitet pågår under lång tid efter släckning. Försök som utförts under kontrollerade former på traktionsbatteri till bil har visat på temperaturer nära 500 grader Celsius under ett flertal timmar, därför är det viktigt att kyla och ha uppsikt på att temperaturen sjunker innan t.ex. bärgning av ett fordon utförs.

Läs mer:

P-O Malmqvist (2021), Utkiken, MSB, har framställt en informationsfilm avseende brand i Li-jonbatterier som återfinns [här](#) [hämtad: 2021-01-31].

5.1.3 Brännbara ämnen och komponenter i fordon och Li-jonbatterier

De vanligt förekommande kemiska vätskorna i en bil bidrar även de vid en fordonsbrand, dvs. spolarvätska, glykol, broms- och luftkonditioneringsvätska, samt hydraul- och motorolja. Dessa vätskor tillför branden energi, speciellt vid höga temperaturer i brandförloppet. När det gäller giftighet så kan alla brandgaser som kommer ut från fordonet betraktas ha en hög grad av giftighet. Brandröken innehåller komponenter som HF, HCl (saltsyra), SO₂ (svaveldioxid), CO (kolmonoxid), CO₂ (koldioxid) och mindre mängd nitrösa gaser (NO_x), plus att vissa metaller (Zn,Pb,CU) kan förekomma (Willstrand et al., 2020).

Lecocq et al. (2012) redovisade en jämförelse mellan två fordon av samma modell och fabrikat, varav det ena hade e-hybridssystem och den andra endast vanlig förbränningsmotor. Två olika fabrikat testades dvs. totalt fyra bilar. Branden spreds från kupén. Det uppstod en topp av HF tidigt i brandförloppet hos bägge modellerna för att 20–25 minuter senare följas av toppar när drivbatteriet tog eld hos e-hybridmodellen. Totala mängden HF var 2–2,5 gånger större från bilarna med e-hybriddrift. Dock var det utgående från dagens läge små drivbatterier, 15,5 respektive 23,5 kWh, man testade (Lecocq et al., 2012). Brandförsök har också utförts hos RISE av Willstrand et al. (2020). Man anger i Tabell 18 flerdubbel mängd HF i e-fordon contra bil med förbränningsmotor, men liten mängd HCN i bägge. HF och HCl nådde snabbast ”hälsofarliga” nivåer.

5.1.4 Kylmedium i fordon

Förekomst av kylmedium R134a och, i nyare fordon, R1234yf, som utgör vanliga luftkonditioneringsvätskor, har rönt viss uppmärksamhet. Farhågor om produktion av giftiga gaser vid brand (antändningstemperatur för R1234yf är 410 grader Celsius) har framförts av Daimler AG och tyska myndigheter (Kraftfahrt Bundesamt, 2013). Brandtester har gjorts av R1234yf hos FOI Umeå som visar förekomst av bland annat vätefluorid (HF) (Magnusson et al., 2016).

5.1.5 Inredningsdetaljer

Därtill utvecklar inredningsdetaljer av olika plaster (ABS och PVC) och polyuretan i säten, limningar etc. toxisk (giftig) gas vid förbränning, bland annat vätecyanid (HCN) (U.S. Department of Transportation, 1991).

5.1.6 Grundmålning och rostskydd

Rostskyddet på moderna fordon har fått betydande förbättring i jämförelse med fordon från 80-talet och äldre. Rostskyddet byggs upp med något som kallas ”ED doppning”. Ett av mellanskikten är baserat på polyuretan för att ge fyllnadseffekt. Dock kan polyuretan utveckla vätecyanid (HCN) när det värms upp till temperaturer kring 150 grader Celsius och högre. Detta gäller även lim som används för att t.ex. limma vindruta mot kaross.

5.1.7 Kompositer som t.ex. kolfiber

Kolfiber kan förväntas producera s.k. nanopartiklar som kan vara olämpliga att inandas, men de behandlas inte djupare här. Se för övrigt en vägledning om hantering av kolfiberkompositer vid olyckor (MSB, 2021), samt Bisschop et al. (2019) och Westman (2021). Andningsskydd rekommenderas mot luftburna fibrer efter exempelvis skada på, eller brand i, fiberkompositer (Bisschop et.al., 2019).

5.1.8 Framtida elektriska drivbatterier

I skrivande stund pågår forskning på bred front för att utveckla framtidens elektriska drivbatterier, som har större energitäthet än dagens batterier. Idag har Li-jonceller ett energiinnehåll som motsvarar en femtiondel (1/50) av energiinnehållet i fossilt bränsle per kilogram.

5.2 Fysiologisk effekt på människa

5.2.1 Värme

Generell påverkan av värme på kroppen: En människa utan kläder eller annat skydd kan uthärda vistelse i torr luft vid temperaturer av upp till +120 grader Celsius under några minuter. Motsvarande gräns för luft som är mättad med vattenånga ligger lägre, omkring + 80 grader Celsius. Vid en motorrumsbrand i en modern bil kan man förvänta sig att det tar 3–5 minuter (personligt meddelande M. Lindkvist) innan eld tar sig in i kupén. Temperaturen vid branden kan bli mycket hög – så hög att metall smälter.

Vid bränder orsakas brännskador främst av värmestrålning och vid kontakt med heta föremål, vätskor eller gaser. Värmestrålningen avtar med avståndet från källan. Föremål mellan strålningskällan och den som blir bestrålad kan ge ”skugga”. Kläder kan således ge ett visst skydd under en begränsad tid.

Huden: Konduktion (ledning av värme) sker om ett hett föremål kommer i direkt kontakt med huden. Konvektion innebär att värme transporteras med hjälp av het luft eller rökgas. Hur stor mängd värme som överförs beror på luftens/gasens temperatur, rörelsehastighet och fuktighet, samt på exponeringstiden och eventuellt skydd av kläder.

Andningsvägarna: Generellt sett kan sägas att om en människa inte har brännskador i ansiktet, eller sot kring luftvägarna, är risken relativt låg för brännskador i andningsvägarna. Om däremot ansiktet speciellt kring näsa och mun har brännskador, kan andningsvägarna ha skadats av hettan. Torr het luft har låg värmebärande kapacitet och ger sällan brännskador nedanför luftstrupen, men svullnad och andningshinder i ovanför liggande delar förekommer. Het vattenånga innehåller större mängd värme och kan därför ge skador längre ner i lungorna.

Andningsinsufficiens (andningssvikt) kan uppträda minuter till timmar efter exponering för brandrök. Det är ofta svårt att skilja på vad som är en effekt av hettan och vad som är en effekt av giftiga respektive retande gaser och sot. Effekter av stora hudbrännskador kan sekundärt också påverka andningen.

5.2.2 Brännskada – utbredning och djup

Vid bedömning av en brännskada måste hänsyn tas till skadans utbredning, djup och lokalisering. Den brännskadades ålder och andra skador och sjukdomar är också av betydelse för behandling och prognos.

Brännskadans **utbredning** kan hos vuxna grovt beräknas med hjälp av den s.k. 9-regeln. Huvudet utgör 9 procent, bålens bak- och framsida vardera 18 procent, varje arm 9 procent, vardera benet 18 procent och genitala 1 procent av kroppsytan. En handflata är ca 1 procent.

Brännskadans **djup** kan vara svårt att fastställa i akutskedet. En viss hjälp får man av skadans utseende och av hur sårytan svarar på tryck och smärtstimuli. Vid en yttlig överhusbrännskada (ibland kallad förstegrads skada) är endast överhuden (epidermis) skadad. Huden är rodnad, svullen och öm, **men utan blåsor**. En delhudsbrännskada (kan indelas i yttlig och djup delhudsskada, ibland kallad 2:a gradsskada) omfattar överhud och läderhud. Denna skada ger en inflammatorisk reaktion i form av svullnad, rodnad, ömhet, **blåsbildning** och ytligt cellsönderfall. En fullhudsbrännskada (ibland kallad 3:e-grads skada) innebär ett sönderfall av hudens alla cellager inklusive smärtceller och blodkärl. Huden är **blekbrun och pergamentartad** och den drabbade reagerar inte på smärtstimuli.

Brännskadans **lokalisering** är av stor betydelse. Brännskador i **andningsvägarna är mycket allvarliga** och de kan medföra att luftvägen svullnar igen och andningen hindras. Del- och fullhudsbrännskador täckande mer än 50 procent av kroppsytan kan grovt sägas vara livshotande.

5.2.3 Brandgasers medicinska påverkan

5.2.3.1 Allmänt

Exponering för brandrök är vanlig dödsorsak vid bränder inomhus, i flygplan eller båtar. Brandgasernas akuta effekt utgörs dels av en kvävande effekt dvs. de orsakar oxygenbrist hos kroppens celler. Därutöver har många gaskomponenter en giftig, eller retande effekt. Tre viktiga, ofta samverkande mekanismer, som orsakar oxygenbrist är:

1. låg oxygennivå i inandningsluften,
2. blockering av oxygenupptag i röda blodkroppar (kolmonoxid CO),
3. blockering av cellandningen (vätecyanid HCN).

Effekterna av de olika komponenternas verkan adderas mer eller mindre. Vid massiv exponering kan givetvis en situation med dödlig dos av flera komponenter föreligga. Dock finns sannolikt gränsfall där eliminering av en eller flera komponenter bidrar till överlevnad. En svårighet kan vara att identifiera olika komponenters bidrag vid rökgaspåverkan/förgiftning. Här beskrivs i första hand de komponenter man kan påverka med lämplig akut behandling.

CO och HCN hämmar således bägge oxygeneringen av kroppens celler.

Observera att dessa patienter kan se bedrägligt fräscha ut, eftersom CO ger en ”körsbärsröd färg” åt blodet och därför kan man bli lurad och tro att den drabbade är väl oxygenerad. HCN gör att kroppens celler inte kan tillgodogöra sig oxygen från blodet, vilket också kan ge intryck av att den drabbade är väl oxygenerad. Dock kan den cyanidförgiftade patienten också ge ett cyanotiskt (oxygenfattigt) intryck vilket försvårar bedömningen (Curry and Spyles, 2015).

Symtomen vid exponering för brandgaser är följande:

- Smärta och irritation i ögonen och nedsatt synförmåga, vilket kan begränsa möjligheterna att lämna platsen.
- Smärtor i andningsvägarna och bröstkorgen. I värsta fall, risk för lungödem, dvs. vätska som svämmar ut i lungorna.
- Medvetandepåverkan på grund av oxygenbrist, samt av giftiga och retande brandgaser.
- Brännskador på oskyddad hud och i luftvägar vid höga gastemperaturer.

Brandgaserna kan innehålla frätande och giftiga komponenter från många olika brinnande ämnen. Dessa kan alla bidra till att förvärra situationen utöver vad oxygenbristen orsakar. För att initialt skaffa sig en hypotes om rökgasernas innehåll kan man **”läsa branden”** dvs. bedöma vad som brinner (se avsnitt 5.1). Utgående från denna information av branden kan man få grund till en primär bedömning av vilka behandlingsbara komponenter man har att göra med.

Hur svårt påverkad den drabbade är bestäms av ämnets koncentration i kroppens målorgan och den tid som toxiska koncentrationer bibehålls. Ventilationens storlek (**andningsdjup och andningsfrekvens**) är viktig. Hänsyn måste även tas till den hastighet med vilken det skadliga ämnet kan tas upp av kroppen och exponeringstiden. Effekten kan komma snabbt, som för HCN (sekunder–minuter), eller vara fördröjd i timmar som vid nitrösa gaser. Kombinerade effekter är givetvis svåra att diagnostisera.

Gaskomponenter som är viktiga att speciellt beakta för att optimalt kunna styra en behandling är exempelvis koloxid (CO), vätecyanid (HCN), vätefluorid (HF),

saltsyra (HCl), nitrosa gaser, (NO_x), svaveldioxid (SO₂) för att nämna några, varför **korrekt och optimal behandling av de förstnämnda redan i skadeområdet är av stor betydelse för utgången.**

HF-förgiftning vid e-bilsbrand finns i princip ej beskriven i den medicinska vetenskapliga litteraturen (Westman, 2021). Man har i behandlingsrekommendationerna från norska Giftinformationsjonen (Helsebiblioteket, 2017, 2021) väl beskrivit problematiken och man har i stort samma rekommendationer som svenska GIC, vars rekommendationer beskrivs i denna rapport.

Nedan belyses några prehospitalt behandlingsbara tillstånd, vilka med rätt behandling kan bidra till att öka överlevnadsmöjligheten för den drabbade.

Läs mer:

Faktainnehållet är från MSB:s [beslutstöd](#) och från svenska Giftinformationscentralen (GIC).

5.2.3.2 Oxygen (Syre) - brist

Vid brand i ett slutet rum kan oxygenbrist uppstå på grund av att branden konsumerar oxygen. Denna brist kan förvärras vid användning av släckmedel som undantränger oxygen, som exempelvis Novec 1230. Normal luft innehåller 20,9 procent oxygen. Kroppen förmår hantera en viss sänkning. Man har inte kunnat visa någon allvarlig störning i hjärnans funktion vid 15 procent oxygen i andningsluften. Vid lägre oxygenhalt börjar dock hjärnans funktion att försämrans. Vid 14,4–11,8 procent oxygen i omgivande luft (motsvarar partialtrycket på höjder mellan 3 000–4 500 meters höjd) börjar andnings- och hjärtfrekvens att öka och **omdömesförmåga och maximal arbetskapacitet nedsätts**. Manifest oxygenbrist uppstår vid 11,8–9,6 procent oxygen i omgivande luft, vilket motsvarar oxygenets partialtryck på höjder mellan 4 500–6 000 m. Symtomen utgörs av en klar försämring av högre mentala processer och neuromuskulär kontroll. Omdömesförmågan är nedsatt. Hjärtaktivitet och andning är ökad. Kritisk oxygenbrist uppstår vid 9,6–7,8 procent oxygen i omgivande luft, vilket motsvarar en höjd av 6 000–7 600 m. Vid denna nivå inträder omtöckning, förlust av medvetande, upphörande andning, cirkulationssvikt och död.

Behandling: Vid medvetandepåverkan – ge 100 procent oxygen, gärna med övertryck (CPAP eller intubation). Vid lindriga symtom kan oxygen ges på mask eller grimma.

5.2.3.3 Kolmonoxid (CO)

Kolmonoxid tränger ut oxygenmolekylerna från hemoglobinet i de röda blodkropparna. Detta eftersom CO sätter sig på hemoglobinet > 200 gånger lättare än vad oxygenmolekylerna gör. Därvid bildas karboxyhemoglobin (COHb) som inte kan transportera oxygen. COHb ger dock blodet en bedrägligt ”körsbärsröd” färg. CO-förgiftning beräknas bidra till en betydande del av de dödsfall som är relaterade till brand. Koncentrationer på > 1 000 ppm CO i andningsluften ger symtom som huvudvärk, yrsel, illamående, svimning och i svårare fall koma och andningssvikt, beroende på koncentration CO och tid. Under den aktiva fasen av en brand och i samband med brandbekämpning kan nivåer på många tiotusen ppm förkomma. Barn reagerar mer ogynnsamt på kolmonoxid än vuxna.

CO:s egenskaper:

- CO är aningen lättare än luft.
- CO binder sig också till myoglobin som finns i muskelcellerna, samt till cytokrom C i mitokondrierna (cellens energifabrik). Hjärta och hjärna drabbas speciellt vid CO-förgiftning.
- CO vädras ut genom lungorna och hastigheten med vilken CO elimineras är relaterad till oxygentrycket i omgivningen.

Behandling: I vanlig luft halveras CO-halten i kroppen på 3–4 timmar. Om den drabbade får 100 procent oxygen reduceras denna tid till 30–40 minuter. Sådan behandling kräver helt tät mask och bör i normalfallet ges under minst 6 timmar. Om oxygen kan ges med 2,5 atmosfärers tryck i tryckkammare reduceras halveringstiden till 22 minuter.

5.2.3.4 Vätecyanid (HCN)

HCN är mycket giftigt. Dess upptäckare, den berömde svenska kemisten CW Scheele, tappade av misstag en flaska i golvet 1786 och exponerades för HCN, vilket medförde att han avled. HCN i form av blåsyra har använts i gaskamrarna under 1940-talet under namn Zyklon B.

Vätecyanid (HCN), kan utvecklas vid en lägenhetsbrand av exempelvis polyuretan (som ofta finns i möbelstoppning), melamin, plaster, bänkskivor av laminat, bomull, ull, etc. Vid brandförsök i bil uppkom HCN framförallt vid uppvärmning/förbränning av polyuretan från stolarnas stoppning, samt från karossplåtens lim och mellanskiktsslack. HCN kan också frisättas vid brand i Li-jonbatterier (Meraner et al., 2021; Willstrand et al., 2020).

HCN är en färglös gas som är **lättare än luft** och i renodlad form har en bittermandelliknande lukt, som dock inte kan urskiljas i brandrök. Dessutom har en viss del av populationen en genetisk disposition som medför att man inte kan känna denna lukt/smak. Kokpunkten är 25,7 grader Celsius.

Verkningsmekanismen är i korthet följande. När HCN når lungorna går substansen igenom lungblåsorna och via blodomloppets artärer till kroppens celler. Där blockeras i mitokondrierna (som är cellens energiproducent) den så kallade elektrontransportkedjan. Då stängs cellernas normala energiproduktion av och de slutar fungera, vilket är av särskild betydelse för hjärnans, hjärtats och leverns celler (Anseeuw, Delvau, Burillo-Putze et al., 2013). Eftersom oxygenet inte förbrukas i cellerna medför det att det venösa blodet kan innehålla mer oxygen än ordinarie när det går tillbaka mot hjärtat.

Giftighet; Dödlig koncentration inom 10 minuter är 181 ppm, omedelbart dödande: 270 ppm. Enligt Arbetsmiljöverket (2018) är maxvärdet för exponering i maximalt 15 minuter, 3,6 ppm (4 mg/m³).

HCN påverkan ska misstänkas vid HCN-producerande brand ("läs branden") och då den drabbade är sotig kring näsa och i andningsvägar. Symtomen kan vid inandning komma sekundsnabbt, men också dröja några minuter. I lindriga fall (medvetandegrad enligt Glasgow Coma Scale GCS \geq 14) förekommer huvudvärk, omtöckning, hyperventilation (ökad andningsfrekvens), dyspné (ansträngd andning) och eventuellt smak/luft av bittermandel eller metall. I svårare fall tillstöter kall, fuktig hud, tilltagande medvetandesänkning. Måttlig förgiftning (GCS 10–13) och svår förgiftning (GCS \leq 9) innebär förutom tilltagande medvetandesänkning även ökande risk för kramper, cirkulationsrubbingar, andningssvikt och lungödem

(Anseeuw et al., 2013). Eftersom blodet ej avgett oxygen till cellerna har det venösa blodet man ser på slemhinnor och nagelbädd en rödare färg än vanligt. Vid samtidig oxygenbrist och/eller cirkulationspåverkan kan dock den drabbade ibland uppvisa cyanos (oxygenbristecken), så tillståndet kan vara svårbedömt – vilket ytterligare betonar vikten av information om vad som brinner dvs. av att ”läsa branden”.

Behandling: Enligt rekommendation från GIC ges till medvetandesänkt (GCS \leq 13) vuxen patient, vid brand där risk för HCN exponering föreligger, Hydroxykobalamin (Cyanokit[®]) – 5 g i 200 ml NaCl som infusion under 15–30 minuter. Ju tidigare man ger antidoten desto bättre, dvs. helst i skadeområdet. Om allvarlig cirkulationspåverkan (chock/hjärtstopp) eller koma (GCS \leq 9) inte viker på 5 g kan dosen upprepas.

Ett alternativ är Natriumtiosulfat 150 mg/ml – 100 ml iv som ges under 5–10 minuter. Detta alternativ är billigare, men betydligt mindre effektivt än Cyanokit[®].

Försiktighet vid hjärtlungräddning har tidigare rekommenderats på grund av befarat HCN-innehåll i utandningsluften. Denna risk bedöms dock som mycket låg, när exponeringen skett via brandrök

Beträffande dosering för barn och andra närliggande frågor – hämta information från GIC, telefon 112 eller 010-4566700.

5.2.3.5 Vätefluorid (HF)

Detta avsnitt är ett utdrag ur ”Bilaga” som är en omfattande kunskapssammanställning över HF:s medicinska effekter både i vätske och gasform, som är författat av överläkare Erik Lindeman, Giftinformationscentralen.

Läs mer

HF har potentiellt otrevliga egenskaper. HF i brandgasform synes dock sällan nå så höga nivåer att den kan utgöra ett hot mot människa. Se [instruktionsfilm](#) av Gunnvall, Molander, Lindeman (2021).

Förekomsten av HF i brandrök vid Li-jonbatteribrand har väckt stor uppmärksamhet såväl medialt som hos myndigheter och räddningsorganisationer.

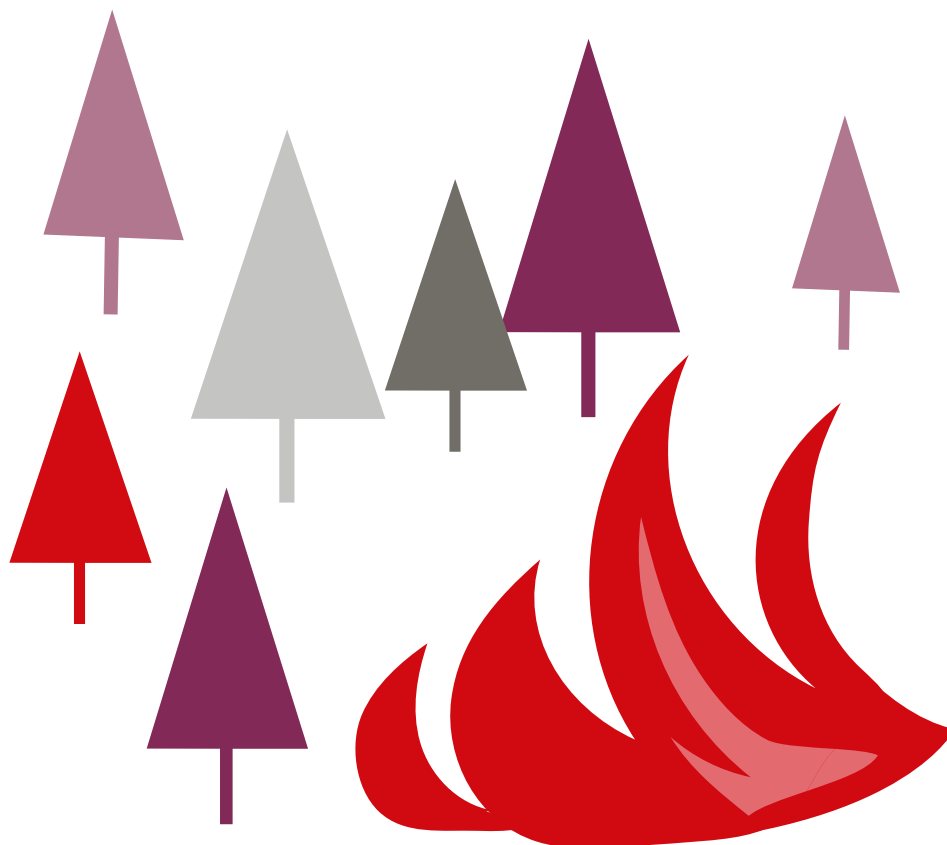
Giftinformationscentralen (GIC) har under senare år vid upprepade tillfällen kontaktats av räddningstjänster som uttryckt oro och osäkerhet över vilka risker HF i brandrök från brinnande batterier innebär vid räddnings och släckningsarbete. GIC har dock **inte blivit konsulterad i något enda fall** där brandröksexponering lett till förgiftningssymtom **som kan bedömas tyda på en toxisk (giftig) inverkan av HF**. Inte heller GIC:s omvärldsbevakning har givit för handen att HF i rök från brinnande Li-jonbatterier innebär något särskilt akuttoxikologiskt problem.

HF kan bildas vid brand som förgasar elktrolyten i Li-jonbatterier, samt vid brand i andra produkter som innehåller fluorföreningar (t.ex. luftkonditioneringsvätskor eller brandsläckarsystem). HF förekommer då som en av många toxiska och retande komponenter i brandröken och det har varit oklart i vilken utsträckning HF bidrar till att signifikant öka rökens giftighet.

Basala fakta om koncentrationer: Detektionsgränsen för den stickande, skarpa lukt som är karaktäristisk för gasformig HF är 0,02–0,13 ppm och exponeringsförsök på människa har visat att irritation från ögon och luftvägar blir påtaglig vid 5 ppm, men att nivåer upp till ca 30 ppm ”kan tolereras” (National Research Council, 2014).

Koncentration HF i brandrök från Li-jonbatterier: Vid mätningar i rökplymen från brinnande Li-jonbatterier i bilar av olika storlekar har man uppmätt HF-koncentrationer på 150–450 ppm under kortvariga toppar, medan nivåerna under större delen av brandförloppet ligger runt eller under 50 ppm (Truchot et al., 2018; Larsson, Andersson, Blomquist, Mellander, 2017). Vid en batteribrand i slutet utrymme skulle högre koncentrationer dock kunna tänkas uppkomma, men publicerade empiriska studier tyder inte på att detta sker i praktiken. I en studie utförd för MSB visade det sig omöjligt att uppnå detekterbara nivåer av gasformig HF i en testcontainer som fyllts med röken från två Li-jonbatterier försatta i termisk rusning (Wingfors et al., 2021). En förklaring till detta fynd skulle kunna vara att den kemiska reaktiviteten hos gasformig HF gör att gasen snabbt binder sig till olika ytor som den exponeras för och därmed försvinner ur atmosfären. Detta fenomen har demonstrerats i en holländsk studie där röken från fem Li-jonbatterier leddes in ett litet röktält. Nivåerna av gasformig HF sjönk från initiala 100 ppm till 5 ppm på 20 minuter – se även figur 3 i referensen van Veen och Koppen (2020). Den holländska studien väcker också frågor om vilka absoluta mängder HF som genereras i röken från brinnande Li-jonbatterier. Den totala mängden fluoridjon på de mest kontaminerade ytorna i röktältet (efter att åtta Li-jonbatterier eldats upp) uppgick till 220 µg/100 cm², en mycket låg mängd.

Sammanfattning: De låga koncentrationer av HF som i praktiken verkar uppstå vid bränder i Li-jonbatterier gör att det är osannolikt att gasformig HF på ett betydelsefullt vis gör röken från dessa bränder giftigare än annan brandrök. Människans höga känslighet för även små mängder gasformig HF i inandningsluften gör det otänkbart att potentiellt akutgiftiga koncentrationer (>50–100 ppm) skulle kunna förbli obemärkta. Gasformig HF kan inte ge upphov till lungödem som



enda symtom och det är uteslutet att exponering för rök från brinnande Li-jonbatterier skulle kunna ge upphov till systemtoxicitet (dvs. giftverkan på kroppens inre organ) som exempelvis hjärtpåverkan.

Behandling: Vid kraftig exponering med symtom från luftvägarna kan man komplettera sedvanlig behandling (bronkvidgande och inflammationshämmande medel) med inhalation av nebuliserad, dvs. finfördelad aerosol, av kalciumglukonat som är en antidot mot HF. Kontakta gärna Giftinformationscentralen för råd.

5.2.3.6 Allmänt om andra brandgaser

I bostäder och moderna fordon används alltmer material som kan ge upphov till elakartade komponenter i brandgaserna. Vid brandförsök med e-fordon och batteribrand har ett stort spektrum av olika gaskomponenter identifierat som är ogynnsamma vid inandning. Som exempel kan förutom CO nämnas HCl (sallsyra), NO_x (kväveoxider), SO₂ och olika kolväteföreningar (Lecocq et al., 2012; Willstrand, 2020). Vidare kan dessutom explosiva gaser som H₂ (vätgas) bildas vid brand i Li-jonbatteri enligt Meraner et al. (2021). Metallsbstanser är mer ett problem för omgivningen än ett akut hälsoproblem enligt Willstrand et al. (2020).

Behandling: Inandning av brandgaser behandlas enligt standardråden med tillägg för speciell behandling vid HCN och HF exponering (se ”Kom ihåg för räddningspersonal” på sida 5). Behandlingen bör insättas prehospitalt och de allvarligare konsekvenser bör handläggas inom kvalificerad sjukvård.

Sammanfattning

- Många frätande och giftiga komponenter förekommer i samband med Li-jonbatteribrand.
- Viktigt att ”läsa branden” för att på detta sätt kunna sluta sig till vilka speciella behandlingsbara komponenter som är sannolika.
- Frätande gaskomponenter behandlas medicinskt ungefär som astma med bronkvidgande och anflammationshämmande medel.
- Mot speciella komponenter som HCN och HF finns bra antidoter.



6. Sammanfattning och diskussion

Enligt MSB:s insatsstatistik för räddningstjänsten åren 2018–2020 för brand i Li-jonbatteri, var incidensen 13 insatser per miljon invånare och år. Vanliga orsaker var brand i mobiltelefon/läsplatta/dator, hoverboard, el- och sparkcykel. Brand i större batterier, som i de senare, gav störst behov av medicinsk bedömning. Dock fanns inget fall registrerat från brand i e-bil/fordon med misstänkt rökgas-inhalation. Rökgasernas mängd och innehåll är beroende på batteriets fabrikat och storlek, vad som tar eld omkring och hur länge rökutveckling pågår (Bisschop et al., 2019; Willstrand, 2020). I några händelser finns explosion noterad, som indikerar förekomst av explosiva gaser (jfr Meramer et al., 2021). Gemensamt är dock att brandgaserna innehåller ett flertal komplexa giftiga och frätande komponenter som ogynnsamt kan påverka den som inandas gaserna (Willstrand et al., 2020).

I knappt var tionde händelse erhöll drabbade personer medicinsk bedömning enligt MSB-data. I hälften av dessa fall angavs att man sökt sjukvårdsinriktning (4 procent), medan i den andra hälften (5 procent) av fallen gjorde ambulanspersonalen på plats en bedömning av tillståndet och att det ej var nödvändigt med ytterligare sjukvårdsbedömning.

Vid validering av angiven vårdinsats i MSB:s statistik mot CBRNE-ledningsenhetens medicinska data i Storstockholm, för ett begränsat antal fall, visade sig MSB:s data i nästa samtliga fall korrelera väl med sjukvårdens. Av dem som transporterades till sjukvårdsinriktning (14 personer) bedömdes alla vara lindrigt skadade, utom två som blivit rödprioriterade (prio 1) på grund av allvarliga brännskador. Några skadefall relaterade till systemeffekter (verkan på inre organ/cirkulation), orsakade av inandning av HF, hade ej registrerats i ledningsenhetens medicinska data för den matchade gruppen.

Denna validering indikerar således att MSB-data gav en god uppfattning om sjukvårdsbehovet i de matchade fallen. Att CBRNE-ledningsenheten inte hade data för hälften av de fall som rapporterats i MSB-data, bedöms ha sin grund i att man inte larmas ut på alla händelser, eller att annan ambulansenhet varit på plats. Ingen systematisk skillnad beroende på tid på dygnet kunde identifieras. Liknade problematik har noterats hos Kemambulansen i Perstorp (Björnstig, Westman, Saveman, Björnstig, 2020). Dock har det inte varit möjligt att undersöka om sjukvården totalt sett handlagt fall som MSB data ej rapporterat, på grund av komplicerade sekretess/beslutsregler, defragmenterad organisation, etc.

Varken svenska Giftinformationscentralen eller norska motsvarigheten har noterat några fall med typisk HF-påverkan systemiskt (på inre organ/cirkulation) vilket styrker hypotesen om att dessa fall är mycket sällsynta (jfr. Bisschop et al., 2019). Den norska nationella CBRNE-enheten har inte noterat någon särskild HF-problematik, trots att man i Norge har flest e-bilar i Europa. Detta kan bero

på att HF är så reaktiv substans att den hunnit reagera med "omgivningen" innan den inandas, varför mängden i gasform blir begränsad och inte alls i de nivåer teoretiska beräkningar ibland indikerat (Willstrand et al., 2020; Gunnvall et al., 2021). Inte heller verkar nivåerna vid genomförda praktiska försök bli farligt höga för brandmän med skyddsklädsel när man exponeras för HF i gasform (Wingfors, 2021).

Av tillgängliga data verkar brand ha uppstått både vid laddning och spontant, varav MSB noterat att elcykelbatterier inte sällan verkar ta eld spontant. 2019 års Nobelpristagare i kemi, Professor John Goodenough 97 år, fick priset för sitt mångåriga arbete med Li-jonbatteriers utveckling och säkerhet. Han nämnde i sin prisintervju, att ett kvarstående problem, som han fortfarande arbetade med, var att minska risken för dendritbildning i batterierna, dvs. det som orsakar inre kortslutning och spontan brand. Förhoppningsvis kommer denna risk att minska i framtiden.

Data avseende drabbade som identifierats genom MSB:s insatsrapporter visade i de flesta fall beskedlig påverkan. Dessa verkar i många fall inte ha krävt särskild behandling. I ett fall som uppfångats via MSB:s olycksutredare, vårdades den drabbade i respirator med fullständig terapi mot rökgas- och HF-påverkan med gott resultat. Dock hade han kvarstående muskulära smärtor i flera månader, vilka synes vara svårförklarliga. Varken CO-förgiftning eller bristande oxygenering (syresättning) hade förelegat, vilket ibland kan orsaka muskelskador (Kim, Woo & Kang, 2019).

Man kan inte bortse från att denne drabbade, som exponerats ½–1 minut av mycket tät brandrök, uppvisade dimsyn och ögonsveda, intensiv hosta och senare svullnad i övre luftvägarna. Detta kan gå samman med aggressiva gaskomponenter som kan bildas vid brand i dessa batterier såsom HF, HCl, NO_x, SO₂. Denne drabbade hade sannolikt ändå en beskedlig exponering och hans omhändertagande kan illustrera en modell för offensiv rökgasbehandling.



Standardbehandlingen vid rökgaspåverkan har som gemensam nämnare att förbättra oxygeneringen av kroppens celler. Det innebär behandling med oxygen, samt bronkvidgande och inflammationshämmande farmaka (kortison), för att förbättra utbytet av oxygen i lungorna. För att bryta HCN effekten ges vid allvarlig påverkan (medvetandesänkning/koma) och sot i/kring näsa och andningsvägar Cyanokit® så fort som möjligt. Detta medför att man bör försäkra sig om tillgång till denna substans vid uttryckning till brandhärd, liksom att ta med Kalciumgluconatlösning för kupering av HF:s effekt på lufvägarna om Li-jonbatteri brunnit. Se för övrigt avsnittet om behandlingsrekommendationer sida 6.

Den dos av ogynnsamma brandgaskomponenter den drabbade utsätts för bestäms av ämnets koncentration i luft/rök och tiden. Det är ofta svårt att beräkna enskilda komponenters bidrag från en rökplym innehållande ett stort antal komponenter, som också kan variera under tid. Beträffande HF kan nämnas att i en avhandling från Oslo (Lund, 2006), har friska försökspersoner exponerats en timme för HF i nivåer som ansetts acceptabla ur arbetarskyddssynpunkt (< 2 ppm). Undersökningarna visade viss slemhinnepåverkan i lufvägarna även vid dessa låga nivåer, till största delen lokaliserade i övre delen, vilket verifierades med inflammatoriska indikatorer. U.S. Environmental Protection Agency (2014) har förutom Lunds data också inkluderar data från diverse djurförsök. Data är spretiga. Man refererar bland annat till försök med Rhesusapor där LD50 beräknats, dvs. dosen där 50 procent avlider. LD50 för 1 timmes exponering för HF gas var 1 775 ppm.

På nuvarande kunskapsläge kan man således betrakta och behandla HF i gasform enligt standardbehandling för retande gaser. Försiktighetsprincipen gör dock att om exponering av HF i gasform förekommit och den drabbade har tecken på inandning av retande gas, bör man komplettera standardbehandlingen för retande gaser med inhalation av nebuliserad Kalciumgluconatlösning och ta kontakt med Giftinformationscentralen. I Norge rekommenderas kalktablett prehospitalt i svåra fall (Helsebiblioteket, 2017), vilket inte längre är fallet enligt de uppdaterade rekommendationerna från GIC i Sverige

Brandgaserna vid inomhusbränder där Li-jonbatterier förekommer kan innehålla många komponenter som man givetvis bör undvika att inandas. Förutom frätande och oxygnehämmande komponenter, kan ibland vätgas förekomma, som kan initiera explosion. Detta kan vara värdefullt att beakta vid en räddningsinsats.

Konklusion:

- "Att läsa branden" utgör en betydelsefull faktor för att initialt bilda sig en uppfattning om vad som brinner och vilka brandgaser man har att hantera. Detta är viktig information för val av bästa behandlingsstrategi.
- Med nuvarande kunskapsläge kan man bedöma att gaskomponenten HF säl-lan, eller inte alls, ger systemeffekter på kroppens inre organ. Den är en retande gas bland andra retande gaser, med effekt på framförallt övre lufvägarna.
- Skadeeffekterna vid Li-jonbatteribrand kan reduceras om man behandlar de oxygnehämmande komponenterna offensivt enligt etablerade standard-metoder för retande gaser, samt har beredskap att omgående nyttja tillgängliga antidoter (motmedel) mot HCN och HF.

7. Referenser

- Anseeuw K, Delvau N, Burillo-Putze G, De Iaco F, Geldner G, Holmström P, Lambert Y, Sabbe M. Cyanide poisoning by fire smoke inhalation: An European expert consensus. *European Journal of Emergency Medicine*. 2013;20:2-9.
- Arbetsmiljöverket. Hygieniska gränsvärden 2018:1. <https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/foreskrifter/hygieniska-gransvardens-afs-2018-1.pdf> [hämtad: 2022-02-01].
- Bisschop R, Willstrand O, Amon F. Fire Safety of Lithium-Ion Batteries in Road Vehicles. RISE Report 2019:50. ISBN 978-91-88907-78-3. Research Institutes of Sweden. Borås. 2019. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1317419/FULLTEXT02> [hämtad: 2022-02-01].
- Björnstig J, Westman A, Saveman B-I, Björnstig U. ”Kemambulansen i Perstorp – värdefull kompetens vid CBRNE – händelser. Kunskapscentrum för katastrofmedicin, Umeå universitet. Umeå. 2020.
- Curry S, Spyrer M. Cyanide: Hydrogen Cyanide, Inorganic Cyanide Salts, and Nitriles. In Brent et al. (eds.) *Critical care Toxicology*. Springer International Publishing, Switzerland. 2015.
- From A, Lindström F. Brand i byggnad. Storstockholms brandförsvär Dnr 360-203/2020. Stockholm. 2020-02-28. Stockholm. 2020.
- From A, Wiberg G. Litium-jon relaterade bränder 2020. Slutrapport. Storstockholms brandförsvär. 2020-12-02. Stockholm. 2020.
- Gunnvall K, Molander B, Lindeman E. Instruktionsfilm. Prehospital förmåga vid insatser med bränder i litiumjonbatterier. Region Stockholm. 2021. https://youtu.be/vaspu8f_X_w [hämtad: 2021-01-31].
- Hasvold Ø, Forseth S, Johannessen T, Lian T. Safety aspects of large lithium batteries. Norwegian Defence Research Establishment. Rapport 01666-2007. Kjeller, Norway. 2007.
- Helsebiblioteket, 2017. <https://www.helsebiblioteket.no/forgiftninger/gasser-og-kjemikalier/hydrogenfluorid-flussyre-og-hydrogenfluoridgass-forstehjelp-ved-forgiftning> [hämtad: 2021-01-31].
- Helsebiblioteket 2021. <https://www.helsebiblioteket.no/forgiftninger/gasser-og-kjemikalier/batteribrann-litiumion-batteri-behandlingsanbefaling-ved-forgiftning> [hämtad: 2021-01-31].
- Kim SG, Woo J, Kang GW. A case report on the acute and late complications associated with carbon monoxide poisoning: Acute kidney injury, rhabdomyolysis, and delayed leukoencephalopathy. *Medicine (Baltimore)*. 2019 May;98(19):e15551. doi: 10.1097/MD.00000000000015551.

- Kraftfahrt-Bundesamt. Projektbericht über Versuche mit Fahrzeugen zur Entflammung und HF-Exposition mit Fahrzeugklimaanlagen bei Verwendung von R1234yf. Kraftfahrt-Bundesamt – KBA 1-8 (2013). Flensburg. 2013.
- Larsson F, Andersson P, Blomqvist P, Mellander B-E. Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires. *Sci Rep*. 2017;7(1):102.
- Lecocq A, Bertana M, Truchot B, Marlair G. Comparison of the fire consequences of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle. 2nd International Conference on Fire in Vehicle – FIVE 2012, Sep 2012, Chicago, United States.
- Lund K. Effects of Experimental Hydrogen Fluoride Exposure on Upper and Lower Airways in Healthy Volunteers. Thesis. Faculty of Medicine, University of Oslo No.268. Oslo. 2005. ISBN 82-8072-173-8.
- Magnusson R, Hägglund L, Gustafsson Å, Bergström U, Lejon C. Identification and brief toxicological assessment of combustion products of the refrigerant HFO-1234yf. FOI-rapport, FOI-R--4285—SE. Umeå. 2016.
- Malmquist P-O. Bränder i Litiumjonbatterier 2021-12-12. https://www.youtube.com/watch?v=g2o_e7FQcaM [hämtad: 2021-01-31].
- Meraner C, Li T, Sanfeliu Meliá C. Avgassing fra litium-ion batterier i hjemmet. RISE-rapport 2021:17. Trondheim. 2021. <https://risefr.no/media/publikasjoner/upload/2021/rise-rapport-2021-17-avgassing-fra-litium-ion-batterier-i-hjemmet.pdf> [hämtad: 2021-01-31].
- MSB. Hantering av kolfiberkomposit vid olyckor. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. Publikation MSB 1747. Karlstad 2021. ISBN 978-91-7927-136-7. <https://rib.msb.se/filer/pdf/29870.pdf> [hämtad: 2022-01-31].
- National Research Council (US) Subcommittee on Acute Exposure Guideline Levels. Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 4. Washington (DC): National Academies Press (US); 2014.
- Perfect Hoverboard. Do hoverboards still catch fire in 2021? <https://perfecthoverboard.com/do-hoverboards-still-catch-fire> [hämtad: 2021-01-31].
- Söderholm T. Projekt el-hybridfordon. Enkät till 100 räddningstjänster. Sammanställning av inkomna svar. Dnr 2011-1687 MSB, Karlstad. 2011-08-31.
- TheFlightChannel, 2018. Boeing 747 Crash in Dubai | Fatal Delivery | UPS Airlines Flight 6. <https://www.youtube.com/watch?v=EfdrrhtvzYZU> [hämtad: 2022-02-01]
- Truchot B, Fouillemn F, Coillet S. An experimental evaluation of toxic gas emissions from vehicle fires. *Fire Safety Journal*. 2018;97:111-118. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379711217307312#!>
- UPS Airlines Flight 6, Wikipedia 2010. [hämtad: 2022-02-01] https://en.wikipedia.org/wiki/UPS_Airlines_Flight_6
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA) 3. Hydrogen Fluoride. Acute Exposure Guideline Levels. In Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals. Volume 4. National Research Council of National Academies. The National Academic Press. Washington, D.C. 2004:123-186.
- van Veen N, Koppen A. Emergency responses in smoke from Li-ion batteries. In: FIVE 2020. Research Institutes of Sweden. Borås. 2020.

- Westman A. Framtida kemiska risker för räddningstjänst och allmänhet vid brand i moderna fordon. MSB rapport 1723. MSB, Karlstad. 2021. ISBN: 978-91-7927-123-7.
- Willstrand O, Bisschop R, Blomqvist P, Temple A, Anderson J. Gases from Fire in Electric Vehicles. RISE Report 2020:90. Research Institutes of Sweden. Borås. 2020. <http://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:1522149/FULLTEXT01.pdf> [hämtad: 2022-02-01].
- Wingfors H, Magnusson R, Thors L, Thune M. Gasformig HF vid brand i trånga utrymmen-risker för hudupptag vid insatser. MSB rapport MSB1723. MSB, Karlstad. 2021. ISBN: 978-91-7927-123-7.



| Bilaga

8. Vätefluorid (HF) i vätske- och gasform

Avsnittet är författat av överläkare Erik Lindeman, Giftinformationscentralen. Referenslistan i detta avsnitt har medveten annan layout än i föregående text för att undvika förväxling.

Vätefluorid (HF) kan bildas vid brand som förgasar elektrolyten i Li-jonbatterier, samt vid brand i andra produkter som innehåller fluorföreningar (t.ex. luftkonditioneringsvätskor eller brandsläckarsystem). HF förekommer då som en av många toxiska (giftiga) och retande komponenter i brandröken och det är oklart i vilken utsträckning HF bidrar till att signifikant öka rökens toxicitet.

Förekomsten av HF i batteribrändröken har väckt uppmärksamhet såväl medialt som hos myndigheter och räddningsorganisationer. Giftinformationscentralen (GIC) har vid flera tillfällen kontaktats av representanter för räddningstjänster från olika delar av landet, som uttryckt oro och osäkerhet över vilka risker HF i brandröken från brinnande batterier innebär för dem och deras kollegor. GIC har dock **inte blivit konsulterad i något enda fall där brandröksexponering lett till förgiftningssymtom som kan bedömas tyda på en toxisk inverkan av HF**. Inte heller GIC:s omvärldsbevakning har givit för handen att HF i rök från brinnande Li-jonbatterier innebär något särskilt akuttoxikologiskt problem.

De kunskaper vi har om de toxiska effekterna av HF kommer huvudsakligen från den flytande formen av ämnet, som kallas fluorvätesyra. Men fluorvätesyrans giftighet varierar kraftigt med både exponeringsväg och – framförallt – med koncentration. Det är vanskligt att extrapolera från erfarenheter från notoriska olyckor med högkoncentrerad fluorvätesyra till att uppskatta risker med utspädd fluorvätesyra eller med HF i röken från brinnande batterier. Det är dock troligt att en sådan extrapolering bidragit till att skapa den uppmärksamhet och oro i över HF i batteribrändrök som finns i samhället. Följande text är ett försök att, utifrån den tillgängliga litteraturen, göra en mera nyanserad bedömning av vilken risk HF utgör i sina olika ”skepnader”; med olika koncentration och i olika fas.

8.1 HF i vätskeform

Vattenfri fluorvätesyra (> 70 procent) är en av de starkaste syrorna vi känner och har ett välförtjänt rykte som ett mycket farligt ämne. Flera av kemivetenskapes pionjärer (bl.a. Humphrey Davy) skadades svårt när de först stötte på ämnet under 1800-talet. Fluorvätesyra kom därför att kallas ”the Tiger of Chemistry”. Vid hudexponering uppkommer snabbt smärtsamma skador som tränger djupare ner i huden under loppet av minuter–timmar. Då sker också ett upptag av fluoridjoner till blodet, vilket kan orsaka svår ”systemtoxicitet”. Fluoridjonen är mycket reaktiv och angriper många viktiga strukturer i kroppen. Bland annat bildar den

olösliga salter med kalcium- och magnesiumjoner, vilket kan medföra uttalad brist på dessa elektrolyter (hypokalcemi och hypomagnesemi), vilket i sin tur kan leda till att hjärtat stannar. Även en liten hudexponering för vattenfri fluorvätesyra (< 1 procent av kroppsytan) kan leda till livshotande systemtoxicitet. Ämnets förmåga att destruera förvaringskärl (både glas och metall) och det faktum att det ångar kraftigt ("ryker") i rumstemperatur, ökar riskerna. Vattenfri fluorvätesyra förekommer som industrikemikalie och är omgärdad rigorös säkerhet, vilket bidragit till att göra exponeringar mycket ovanliga i Sverige.¹

Utspädd fluorvätesyra (5–20 procent) används för rengöring av metallplåtar och svetsfogar (s.k. "betmedel"). Betmedel är ofta blandningar där även andra toxiska ämnen (t.ex. saltpetersyra) ingår. GIC mottar varje månad flera samtal rörande accidentell yrkesrelaterad hudexponering för betmedel. Obehandlad kan en sådan exponering leda till smärtsamma hudskador/nekrotiska sår, som kan progrediera under loppet av flera dagar. Utspädd fluorvätesyra är dock en svag syra (jämförbar med vinäger), vilket kraftigt begränsar fluoridjonens förmåga att passera hudbarriären och systemtoxicitet uppkommer enbart vid mycket stor hudexponering eller efter förtäring. Tidig insatt behandling (med avtvättning och applicering av kalciumglukonatgel) förhindrar dessutom sårbildning i nästan samtliga fall.

Sammanfattning

- Fluorvätesyra har ett välförtjänt rykte som en uttalat toxisk kemikalie.
- Hudexponering för den vattenfria formen kan leda till svåra hudskador och till livshotande systemtoxicitet.
- Hudexponering för den utspädda formen kan leda till hudskador, men mycket sällan till systemtoxicitet.

8.2 HF i gasform

8.2.1 Inhalationsexponering och risk för systemtoxicitet (påverkan på inre organ)

Gasformig HF är en retande gas vars förmåga att orsaka skada, i likhet med den flytande fluorvätesyran, är beroende av dess koncentration (mätt i parts per million, ppm). Vattenfri fluorvätesyra "ryker" och kan i samband med industriolyckor bilda en dimma av gasformig HF i mycket hög koncentration, där exponering för gas i praktiken blir svår att skilja från exponering för flytande syra. I den publicerade litteraturen finns flera fall där systemtoxicitet och luftvägsskada uppkommit vid exponering för rykande vattenfri fluorvätesyra och gasformig HF-dimma, men i samtliga fall har påtagliga hudskador förelegat samtidigt och exponeringen kännetecknas av en kombination av hudexponering, aspiration- och eventuellt även nedsväljning av flytande syra utöver inhalationsexponering.^{2–11} I den vetenskapliga litteraturen saknas exempel på fall där isolerad inhalation av gasformig HF har lett till systemtoxicitet och vid djurexperimentell exponering för gasformig HF dör djuren för att lungan destrueras innan de drabbas av systemtoxicitet.¹²

Sammanfattning

- Inhalation av gasformig HF som enda exponeringsväg bedöms inte kunna leda till systemtoxicitet.

8.2.2 Inhalationsexponering och risk för skador på luftvägar och lungor

Gasformig HF är uttalat vattenlöslig och ger därför upphov till tydliga symtom från slemhinnor i ögon, näsa, mun och larynx. Gasen kan inte ge lungsymtom utan att först orsaka rejäla symtom från de övre luftvägarna. Härvidlag skiljer sig HF från vattenlösliga retande gaser (t.ex. nitroösa gaserna), som ger få symtom från de övre luftvägarna och istället når höga koncentrationer i lungorna, där de kan ge upphov till lungödem (vätskeutsvämning) med fördröjning. Trots detta påstås ofta gasformig HF kunna ge upphov till lungödem och att lungödemet kan debutera med fördröjning. De publicerade fall där en djup lungskada/lungödem förekommit (oftast i form av ett obduktionsfynd) handlar dock uteslutande om antingen om skador där den övre luftvägen (mun, svalg och trakea) är svårast angripen och som troligen delvis orsakats av aspiration av flytande fluorvätesyra;^{3,9,13} eller om fall där lungödemet uppkommit till följd av cirkulatorisk kollaps (hjärtsvikt) orsakad av fluoridjonsupptag via en annan exponeringsväg än lungorna (dvs hudupptag eller förtäring).^{10,13,14} (Se också avsnitt 8.3).

Djurexperimentell exponering för gasformig HF ger upphov till en skadeutbredning typisk för en vattenlöslig retande gas, där de övre luftvägarna drabbas i mycket högre utsträckning än lungan. Hos råttor, som uteslutande andas genom nosen och har vindlande näsmuskelkanaler med stor slemhinneyta, absorberas > 99 procent av tillförd HF i den övre luftvägen. För att det överhuvudtaget skall vara möjligt att studera lungskadande effekter av HF i råttförsök måste djuren tillföras gasen via trakealtub.^{12,15}

Sammanfattning

- Toxiskt lungödem som isolerat symtom bedöms inte förekomma vid exponering för gasformig HF, vare sig akut eller efter latens.

8.2.3 Gasformig HF i röken från brinnande Li-jonbatterier

Basala fakta om koncentrationer: Detektionsgränsen för den stickande, skarpa lukten som är karaktäristisk för gasformig HF är 0.02–0.13 ppm. Exponeringsförsök på människa har visat att irritation från ögon och luftvägar blir påtaglig vid 5 ppm, men att nivåer upp till ca 30 ppm "kan tolereras".¹²

Den amerikanska miljöskyddsmyndigheten har fastställt nivåer som (vid exponering i mer än tio minuter) riskerar att medföra skada till 95 ppm ("AEGL-2") respektive död till 170 ppm ("AEGL-3"). Dessa värden baserar sig på en sammanställning av den lägsta lungskadande respektive dödliga exponeringen under motsvarande tidsperiod hos trakealintuberade råttor. För att få fram AEGL-nivåerna har man delat den lägsta dödliga respektive (observerbart) skadliga dosen med en osäkerhetsfaktor ("uncertainty

factor”, UF) på 10, bland annat för att kompensera för eventuella skillnader i känslighet över artgränserna. De faktiska dödliga doserna för HF (utan tillämpad UF) är alltså tiofallt högre och överensstämmer relativt väl mellan olika arter (inklusive Rhesusapor). Få/inga dödsfall inträffar vid exponering för koncentrationer understigande 1 000 ppm (i upp till 60 minuter), medan exponeringsdoser > 5 000 ppm under kort tid (2–5 minuter) ger upphov till uttalade luftvägsskador med påtaglig dödlighet hos råtta, mus, kanin och marsvin.¹²

Två frivilliga försökspersoner exponerades (1934) för 120 ppm gasformig HF, en nivå som beskrevs som otänkbar att tolerera under mer än en minut p.g.a. olidlig sveda från ögon, näsa, mun och exponerad hud. Tretton arbetare på ett oljeraffinaderi exponerades för 150–200 ppm utan att utveckla annat än snabbt övergående måttliga symtom och i en opublicerad studie som omnämns av US Environmental Protection Agency (EPA) påstås sju arbetare ha överlevt en kort exponering för 10 000 ppm utan långsiktiga sequelae (konsekvenser).^{12,16}

8.2.4 Koncentration HF i brandrök från Li-jonbatterier

Vid mätningar i rökplymen från brinnande Li-jonbatterier av olika storlekar har man uppmätt HF-koncentrationer på 150–450 ppm under kortvariga toppar, medan nivåerna under större delen av brandförloppet ligger runt eller under 50 ppm.^{17,18} Vid en batteribrand i slutet utrymme skulle högre koncentrationer kunna tänkas uppkomma, men publicerade empiriska studier tyder dock inte på att detta sker i praktiken. I en studie utförd för MSB visade det sig omöjligt att uppnå detekterbara nivåer av gasformig HF i en testcontainer som fyllts med röken från två Li-jonbatterier försatta i termisk rusning.¹⁹ En förklaring till detta fynd skulle kunna vara att den kemiska reaktiviteten hos gasformig HF gör att gasen snabbt binder sig till olika ytor som den exponeras för och därmed försvinner ur atmosfären. Detta fenomen har demonstrerats i en holländsk studie där röken från fem Li-jonbatterier leddes in ett litet röktält. Nivåerna av gasformig HF sjönk från initiala 100 ppm till 5 ppm på 20 minuter (se även figur 3 i ref 20). Den holländska studien väcker också frågor om vilka absoluta mängder HF som genereras i röken från brinnande Li-jonbatterier. Den totala mängden fluoridjon på de mest kontaminerade ytorna i röktältet (efter att åtta Li-jonbatterier eldats upp) uppgick till 220 µg/100 cm².²⁰ Som jämförelse kan nämnas att en person överlevt en subkutan injektion av fluoridjon (via utspädd fluorvätesyra) på 350 mg, dvs. en dos 1 500 gånger högre än den holländska studiens 220 µg.³⁷

Sammanfattning

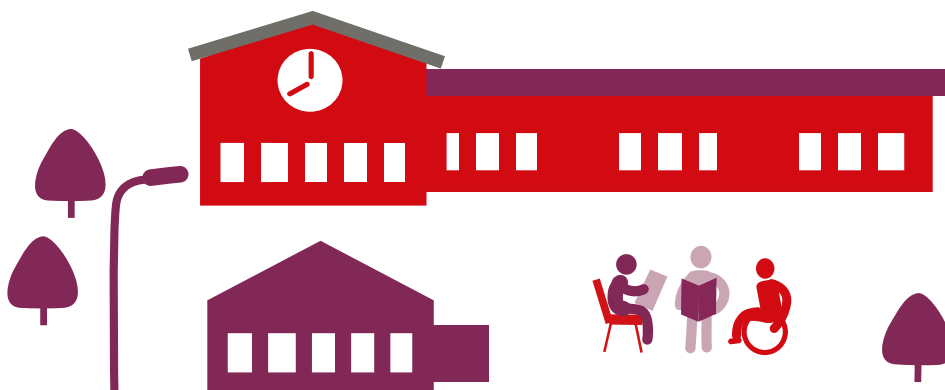
- De mycket låga koncentrationer av HF som i praktiken verkar uppstå vid bränder i Li-jonbatterier gör att det är osannolikt att gasformig HF på ett betydelsefullt vis gör röken från dessa bränder giftigare än annan brandrök.
- Människans höga känslighet för även små mängder gasformig HF i inandningsluften gör det otänkbart att potentiellt akuttoxiska koncentrationer (> 50–100 ppm) skulle kunna förbli obemärkta.
- Gasformig HF kan inte ge upphov till lungödem som enda symtom och det är uteslutet att exponering för rök från brinnande batterier skulle kunna ge upphov till systemtoxicitet (hjärtpåverkan).
- Vid kraftig exponering med symtom från luftvägarna kan man komplettera sedvanlig behandling (bronkvidgande och inflammationshämmande medel) med inhalation av nebuliserad kalciumglukonat. Kontakta Giftinformationscentralen.

8.3 Avsaknad av toxisk lungpåverkan i litteraturen

Uppfattningen att inhalation av gasformig HF kan ge upphov till lungödem verkar härröra från ett antal fallrapporter publicerade på 60-talet, där man beskriver industriarbetare vars ansikten exponerats för gasformig HF (100 000 ppm) eller för vattenfri fluorvätesyra.^{7,9,10} Patienterna avled inom loppet av 2–10 timmar och obduktion visade i samtliga fall ett hemorragiskt (blodigt) lungödem förutom svåra hudskador. Författarna bedömer att en djup lungskada bidragit till eller orsakat dödsfallen, men i de två fall där förloppet beskrivs i närmare detalj är det uppenbart att patienterna avlidit av hjärtstillstånd orsakat av systemtoxicitet, inte av andningssvikt. Hemorragiskt lungödem kan ses vid obduktion även efter dödsfall där lungan inte primärt exponerats för fluorvätesyra och orsakas troligen av cirkulationskollaps och resuscitationsåtgärder (återupplivning).^{13,21} 1965 publicerades en inflytelserik fallserie om lungödem med debut efter latens vid exponering för kemikalier.²² De flesta fallen i artikeln rör kemikalier som är välkända för att ge upphov till ett sådant förlopp (bl.a. kvävedioxid, ozon och dimetylsulfat), men här har man alltså också inkluderat ett fall med exponering för fluorvätesyra. Av de få detaljer som ges framgår att patienten fått vattenfri fluorvätesyra i ansiktet och på armarna. Patienten avled efter tio timmar och kan knappast ha varit symtomfri fram till att han trakeostomerades tre timmar in i förloppet ("latensperioden"). Obduktionen visade svåra frätskador i trakea, vilket kan förmodas bero på aspiration av vattenfri fluorvätesyra. Detta förgiftningsförlopp stämmer illa med artikelns huvudbudskap, men bidrog till att sprida föreställningen om att gasformig HF kan ge upphov till lungödem med latens.

Det finns också många publicerade fall där lungskador förknippas med HF trots att patienterna samtidigt exponerats för även andra kemikalier som egentligen bättre förklarar förloppet (ofta andra syror, t.ex. saltpetersyra vars ångor innehåller nitrösa gaser).^{23–27} I andra publicerade fall där HF påstås ha orsakat en isolerad lungskada är det inte klarlagt att någon exponering för HF skett överhuvudtaget.^{28–30}

Det finns förvisso enstaka fallbeskrivningar/fallserier och forskning på frivilliga försökspersoner som talar för att HF-exponering kan ge upphov till luftvägsinflammation/reaktiv luftvägssjukdom (RADS),^{31–33} men detta är inte unikt för HF och har inga uppenbara akuttoxikologiska implikationer. Samtidigt finns flera uppföljningsstudier efter industriolyckor (med sammanlagt flera tusen potentiellt exponerade individer) där många drabbats av ögonirritation, halsont och hosta, men där inga fall av lungödem (vare sig akut eller med fördröjning) lyfts fram.^{16,34–38}



8.4 Referenser bilaga

1. Björnhagen V, Höjer J, Karlson-Stiber C, Seldén AI, Sundbom M. Hydrofluoric acid-induced burns and life-threatening systemic poisoning – favorable outcome after hemodialysis. *J Toxicol Clin Toxicol* 2003;41(6):855–60.
2. Chela A, Reig R, Sanz P, Huguet E, Corbella J. Death due to hydrofluoric acid. *Am J Forensic Med Pathol* 1989;10(1):47–8.
3. Yuanhai Z, Xingang W, Liangfang N, Chunmao H. Management of a Patient With Faciocervical Burns and Inhalational Injury Due to Hydrofluoric Acid Exposure. *Int J Low Extrem Wounds* 2014;13(2):155–9.
4. Yamaura K, Kao B, Iimori E, Urakami H, Takahashi S. Recurrent ventricular tachyarrhythmias associated with QT prolongation following hydrofluoric acid burns. *J Toxicol Clin Toxicol* 1997;35(3):311–3.
5. Dote T, Kono K, Usuda K, Shimizu H, Kawasaki T, Dote E. Lethal inhalation exposure during maintenance operation of a hydrogen fluoride liquefying tank. *Toxicol Ind Health* 2003;19(2-6):51–4.
6. Greco RJ, Hartford CE, Haith LR Jr, Patton ML. Hydrofluoric acid-induced hypocalcemia. *J Trauma* 1988;28(11):1593–6.
7. Dieffenbacher PF, Thompson JH. Burns from exposure to anhydrous hydrofluoric acid. *J Occup Med Jun* 4; 1962;4:325–6.
8. Pu Q, Qian J, Tao W, Yang A, Wu J, Wang Y. Extracorporeal membrane oxygenation combined with continuous renal replacement therapy in cutaneous burn and inhalation injury caused by hydrofluoric acid and nitric acid. *Medicine* 2017;96(48):e8972.
9. Greendyke RM, Hodge HC. Accidental death due to hydrofluoric acid. *J Forensic Sci* 1964;9(3):383–90.
10. Mayer L, Guelich J. Hydrogen fluoride (HF) inhalation and burns. *Arch Environ Health* 1963;7:445–7.
11. Watson AA, Oliver JS, Thorpe JW. Accidental death due to inhalation of hydrofluoric acid. *Med Sci Law* 1973;13(4):277–9.
12. National Research Council (US) Subcommittee on Acute Exposure Guideline Levels. *Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 4*. Washington (DC): National Academies Press (US); 2014.
13. Manoguerra AS, Neuman TS. Fatal poisoning from acute hydrofluoric acid ingestion. *Am J Emerg Med* 1986;4(4):362–3.
14. Tepperman PB. Fatality due to acute systemic fluoride poisoning following a hydrofluoric acid skin burn. *J Occup Med* 1980;22(10):691–2.
15. Dalbey W, Dunn B, Bannister R, et al. Acute effects of 10-minute exposure to hydrogen fluoride in rats and derivation of a short-term exposure limit for humans. *Regul Toxicol Pharmacol* 1998;27(3):207–16.
16. Lee DC, Wiley JF 2nd, Synder JW 2nd. Treatment of inhalational exposure to hydrofluoric acid with nebulized calcium gluconate. *J Occup Med* 1993;35(5):470.
17. Truchot B, Fouillen F, Collet S. An experimental evaluation of toxic gas emissions from vehicle fires. *Fire Saf J* 2018;97:111–8.
18. Larsson F, Andersson P, Blomqvist P, Mellander B-E. Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires. *Sci Rep* 2017;7(1):102.

19. Wingfors H, Magnusson R, Thors L, Thunell M. Gasformig HF vid brand i trånga utrymmen [Internet]. MSB 1717 – Februari 2021 [cited 2022 Mar 15]; Available from: <https://rib.msb.se/filer/pdf/29507.pdf>
20. van Veen N, Koppen A. Emergency responses in smoke from Li-ion batteries FIVE 2020. In: Willstrand O, editor.
21. Mayer TG, Gross PL. Fatal systemic fluorosis due to hydrofluoric acid burns. *Ann Emerg Med* 1985;14(2):149–53.
22. Kleinfeld M. Acute pulmonary edema of chemical origin. *Arch Environ Health* 1965;10:942–6.
23. Bennion JR, Usaf M, Franzblau A. Chemical Pneumonitis Following Household Exposure to Hydrofluoric Acid. *Am J Ind Med* 1997;31:474–8.
24. Steverlynck L, Baert N, Buylaert W, De Paepe P. Combined acute inhalation of hydrofluoric acid and nitric acid: a case report and literature review. *Acta Clin Belg* 2017;72(4):278–88.
25. Skolnik S. Acute inhalation exposure to hydrogen fluoride: Acute inhalation exposure to hydrogen fluoride. *J Occup Environ Hyg* 2010;7(6):D31–3.
26. Tsonis L, Hantsch-Bardsley C, Gamelli RL. Hydrofluoric acid inhalation injury. *J Burn Care Res* 2008;29(5):852–5.
27. Shin JS, Lee S-W, Kim N-H, et al. Successful extracorporeal life support after potentially fatal pulmonary oedema caused by inhalation of nitric and hydrofluoric acid fumes. *Resuscitation* 2007;75(1):184–8.
28. Zierold D, Chauviere M. Hydrogen fluoride inhalation injury because of a fire suppression system. *Mil Med* 2012;177(1):108–12.
29. Kono K, Watanabe T, Dote T, et al. Successful treatments of lung injury and skin burn due to hydrofluoric acid exposure. *Int Arch Occup Environ Health* 2000;73 Suppl:S93–7.
30. Lee YJ, Jeong IB. Chemical pneumonitis by prolonged hydrogen fluoride inhalation. *Respir Med Case Rep* 2021;32:101338.
31. Franzblau A, Sahakian N. Asthma following household exposure to hydrofluoric acid. *Am J Ind Med* 2003;44(3):321–4.
32. Dayal HH, Brodwick M, Morris R, et al. A community-based epidemiologic study of health sequelae of exposure to hydrofluoric acid. *Ann Epidemiol* 1992;2(3):213–30.
33. Lund K, Dunster C, Ramis I, et al. Inflammatory markers in bronchoalveolar lavage fluid from human volunteers 2 hours after hydrogen fluoride exposure. *Hum Exp Toxicol* 2005;24(3):101–8.
34. Choe MSP, Lee MJ, Seo KS, et al. Application of calcium nebulization for mass exposure to an accidental hydrofluoric acid spill. *Burns* 2020;46(6):1337–46.
35. Na J-Y, Woo K-H, Yoon S-Y, et al. Acute symptoms after a community hydrogen fluoride spill. *Ann Occup Environ Med* 2013;25(1):17.
36. Wing JS, Brender JD, Sanderson LM, Perrotta DM, Beauchamp RA. Acute health effects in a community after a release of hydrofluoric acid. *Arch Environ Health* 1991;46(3):155–60.
37. Gallerani M, Bettoli V, Peron L, Manfredini R. Systemic and topical effects of intradermal hydrofluoric acid. *Am J Emerg Med* 1998;16(5):521–2.
38. Waldbott GL, Lee JR. Toxicity from repeated low-grade exposure to hydrogen fluoride – case report. *Clin Toxicol* 1978;13(3):391–402.



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap

I samarbete med:



Giftinformationscentralen
SWEDISH POISONS INFORMATION CENTRE



Flisa
Sveriges Ledningsansvariga
Ambulansläkare i Samverkan

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)
651 81 Karlstad Tel 0771-240 240 www.msb.se
Publ.nr MSB1960 - augusti 2022 ISBN 978-91-7927-269-2