



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap

FORSKNING/STUDIE

Framtida kemiska risker för räddningstjänst och allmänhet vid brand i moderna fordon

Framtida kemiska risker för räddningstjänst och allmänhet vid brand i moderna fordon

Tidsperiod: 2021

Utförare: Umeå universitet

Ansvarig forskare/författare: Anton Westman

Kort sammanfattning: MSB har uppdragit åt Umeå universitet att identifiera forskningsbehov beträffande kemiska risker vid fordonsbränder med fokus på medicinska konsekvenser. Flera olika metoder har använts, däribland litteratursökning, intervjuer, och analys av registerdata. Rapporten påvisar generell avsaknad av medicinsk forskning på denna typ av toxikologisk problematik samt ett flertal specifika kunskapsgap.

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)

MSB:s Kontaktpersoner: Yvonne Näsman, Andreas Papp.

Text: Anton Westman

Tryck: DanagårdLiTHO

Publ. nr: MSB1723 April 2021

ISBN: 978-91-7927-123-7

MSB har beställt och finansierat genomförandet av denna forskningsrapport. Författaren är ensam ansvarig för rapportens innehåll.

Förord

Övergången till ett fossilfritt samhälle och den allmänna tekniska utvecklingen medför förändringar av fordonen på våra vägar. De nya teknologierna förväntas introducera nya kemiska risker vid fordonsbränder, för både räddningstjänst och allmänhet. Värdefullt arbete har gjorts och pågår inom brandskyddsforskning och ingenjörsvetenskaper för att karaktärisera och åtgärda dessa nya problem. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) bedömer emellertid att beträffande de medicinska konsekvenserna finns kunskapsgap, och att den samlade bilden av den nya situationen är ofullständig.

MSB har därför uppdragit åt Umeå universitet (UmU) att identifiera framtida forskningsbehov beträffande kemiska risker för räddningstjänst och allmänhet vid fordonsbränder med fokus på medicinska konsekvenser. Arbetet har utförts av Anton Westman, docent i katastrofmedicin UmU och narkosläkare på Karolinska Universitetssjukhuset Huddinge, med bidrag från följande personer: Yvonne Näsman, Andreas Papp, Ulf Bergholm, Mattias Strömgren, och Bo Andersson, handläggare MSB; Ulf Björnstig, professor emeritus UmU; Johanna Björnstig, forskarassistent UmU; Filip Thermanius, AT-läkare Gällivare sjukhus; Johan Hylander, doktorand i katastrofmedicin UmU; Carina Teneberg, utredare Trafikverket; Peter Georén, batteriexpert och teknologie doktor vid Kungliga Tekniska Högskolan; Mats Lindkvist, expert på fordonssäkerhet och forskare vid UmU; Johanna Nordmark Grass, intensivvårdsöverläkare, Giftinformationscentralen; Jeanette Brink och Caroline Hagström, ambulanssjukvården Skåne.

Genom att ta sitt avsteg i vad insatspersonalen själva ser som prioriterat forskningsbehov vill rapporten överbrygga ett möjligt avstånd mellan praktiskt arbete i fält och forskningens kunskapsläge. På grund av det utforskande uppdraget har flera olika metoder använts parallellt.

Skå, 2021-01-28

Anton Westman

Docent katastrofmedicin Umeå universitet, narkosläkare Karolinska
Universitetssjukhuset Huddinge.

Innehåll

SUMMARY IN ENGLISH	7
Future chemical risks for emergency services and the general public in modern vehicle fires.....	7
1. INLEDNING	8
1.1 Bakgrund.....	8
1.2 Syfte och frågeställningar.....	9
1.3 Avgränsningar.....	10
1.4 Läsanvisning	10
2. METOD	11
2.1 Information från insatspersonal	11
2.2 Metodval litteratursammanställning.....	11
2.3 Metodval identifiering av primära datakällor	11
2.4 Metodval etiska hänsyn	11
2.5 Metodval primärdataanalys	11
2.6 Metodval metodologiska ramverk	11
3. RESULTAT: IDENTIFIERADE KUNSKAPSGAP AV INSATSPERSONAL.....	12
3.1 Teknologi.....	12
3.2 Toxikologi.....	12
3.3 Skydd och prehospital behandling	13
3.4 Kommentarer från sakkunniga på MSB	14
3.5 Sammanfattning identifierade kunskapsgap av insatspersonal	15
4. RESULTAT: LITTERATURSAMMANSTÄLLNING	16
4.1 Fordonsbränder i den medicinska litteraturen	16
4.2 Brand i litiumjonbatterier	17
4.3 Brandrök från kompositmaterial inklusive kolfiber	18
4.4 Brandrök från fordonsmaterial exklusive kompositmaterial	19
4.5 Hälsoeffekter på lång sikt	20
4.6 Kontamination och sanering	21
4.7 Fordonsbrand i slutet utrymme	22
4.8 Sammanfattning litteratursammanställning.....	23
5. RESULTAT: IDENTIFIERING AV PRIMÄRA DATAKÄLLOR.....	25
5.1 Registerforskning.....	25
5.2 MSB.....	25
5.3 Trafikverket.....	26
5.4 Försäkringsbolag.....	26
5.5 Regionala register	26
5.6 Samkörning av register.....	27
5.7 Etisk genomlysning	27
5.8 Sammanfattning identifiering av primära datakällor	27

6. RESULTAT: PRIMÄRDATAANALYS	28
6.1 Dos-respons	28
6.2 Antidoter	28
6.3 Kemambulansen Perstorp	29
6.4 Sammanfattning primärdataanalys	29
7. RESULTAT: METODOLOGISKA RAMVERK	30
7.1 Övergripande strategier för att minska risker	30
7.2 De tio strategierna	30
8. DISKUSSION	31
8.1 Nya tvärvetenskapliga forskningsfrågor	31
8.2 Generell avsaknad av medicinsk litteratur	31
8.3 Kunskapsgap toxicitet	31
8.4 Kunskapsgap fordonsbränder i slutna utrymmen	31
8.5 Kunskapsgap långtidseffekter av upprepad exponering	32
8.6 Kunskapsgap mindre fordon	33
8.7 Kunskapsgap kontaminationsrisker	33
8.8 Kunskapsgap brand i litiumjonbatterier	34
8.9 Kunskapsgap kolfiber	35
8.10 Tillämpning av känd kunskap: vätecyanid och kolmonoxid	35
8.11 Framtida forskning: möjliga datakällor	36
8.12 Framtida forskning: möjliga ramverk	36
BILAGA 1. METODVAL	37
Metodval information från insatspersonal	37
Metodval litteratursammanställning	38
Metodval identifiering av primära datakällor	38
Metodval etiska hänsyn	38
Metodval primärdataanalys	38
Metodval metodologiska ramverk	39
BILAGA 2. LITTERATURSAMMANSTÄLLNING	40
Fordonsbränder i den medicinska litteraturen	40
Brand i litiumjonbatterier	40
Brandrök från kompositmaterial inklusive kolfiber	43
Brandrök från fordonsmaterial exklusive kompositmaterial	44
Hälsoeffekter på lång sikt	46
Kontamination och sanering	47
Fordonsbrand i slutet utrymme	48
BILAGA 3. ETISKA HÄNSYN	51
Forskning på människor	51
Tidsrymd och utfall etikprövning	51

Sammanfattning

Övergången till ett fossilfritt samhälle och en generell teknisk utveckling förändrar våra fordon, och därmed även våra fordonsbränder. Utvecklingen går så snabbt att vad som nyligen kallades ”alternativa bränslen” snart ej längre kan anses vara alternativa, men det är inte bara energilagring och framdrivning som förändras. Konstruktion, materialval, mm, utvecklas likaså, i ett komplext samspel mellan olika systemkomponenter varav vissa är helt nya. När morgondagens fordon brinner kan därför inte rökgaser och andra kemiska utsläpp förväntas likna gårdagens. Denna rapport undersöker dessa nya kemiska problem ur ett medicinskt perspektiv, för att indikera kunskapsgap och frågeställningar som framtida forskning bör adressera. Rapporten nyttjar flera olika metoder, däribland litteratursökning, intervjuer, och analys av registerdata. Dess viktigaste resultat är:

- Det finns en generell avsaknad av medicinsk forskning på denna typ av toxikologisk problematik, som står i kontrast till en riklig ingenjörsvetenskaplig litteratur och ett stort allmänintresse.
- Dos-responsförhållanden och tröskelvärden är inte tillräckligt karaktäriserade.
- Medicinska långtidseffekter av upprepade exponering är inte tillräckligt studerade.
- Det finns problem beträffande mindre fordons brandsäkerhet, exempelvis elcyklar och hoverboards, vilket utgör en extra stor hälsofara då de kan förvaras och laddas i bostadsutrymmen.
- Det finns kunskapsgap beträffande fordonsbränder i slutna utrymmen, exempelvis parkeringsgarage och vägtunnlar.
- Det finns medicinska kunskapsgap beträffande kolfiberarmerade kompositmaterial vid fordonsbränder.
- Det finns kunskapsgap beträffande kontaminationsrisker vid fordonsbränder.
- Det finns medicinska kunskapsgap beträffande brand i litiumjonbatterier, exempelvis optimal prehospital handläggning och behandling.
- Det finns kunskapsgap beträffande blandning av olika rökgaser och olika materials korsreaktioner.
- Insatspersonal efterfrågar tydligare nationella riktlinjer beträffande prehospital användning av antidoter.

Summary in English

Future chemical risks for emergency services and the general public in modern vehicle fires

Transitions to a fossil-free society and general technological developments are changing our vehicles and, consequently, our vehicle fires. Developments are so rapid that what was recently labeled “alternative fuels” will soon no longer be considered alternative. However, not only energy storage and propulsion changes; construction and choice of materials are also undergoing developments in a complex interplay between system components, some of which are new. Future vehicle fires are therefore expected to expose the general public and the emergency services to new types and levels of toxic emissions. This report was commissioned by the Swedish Civil Contingencies Agency to examine the evolving situation from a medical perspective, aiming to indicate knowledge gaps. This report uses several methods, including literature searches, interviews, and analyses of register data. The main results are as follows:

- There is a general lack of medical research on these types of toxicological problems, in contrast to a rich engineering literature and notable public interest.
- Dose-response relationships and threshold exposure levels are not sufficiently characterized.
- Long-term medical effects of repeated exposure have not been adequately studied.
- Health hazards posed by fire safety shortcomings of small electric vehicles, such as electric bicycles and hoverboards, are aggravated by living spaces storage and charging.
- There are knowledge gaps regarding vehicle fires in enclosed spaces, such as parking garages and road tunnels.
- There are knowledge gaps regarding carbon fiber reinforced composite materials in vehicle fires.
- There are knowledge gaps regarding contamination risks in vehicle fires.
- There are knowledge gaps regarding lithium-ion battery fire emissions, such as optimal prehospital treatment.
- There are knowledge gaps regarding chemical cross-reactions in vehicle fire toxic emissions.
- The emergency services ask for clear national guidelines regarding prehospital use of antidotes.

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Att fordonsteknologiska skiften vid övergången till ett fossilfritt samhälle förväntas medföra nya risker är i facklitteratur välbeskrivet.^{1,2,3} Även publika massmedia förefaller i ökande grad uppmärksamma problemet, med ett visst fokus på elektriska fordon vars försäljning och användning ökar snabbt.^{4,5,6} Emellertid är införandet av elbilar bara ett teknologiskt skifte bland många - införandet av gasfordon, vätgasfordon (dvs elektriska bränslecellsfordon med komprimerad vätgas som energilagringssystem), samt nya material i fordonen förväntas även medföra nya kemiska risker. Det kan också vara så att inbördes förhållanden mellan olika material ändras, exempelvis mängden använd plast i förhållande till stål, och att fordonen blir större. Dessa nya fordonsvariabler interagerar med varandra och med en trafikmiljö som även den är stadd i förändring.

Betydelsen av ”risk” är inte entydig. Nationalencyklopedin beskriver risk som bestående av två komponenter: sannolikheten för en oönskad konsekvens, och konsekvensens storlek.⁷ Vad gäller nya typer av fordonsbränder förefaller visst dataunderlag finnas för sannolikhetsberäkningar,⁸ men konsekvensens storlek har ett begränsat beräkningsunderlag - om det är konsekvenser för människor som avses. Utifrån detta perspektiv inses att det inte är säkert att risker förknippade med elbilsbränder är de största riskerna vid framtida fordonsbränder, även om rökgasernas giftighet motiverar högprioriterade undersökningar.⁹

En vid fordonsbränder särskilt riskexponerad grupp är insatspersonalen, i synnerhet räddningstjänsten men även polis och ambulanspersonal. Till skillnad från allmänheten har räddningstjänsten sakkunskap och skyddsutrustning, men förväntas vid fordonsbränder till skillnad från allmänheten (som i typfallet förväntas spontanevakuera) röra sig in mot högriskmiljöer. I den för det globala

¹ Elektriska fordon och räddning - en inhämtning av erfarenheter från fältet och rekommenderade arbetssätt. MSB1533 - April 2020.

² Vägledning, räddningsinsats där litiumjonbatterier förekommer. MSB1615 - augusti 2020.

³ Brand i moderna bilar: Speciella faktorer att beakta i relation till olika drivsystem Råd till räddningstjänst- och ambulanspersonal. MSB 1124 - september 2017.

⁴ Hybridbil brann i Svedala - farlig rök spreds. SVT 9 oktober 2020.

<https://www.svt.se/nyheter/lokalt/skane/elbil-brinner-i-svedala-farlig-rok>

⁵ Elbilsbatterier - ny utmaning för brandkåren. SVT 26 februari 2018.

<https://www.svt.se/nyheter/lokalt/sodertalje/elbilsbatterier-ny-utmaning-for-brandkaren>

⁶ <https://www.elbilsstatistik.se/elbilsstatistik>

⁷ Nationalencyklopedin, risk. <http://www.ne.se.proxy.ub.umu.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/risk> (hämtad 2020-10-26)

⁸ <https://insideevs.com/news/341441/are-evs-more-or-less-likely-to-catch-fire-than-combustion-engined-cars/>

⁹ Larsson F, Andersson P, Blomqvist P, Mellander BE. Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires. Sci Rep. 2017 Aug 30;7(1):10018.

klimatet nödvändiga övergången till ett fossilfritt samhälle utgör alltså räddningstjänsten en initialt central aktör. Övrig insatspersonal förväntas bli exponerad men räddningstjänsten har det unika uppdraget att röra sig in mot riskområdet för att hantera händelsen.

Räddningstjänstpersonal har uttryckt osäkerhet vid räddning av skadade personer i krockade elbilar.¹⁰ Detta är problematiskt både vad gäller arbetsmiljö och insatseffektivitet. Riskerna för insatspersonal kan komma att förstärkas av pågående infrastrukturella förändringar såsom vägtunnlar, underjordsgarage, båtfärjor och bussterminaler under marknivå. Ökad kunskap hos räddningstjänsten om medicinska riskfaktorer vid framtida fordonsbränder skulle kunna medföra högre tillförlitlighet i riskbedömningar och därmed säkrare och effektivare räddningsinsatser, och skulle även kunna påverka val av släckmetod och strategier. Ett medicinskt inriktat kunskapsunderlag kan även ge övrig insatspersonal, främst ambulans och polis, bättre möjligheter till riskbedömning, skydd, och evakueringsbedömning (inklusive exempelvis närliggande bostadsområden), samt möjliggöra tidig diagnostik och adekvat behandling av skadliga hälsoeffekter för exponerade personer. Ett medicinskt inriktat kunskapsunderlag torde vara nödvändigt för att kunna bedöma eventuella hälsokonsekvenser på medellång och lång sikt av insatspersonals exponering. Ett medicinskt inriktat kunskapsunderlag inom föreliggande område kan vidare komma till nytta vid framtida incidenter med energilagringssystem och batterifabriker, exempelvis Northvolt i Skellefteå,¹¹ eller bostads- eller verksamhetsansluten energilagring.¹²¹³ Fördjupad medicinsk kunskap om dessa nya risker skulle slutligen kunna bli en del i framtida preventivt arbete utanför den medicinska sfären, exempelvis inom ingenjörsvetenskaperna.

1.2 Syfte och frågeställningar

Föreliggande rapports syfte är att bidra till utvecklingen av kvalitetssäkrade metoder och tekniker som stöd till de kommunala räddningstjänsterna, genom att identifiera forskningsbehov beträffande teknologi, toxikologi, och skydd vid brand i moderna fordon, med fokus på hälsoeffekter. Den huvudsakliga frågeställning som ligger till grund för rapporten är vilka risker som uppfattas av svensk insatspersonal som särskilt framträdande. Vidare utreds vilka risker vid brand i moderna fordon som finns beskrivna i litteraturen, vilka primära datakällor som skulle kunna nyttjas vid framtida forskning samt därtill kopplade etiska hänsyn, samt vilka metodologiska ramverk som skulle kunna nyttjas för att initiera och koordinera tvärvetenskaplig forskning på området.

¹⁰ Stave, C., & Carlson, A. (2017). A case study exploring firefighters' and municipal officials' preparedness for electrical vehicles. *European transport research review*, 9(2), 25.

¹¹ <https://vaxer.skelleftea.se/project/northvolt-ett/>

¹² https://www.tesla.com/sv_SE/powerpack?redirect=no

¹³ <https://www.bbc.com/news/uk-scotland-edinburgh-east-fife-46749022>

1.3 Avgränsningar

Föreliggande rapport avgränsas till den riskkomponent Nationalencyklopedin benämner konsekvensens storlek, i den snävare betydelsen hälsokonsekvenser. Sannolikhetskomponenten beaktas dock i begränsad omfattning vid primärdataanalys.

1.4 Läsanvisning

Rapporten riktar sig i första hand till forskare som önskar arbeta med dess grundfrågeställningar, i andra hand till personer som arbetar med metodutveckling, arbetsmiljö och policy inom området, exempelvis anställda inom de kommunala räddningstjänsterna. Rapporten är uppbyggd i nio delar med referenser fortlöpande fotnoterade:

1. Inledning. Presenterar rapportens bakgrund och syfte.
2. Metodbeskrivning. En utförlig beskrivning av metodval finns även i bilaga.
3. Resultat information från insatspersonal. Beskriver de frågeställningar kring grundproblemet som restes av insatspersonal vid arbetets början, och som ligger till grund för hela det övriga arbetet.
4. Resultat litteratursammanställning. Detta är rapportens omfångsrikaste del och presenterar resultat från litteratursökningar som gjorts utifrån insatspersonalens frågeställningar.
5. Resultat identifiering av primära datakällor. Beskriver ett antal möjliga datakällor för framtida forskning kring frågeställningarna.
6. Resultat etiska hänsyn. Beskriver process och utfall av en etisk genomlysning inför forskning i dessa datakällor.
7. Resultat primärdataanalys. Presenterar, kortfattat, utvalda resultat från analys av material i dessa datakällor.
8. Resultat metodologiska ramverk. Beskriver ett förslag på möjligt ramverk för framtida tvärvetenskapliga forskningsprogram.
9. Diskussion. Diskuterar resultaten i förhållande till de frågeställningar kring grundproblemet som restes av insatspersonal vid arbetets början.

I rapportens bilagor finns fördjupad information om rapportens metodval, litteratursammanställning, samt etiska genomlysning av möjlig framtida forskning.

2. Metod

Metodval beskrivs utförligt i Bilaga 1.

2.1 Information från insatspersonal

Semistrukturerad workshop med deltagande insatspersonal vid MSB:s årliga erfarenhetsseminarium i buss- och tåg räddning 2019. Workshopen inleddes med ett introducerande anförande med övergripande problemställningar, varefter ordet lämnades fritt i helgrupp. Workshopens sammanställda utfall kommenterades slutligen av sakkunniga från MSB.

2.2 Metodval litteratursammanställning

Systematisk sökning i medicinska databaser. Offentligt publicerade svenska rapporter har sökts via respektive myndighets/organisations hemsidor. Direktkontakt har initierats med vissa myndigheter/organisationer med förfrågan om interna dokument. Sökningar har gjorts på fordonstillverkarens hemsidor efter relevant information. Som indikator för det allmänna kunskapsläget och intresset har vissa sökningar gjorts i den webbaserade encyklopedin Wikipedia,¹⁴ samt den generella internetsökmotorn Google.

2.3 Metodval identifiering av primära datakällor

Bekvämlighetsurval.

2.4 Metodval etiska hänsyn

Ansökan om etisk prövning hos den nyligen upprättade Etikprövningsmyndigheten.

2.5 Metodval primärdataanalys

Nationell registerstudie respektive strukturerad intervju med rökgasförgiftad person.

2.6 Metodval metodologiska ramverk

Systematisk sökning i offentligt publicerade rapporter med huvudfokus på MSB.

¹⁴ Wikipedias innehåll produceras av dess användare utan krav på sakkunskap. Wikipedia påpekar självbeskrivande att dess artiklar har varierande kvalitet. <https://sv.wikipedia.org/wiki/Wikipedia>

3. Resultat: Identifierade kunskapsgap av insatspersonal

Personal inom främst räddningstjänst men även ambulans angav på workshopen nedanstående frågeställningar som de viktigaste att adressera vad gäller framtida kemiska risker vid fordonsbränder. De indikerade frågeställningarna har av författaren strukturerats i kategorierna Teknologi - Toxikologi - Skydd och prehospital behandling. Dessa resultat har sedan legat till grund för hela det övriga arbetet med föreliggande rapport.

3.1 Teknologi

3.1.1 Var kan man förvänta sig att en eventuell brand i ett vätgasfordon börjar och hur sprids den? Explosionsrisk? Stort brännbarhetsområde, gasmolnen kan detonera på andra sätt. ”Vi har internationellt mycket lite erfarenhet av vätgas.”

3.1.2 Standardiseringsbehov utblåsningsriktning av brinnande jet-lågor gasfordon, för att göra brandförloppet mer förutsägbart och skapa förutsättningar för en säkrare och effektivare insats.

3.1.3 Mätutrustning: Gastracker, explosimeter, etc. Vätska och partiklar (fasta ämnen i brandröken) - befintlig gasmätning utrustning detekterar inte detta tillräckligt bra. Fluorvätesyra (HF) kan mätas, men om det blandas med vatten kan det inte mätas. Kompositämnen kan varken detekteras som vätska eller gas.

3.1.4 Kan biomedicinsk kunskap om HF inhämtas från industrier?

3.1.5 Gastankarna på bussar och lastbilar är relativt oskyddade.

3.1.6 Hur vet man om alla gasflaskor är tömda? Man vet inte hur många flaskor det är, det är olika på olika gasfordon/bussar, olika för olika tillverkare.

3.1.7 Tunnlar med tilloppsluft i markplan: Lättare-än-luft gas lägga sig under taket?

3.2 Toxikologi

3.2.1 Saknas kunskap om vad som kan finnas i rökgaserna från brand i e-fordon (olika fysikaliska faser såsom vätska, gas och fasta partiklar?) och hur de olika komponenterna kan påverka människor och materiel.

3.2.2 Komposit och kolfibermaterials egenskaper vid brand och vilka effekter brandgaserna kan ha på människan. Lämplig skyddsutrustning/andningsskydd?

3.2.3 Hur bäst hantera moderna fordon som brinner nära en vattentäkt - viss kunskap finnes, mer efterfrågas, i relation till de nya kemiska riskerna.

3.2.4 Utökade kunskaper om kontaminationsrisker av omgivningen vid släckning av e-fordonsbrand efterfrågas, även i relation till val av släckmedel.

3.2.5 Effekter vid förbränning av olika moderna material i form av emissionsprodukter och ev. korsreaktioner - effekt på människan?

3.2.6 Långtidseffekter av rökgasexponering för insatspersonal vid denna typ av incidenter - cancerrisk?

3.2.7 Dos-respons. Vilka mängder/koncentrationer [av vilka ämnen] är farliga och på vilka sätt är de farliga? ”Uppdrag till medicinarna och forskarna”. Inte bara HF (”som det talas så mycket om”), vilka andra ämnen? En workshopdeltagare yttrade: ”Kolfiber är 50 ggr farligare än asbest!” - belägg angavs inte men yttrandet torde vara ett uttryck för stark oro beträffande kolfiber.

3.2.8 Vad händer om man blandar ämnen [som genereras vid brand i moderna fordon]? Eldrift, AC-gaser, plaster i bilen. Vad är det som reagerar med varandra och omgivande miljö? Samt reaktionen med vatten.

3.3 Skydd och prehospital behandling

3.3.1 Saknas klara och gemensamma behandlingsriktlinjer för olika situationer och tillstånd: Alla regioner har olika riktlinjer. Man efterfrågar gemensamma nationella sådana som bygger på ”best practice” inom både räddningstjänst och ambulanssjukvård. Hur kan insatspersonal bäst skyddas? Hur ska man arbeta för att undvika att bli kontaminerad på skadeplats och samtidigt kunna göra effektiva insatser? Prehospital behandling, riktlinjer? Cyanokit, antidoter, det finns inte i ambulanser över hela landet. I Stockholm finns det i ledningsambulansen.

3.3.2 Brandgaser från komposit och kolfibermaterial: Lämplig skyddsutrustning och andningsskydd?

3.3.3 Ska drabbade från exempelvis e-fordonsbrand saneras dvs kläs av yttre lagret kläder innan transport in till sjukhus? Kontaminerade ämnet sätter sig i kläderna och kommer då in på sjukhuset om ytterkläderna fortfarande är på.

3.3.4 Optimal policy/taktik för att skydda drabbade vid sågning av glasruta efterfrågas eftersom man alltför ofta sprider och skadas/irriteras av det nålfina/pulveriserade glaset som uppstår vid sågning.

3.3.5 Policy vid garage/inomhusbränder vid denna typ av fordon - farliga emissionsprodukter - skydd, behandlingsriktlinjer? ”Vi vet ingenting när vi går in i ett garage”.

3.3.6 Hur hantera exempelvis hoverboard och elcykelbatterier som brinner inomhus vid laddning. Skydd för räddningspersonal och ambulanspersonal? Diagnostik prehospitalt av exponerade? Behandlingsriktlinjer?

3.3.7 Hur länge står dräkt, luva och andningsmask emot exponering för brandgaser från e-fordonsbatteri? Med beaktande av cirkulation in i armar,

byxlinning, och andra skarvar vid realistiska situationer? Skiljer sig olika fabrikat åt - vilket är bäst? Inte bara beakta HF utan även andra komponenter av intresse.

3.3.8 Hur hantera räddningspersonalens kontaminerade kläder efter insats av dessa slag, och under tvätt. Hur ska tvätt av utrustningen genomföras för att den ska bli ren och utan risk kunna bäras vid nya insatser? Ålder, tvättcykler, av skyddskläder - skyddsvärde? Vilken grad av slitage kan accepteras? Vilka tvättmedel är lämpliga? Torktummlaren... vad finns i luddfiltret [efter en sådan insats]?

3.3.9 Hur får man kontaminera allmänt avlopp med spill från tvättmaskiner vid tvättning av kontaminerad klädsel efter denna typ av insatser? Sandös reningsverk säger att det är farligt: "Vi har fått anmärkningar". "Vi i Göteborg har också fått anmärkningar".

3.3.10 Hur hantera kontaminerad utrustning - rengöring även av slang, utrustning och liknande?

3.3.11 Vilka procedurer är optimala för avtagande av skyddsutrustningen? Hur sanerar man bäst ut sig efter insats i brandrök vid denna typ av fordonsbränder, som innehåller emissioner som ej bör spridas?

3.3.12 Tar ett kupéfilter i en vanlig personbil upp de giftiga komponenterna som uppstår vid fordonsbrand i exempelvis en tunnel? Dvs, de som sitter fast i de andra bilarna om en elbil börjar brinna.

3.3.13 "Vatten är bästa släckmedlet." Oavsett tillsatts med medel. Vatten för att tvätta ned molnet av gaser och ämnen samt mindre negativ inverkan på miljön. "Vatten är det vi ska koncentrera oss på" - vad blir den toxikologiska effekten när rökgaserna kommer i kontakt med vatten, eftersom vatten är det som sannolikt kommer att användas?

3.3.14 Diskussioner kring branden i Torslanda. Brand i batterilag.

3.3.15 "Uppdrag till medicinarna och forskarna: Kan vi få veta 'VILKA ÄR DE TRE VIKTIGASTE RISKFAKTORERNA' ur arbetsmiljösynvinkel"? Så att skyddande och preventiva åtgärder kan inriktas mot det som är viktigt för oss.

3.4 Kommentarer från sakkunniga på MSB

Workshopens sammanställda utfall kommenterades punkt för punkt av två sakkunniga från MSB i ljuset av myndighetens pågående (2020) arbeten och studier samt kännedom om nyligen initierade studier hos närliggande myndigheter och organisationer. Följande kunskapsgap (numrering enligt ovan) bedömdes av MSB:s sakkunniga som i avsaknad av tillfredsställande aktuell forskning:

3.2.3 och 3.2.4 Kontaminationsrisker av omgivningen. Vid fordonsbrand och släckning därav. Närhet till vattentäkt.

3.2.5, 3.2.8 och 3.3.13 Blandning av olika rökgaser. Olika materials korsreaktioner. Reaktioner med släckmedel inklusive vatten.

3.2.7 och 3.3.1 Toxicitet och hälsofara. Dos-respons, tröskelvärden. Cyanokit och antidoter, vilken tillgänglighet bör garanteras nationellt.

3.2.6 Långtids hälsoeffekter. Av exponering för insatspersonal.

3.3.6 Mindre fordon. Hoverboard, elcykelbatterier, etc.

3.3.3, 3.3.9, 3.3.10 och 3.3.11 Kontaminationsrisker allmänt avlopp. Tvättning av insatspersonalens klädsel och rengöring av utrustning efter insats. Avtagande av skyddsutrustning. Sanering av drabbade personer prehospitalt.

3.3.12 Fordonsbrand i slutet utrymme.

3.5 Sammanfattning identifierade kunskapsgap av insatspersonal

- Insatspersonal efterfrågar kunskap om toxicitet inklusive dos-respons och tröskelvärden, samt hur dessa toxikologiska effekter påverkas av om fordonsbränder sker i olika typer av slutna utrymmen.
- Insatspersonal efterfrågar kunskap om bränder i mindre fordon inklusive elcyklar.
- Insatspersonal efterfrågar nationella riktlinjer btrf antidoter.
- Insatspersonal efterfrågar kunskap om långtids hälsoeffekter av exponering.
- Insatspersonal efterfrågar kunskap om blandning av olika rökgaser med tanke på nya materials och eventuella korsreaktioner, samt reaktioner med släckmedel inklusive vatten.
- Insatspersonal efterfrågar kunskap om kontaminationsrisker vid framtida fordonsbrand och släckning därav, samt sanering.

4. Resultat:

Litteratursammanställning

Litteratursammanställningen avser beskriva befintlig litteratur, främst medicinsk, relevant för de av insatspersonalen identifierade kunskapsgapen. Dvs, systematiska sökningar har gjorts i den medicinska litteraturen efter svar på de frågor insatspersonalen hade vid workshopen 2019. Litteratursammanställningen redovisas i rapportens huvuddel översiktligt och med större detaljskärpa i Bilaga 2.

4.1 Fordonsbränder i den medicinska litteraturen

En generell sökning (2020-12-11) i den ledande medicinska databasen PubMed på "vehicle fire" smoke ger bara en sökträff.¹⁵ Breddning till *vehicle fire smoke* ger 84 resultat, varav ett flertal är irrelevanta för grundfrågeställningen. Detta är mycket låga siffror i PubMed för kända hälsoproblem, som kan jämföras med att en sökning samma datum på *road traffic injury* angav 8421 referenser (Tabell 1).

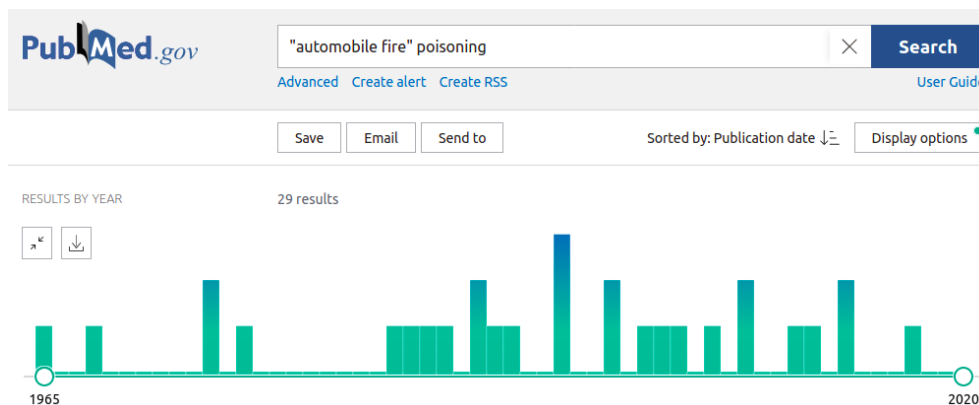
<u>Datum</u>	<u>Söktermer</u>	<u>Antal sökträffar</u>
2020-12-11	"vehicle fire" smoke	1
2020-12-11	vehicle fire smoke	84
2020-12-11	vehicle fire smoke emissions	41
2020-12-11	"vehicle fire" poisoning	0
2020-12-11	automobile fire smoke	31
2020-12-11	automobile fire smoke emissions	5
2020-12-11	"automobile fire" poisoning	29
2020-12-11	road traffic injury	8421

Tabell 1. Antal träffar vid sökning i den medicinska databasen PubMed på för grundfrågeställningen relevanta söktermer och söktermskombinationer. Webbadress <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>

De referenser som anges vid sökning på "*automobile fire*" poisoning pekar mot kolmonoxid och vätecyanid som särskilt problematiska brandrökskomponenter - första referens är från 1965,¹⁶ och den stora spridningen av publikationsdatum illustreras Figur 1.

¹⁵ Wang Q, Zhou T, Liu Q, He P, Tao C, Shi Q. Numerical study of critical re-entrainment velocity of fire smoke within the street canyons with different building height ratios. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2019 Aug;26(23):23319-23327.

¹⁶ McBay AJ. Carbon monoxide poisoning. *N Engl J Med*. 1965 Feb 4;272:252-3.



Figur 1. Publikationsdatum träffar PubMed-sökning 2020-11-12 "automobile fire" poisoning.

4.2 Brand i litiumjonbatterier

Allvarliga risker förknippade med termisk rusning i litiumjonbatterier är i den ingenjörsvetenskapliga litteraturen indikerade sedan länge.¹⁷ En sökning i PubMed på *lithium-ion battery risk* anger första sökträff till 2003.¹⁸ Antalet fullskaliga brandtest är ännu så länge begränsat.¹⁹ En känd medicinsk risk vid termisk rusning i litiumjonbatterier är rökgasförgiftning med fluorvätesyra (vätefluorid, HF). I en översiktsartikel från 2020 om denna kemikalies giftighet nämner författarna den dubbla fara som ligger i att fluorvätesyra dels är starkt frätande, dels är systemtoxiskt på cellnivå.²⁰ Giftinformationscentralen (GIC) har som underlag till sin behandlingsriktlinje för brand i elektriska fordon, 2019 års revision,²¹ gjort en litteratursammanställning vilken GIC tolkar som att cirka dubbla mängden fluorvätesyra bildas vid bränder i elektriska fordon jämfört konventionella, om branden får pågå längre tid än 25 - 30 minuter.^{22,23} GIC nämner som jämförelse en industriolycka i Sydkorea där insatspersonal och arbetare utvecklade symtom från

¹⁷ Georén, P. (2003). Characterisation and modelling of lithium-ion battery electrolytes. PhD dissertation. Kungliga Tekniska högskolan, Kemiteknik, Stockholm. ISBN 91-7283-620-2.

¹⁸ Hammami A, Raymond N, Armand M. Lithium-ion batteries: runaway risk of forming toxic compounds. *Nature*. 2003 Aug 7;424(6949):635-6.

¹⁹ Sun, P, Bisschop, R, Niu, H, Huang, X. (2020). A review of battery fires in electric vehicles. *Fire technology*, 1-50.

²⁰ Schwerin DL, Hatcher JD. Hydrofluoric Acid Burns. 2020 Aug 26. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020 Jan.

²¹ Giftinformationscentralen, 2019. BRAND I E-FORDON. Personlig kommunikation.

²² Truchot B, Fouillen F, Collet S. An experimental evaluation of toxic gas emissions from vehicle fires. *Fire Safety J*. 2018;97:111-118.

²³ Lecocq A, Bertana M, Truchot B, Marlair G. Comparison of the fire consequences of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle. *HAL*. 2014:1-12.

ögon, luftvägar samt neurologiska symtom efter uppsamlade av spill efter läckage av fluorvätesyra.²⁴ GIC rekommenderar transport till sjukhus efter exponering för gaser i samband med bränder i elektriska fordon i slutna utrymmen eller kraftig exponering. Detta är i linje med en översiktsartikel om fluorvätesyraexponering.²⁵ Vid brand i elektriska fordon rekommenderar GIC inte kalciumtabletter eller annan antidot mot fluorvätesyra på skadeplats. Översiktlig information på engelska om fluorvätesyra finns tillgänglig på USA:s folkhälsomyndighets (Centers for Disease Control and Prevention, CDC) hemsida.²⁶

I klassen eldrivna enpersonsfordon,²⁷ har den eldrivna tvåhjulbrädan hoverboard noterats ha en säkerhetsproblematik med termisk rusning i sina litiumjonbatterier som är så uttalad att den konsumentinriktade hemsidan perfecthoverboard.com har en artikel titulerad *Do Hoverboards Still Catch Fire 2020*,²⁸ i vilken konsumenten rekommenderas själv vidtaga säkerhetsåtgärder. En videosökning på internetsökmotorn Google (2020-11-19) på *hoverboard fire* indikerar 293 000 filmklipp varav ett flertal förefaller helt relevanta för grundfrågeställningen, inklusive dödsfallsbeskrivningar.²⁹ Anmärkningsvärt många av dessa filmade hoverboard-bränder är i hemmamiljö, med ett flertal personer tydligt exponerade för brandröken, i flera fall uppenbarligen utan att förstå att röken kan vara farlig. Denna publika uppmärksamhet har inte avspeglats i den medicinska forskningen: PubMed-sökning (2020-11-19) på *hoverboard fire* respektive *self-balancing scooter fire* ger inga sökträffar. För elcyklar ger Google-sökning (2020-11-19) på *electric bicycle battery fire* 1,13 miljoner filmklipp inklusive dödsfallsbeskrivningar,³⁰ medan PubMed-sökning på samma sökterm samma datum inte ger några träffar.

4.3 Brandrök från kompositmaterial inklusive kolfiber

Risker med brandrök från kompositmaterial inklusive kolfiber har tidigare uppmärksamats inom luftfart. Förutvarande Luftfartsverket (LFV) menade 2003 att kompositmaterial är den minst dokumenterade faran för räddningspersonalen.³¹ Ett medicinskt problem är att små vassa bitar av kolfiber kan blåsa omkring på haveriplats, och LFV konstaterar att även bindemedlen har

²⁴ Cho S-Y, Woo K-H, Kim J-S. Acute Symptoms in Firefighters who Participated in Collection Work after the Community Hydrogen Fluoride Spill Accident. *Annals of Occupational and Environmental Medicine* 2013;25(36):2-11.

²⁵ Bajraktarova-Valjakova, E., Korunoska-Stevkovska, V., Georgieva, S., Ivanovski, K., Bajraktarova-Misevska, C., Mijoska, A., & Grozdanov, A. (2018). Hydrofluoric Acid: Burns and Systemic Toxicity, Protective Measures, Immediate and Hospital Medical Treatment. *Open access Macedonian journal of medical sciences*, 6(11), 2257–2269.

²⁶ <https://emergency.cdc.gov/agent/hydrofluoricacid/basics/facts.asp>

²⁷ Zajc A, Spielhauer A. Eldrivna enpersonsfordon - En kunskapsöversikt om deras plats i trafiken. Koucky & Partners AB. Uppdragsnummer 17025. 2018-06-29. https://www.trafikverket.se/contentassets/e93aee6024524c3e9db9f343cd5b2899/huvudrapport_eldrivna_enpersonsfordon_20180629.pdf

²⁸ <https://perfecthoverboard.com/do-hoverboards-still-catch-fire/>

²⁹ <https://youtu.be/o27DLvSDITw>

³⁰ <https://www.dailypost.co.uk/news/north-wales-news/woman-died-after-electric-bike-17935702>

³¹ Kompositmaterial i flygplan, faror vid skadeplats. BRS/LE 01:34. LFV 2003. DNR BRS 2003-0005-072.

en toxikologisk problematik. Statens haverikommission (SHK) beskriver i en rapport över en krasch 2018 med stridsflygplanet JAS 39 C Gripen hur det initialt förelåg stor osäkerhet kring vilken skyddsnivå som borde tillämpas på haveriplatsen - polisen frågade räddningstjänsten vilket riskavstånd som gällde, men räddningstjänsten kunde inte ge något säkert och heltäckande svar.³² Gripens tomvikt är cirka 6-7 ton,³³ dvs jämförbart med en brand innefattande ett mindre antal personbilar. MSB har tagit fram en vägledning för hantering av kolfiberlaminat vid olyckor,³⁴ i vilken skyddsnivåer och begränsningsåtgärder beskrivs. Av denna MSB-väglednings totalt 12 referenser är två medicinskt fokuserade.^{35,36} Det totala antalet sökträffar i PubMed (2020-11-06) på *carbon fiber reinforced polymer risk* är 22, men bara två är relevanta.^{37,38}

4.4 Brandrök från fordonsmaterial exklusive kompositmaterial

I ovan nämnda studie av Truchot et al (2018) fanns fluorvätesyra (HF) och väteklorid (HCl, dvs den gas som i vattenlösning bildar saltsyra) ha toppar på tidsskalan vid fordonsbrand, medan vätecyanid (HCN, dvs cyanvätesyra, även kallat blåsyra) förefaller produceras kontinuerligt. I en studie från 2017 har cyanidkoncentrationer uppmätts i blodet hos 92 personer som avlidit på grund av eldsvåda och/eller rökgasexponering i olika sammanhang - de högsta koncentrationerna var hos de som exponerats i slutna utrymmen (n = 45) eller fordonsbrand (n = 8).³⁹ Författarna menar att systematiska data saknas vad gäller påverkan av vätecyanidproducerande material på cyanidkoncentrationer i blodet hos rökgasexponerade avlidna. Att vätecyanid är en betydande och eventuellt underskattad dödsorsak vid bränder generellt visades även i en svensk studie 2012.⁴⁰ Vad gäller fordonsbränder visade en svensk studie 2006 att de vid bilbrand mest vätecyanidproducerande fordonsdelarna är dörrpaneler, mattor, instrumentbrädor, och framför allt stoppade säten.⁴¹ Ett viktigt material härvidlag är polyuretan.⁴² PubMed-sökning (2020-11-10) på *polyurethane fire risk* respektive *polyurethane smoke risk* ger 14 respektive 19 överlappande resultat med relevans för

³² Olycka i Möljeröd, Blekinge län, den 21 augusti 2018 med ett militärt flygplan av typen JAS 39 C Gripen, opererat av Försvarmakten. Statens haverikommission. Slutrapport RM 2019:02. DNR M-16/18 2019-08-20

³³ Stridsflygplan JAS 39 A/B. Försvarmakten. <https://www.forsvarsmakten.se/sv/information-och-fakta/materiel-och-teknik/luft/jas-39-gripen-cd/>

³⁴ Hantering av kolfiberlaminat vid olyckor. MSB 2020-08070.

³⁵ Reinholdsson, P. (2011). Hälsorisker och skyddsåtgärder vid arbete med kompositmaterial. Brand och andra risker med farkoster innehållande kompositmaterial. Linköping: Exova AB.

³⁶ Malmsten, C. L. (2003). Medicinska aspekter på brand i advanced composite material. Luffartsverket.

³⁷ Wang J, Schlagenhauf L, Setyan A. Transformation of the released asbestos, carbon fibers and carbon nanotubes from composite materials and the changes of their potential health impacts. J Nanobiotechnology. 2017 Feb 20;15(1):15.

³⁸ Schlagenhauf L, Kuo YY, Michel S, Terrasi G, Wang J. Exposure Assessment of a High-energy Tensile Test With Large Carbon Fiber Reinforced Polymer Cables. J Occup Environ Hyg. 2015;12(8):D178-83.

³⁹ Stoll S, Roeder G, Keil W. Concentrations of cyanide in blood samples of corpses after smoke inhalation of varying origin. Int J Legal Med. 2017 Jan;131(1):123-129.

⁴⁰ Stamy K, Thelander G, Ernstgård L, Ahlner J, Johanson G. Swedish forensic data 1992-2009 suggest hydrogen cyanide as an important cause of death in fire victims. Inhal Toxicol. 2012 Feb;24(3):194-9.

⁴¹ Lönnermark, A. Blomqvist, P. 2006. Emissions from an automobile fire. Chemosphere, 62, 1043-1056.

⁴² <https://en.wikipedia.org/wiki/Polyurethane>

grundfrågeställningen i form av medicinsk information om möbelstoppning,^{43,44} och prediktiva modeller.⁴⁵ Antidot (dvs, motgift) mot cyanidförgiftning finns, och på FASS (Farmaceutiska Specialiteter i Sverige, en informationsdatabas med läkemedelsfakta från läkemedelsindustrin) fritt tillgängliga internetversion, fass.se, finns utförlig information som även medicinskt oskolade kan tillgodogöra sig. För hydroxokobalamin (salufört som Cyanokit) anges inga kontraindikationer, dvs, det är inte farligt att ge korrekt dos av motgiftet.⁴⁶ I en studie från 2010 befanns högre doser av motgiftet minska den kardiella risken vid cyanidförgiftningar.⁴⁷ Författarna till denna studie påpekar att cyanidkoncentrationer i blod inte regelmässigt mäts av alla laboratorier, dvs, att kända data kan vara en underrapportering. Vidare lyfter de fram den fysiologiska relation som föreligger mellan cyanidförgiftningar och kolmonoxidförgiftningar såtillvida att båda gifterna förhindrar vävnaders syresättning, genom varsin distinkta mekanism i syrets transport från lungorna till cellernas syreanvändning (kolmonoxid konkurrerar bort syret i blodet eftersom det fäster starkare vid den syretransporterande molekylen, och vätecyanid gör att cellerna inte kan tillgodogöra sig det syre som transporteras till dem). På GIC:s Antidotlista 2019 rekommenderas hydroxokobalamin bland preparat som är lämpliga för sjukhus att lagervålla i beredskapsförråd.⁴⁸ GIC nämner värdet av en förberedd akutväska med antidoter som kan tas med till olycksplats. En annan antidot mot cyanidförgiftning är natriumtiosulfat.⁴⁹ Både hydroxokobalamin och natriumtiosulfat finns upptagna på Världshälsoorganisationens lista över essentiella läkemedel.⁵⁰

4.5 Hälsoeffekter på lång sikt

För att kunna dra generella slutsatser om långsiktiga hälsokonsekvenser för räddningstjänstpersonal relaterat till släckning av fordonsbränder måste den generella exponeringen beskrivas. Den amerikanska brandskyddsföreningen rapporterar att mellan åren 2003-2007 arbetade amerikansk räddningstjänstpersonal årligen med cirka 287 000 fordonsbränder.⁵¹ En övergripande litteratursammanställning över kända arbetsmiljörisker för räddningstjänstpersonal vid olika typer av insatser finns tillgänglig på den amerikanska folkhälsomyndighetens CDC: hemsida.⁵² I en av CDC:s

⁴³ Brereton S, Laing RM. Analysis of injury and death from burning upholstered furniture. *N Z Med J.* 1992 Oct 28;105(944):429-32.

⁴⁴ Lounis M, Leconte S, Rousselle C, Belzunces LP, Desauziers V, Lopez-Cuesta JM, Julien JM, Guenot D, Bourgeois D. Fireproofing of domestic upholstered furniture: Migration of flame retardants and potential risks. *J Hazard Mater.* 2019 Mar 15;366:556-562.

⁴⁵ Levin BC. New approaches to toxicity: a seven-gas predictive model and toxicant suppressants. *Drug Chem Toxicol.* 1997 Nov;20(4):271-80.

⁴⁶ <https://www.fass.se/LIF/product?userType=0&nplld=20100115000217>

⁴⁷ Fortin JL, Desmettre T, Manzon C, Judic-Peureux V, Peugeot-Mortier C, Giocanti JP, Hachelaf M, Grangeon M, Hostalek U, Crouzet J, Capellier G. Cyanide poisoning and cardiac disorders: 161 cases. *J Emerg Med.* 2010 May;38(4):467-76.

⁴⁸ <https://giftinformation.se/globalassets/giftinfo/antidotlista-2019-01.pdf>

⁴⁹ <https://narkosguiden.se/book/akuta-forgiftningar/>

⁵⁰ World Health Organization. WHO Model List of Essential Medicines 19th List. April 2015.

⁵¹ Ahrens, M. (2010). US vehicle fire trends and patterns. National Fire Protection Association. http://tkolb.net/FireReports/US_VehFirTrePat2003-2007.pdf

⁵² <https://www.cdc.gov/niosh/firefighters/hazard.html>

rekommenderade studier (2011) konstateras ett medicinskt kunskapsgap föreligga vad gäller räddningstjänstpersonals exponering för rökgaser vid släckning av fordonsbränder.⁵³ Studien bygger emellertid på extrapoleringar från en prediktionsmodell och ett mycket litet empiriskt dataset, även beskrivet med handfasta rekommendationer i en separat publikation från CDC.⁵⁴ En rapport från 2018 pekar också på ett kunskapsgap vad gäller långsiktiga arbetsmiljömedicinska risker för räddningstjänstpersonal.⁵⁵ Att arbete inom räddningstjänst kan kopplas till generella långsiktiga hälsokonsekvenser är välbeskrivet i stora internationella studier,⁵⁶ men vad författarna till rapporten avser är forskningsbehov beträffande huruvida exponering för specifika kemikalier eller grupper av kemikalier kan kopplas till specifika långsiktiga hälsokonsekvenser. En PubMed-sökning (2020-11-18) på *vehicle fire smoke emissions firefighters* ger fyra sökträffar varav ingen är relevant. En studie från 2010 analyserade rökgaskomponenter från olika typer av bränder, däribland fordonsbränder.⁵⁷ Forskarna fann en stor variation beroende på kemisk materialsammansättning i respektive brandtyp, och föreslår att framtida forskning bör försöka karaktärisera räddningstjänstpersonals exponering vid olika brandtyper utifrån potentiellt rökgasinnehåll. Författarna ansåg medicinska kunskapsgap föreligga beträffande långsiktiga hälsokonsekvenser på flera punkter.

4.6 Kontamination och sanering

Förutvarande Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut (SP) har gjort en analys av släckvatten i förhållande till brandgaser.⁵⁸ I denna SP-rapport finns även metodologiska förslag för framtida forskning på utsläpp från bränder. I ovan nämnda litteratursammanställning på CDC:s hemsida finns generellt material om kontamination. I en studie från 2017 påpekas att den roll kemisk exponering på hud och personlig skyddsutrustning har för räddningstjänstpersonals långsiktiga hälsa inte är tillräckligt studerat,⁵⁹ och i en studie från 2015 beskrivs hur kontaminerad personlig skyddsutrustning kan få negativa hälsokonsekvenser för räddningstjänstpersonal.⁶⁰ PubMed-sökning (2020-11-19) på *automobile fire smoke*

⁵³ Fent KW, Evans DE. Assessing the risk to firefighters from chemical vapors and gases during vehicle fire suppression. *J Environ Monit*. 2011 Mar;13(3):536-43.

⁵⁴ Fent, KW, Evans, DE, Couch, J. (2010). Evaluation of Chemical and Particle Exposures During Vehicle Fire Suppression Training. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. <https://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2008-0241-3113.pdf>

⁵⁵ Stec AA, Dickens KE, Salden M, Hewitt FE, Watts DP, Houldsworth PE, Martin FL. Occupational Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Elevated Cancer Incidence in Firefighters. *Sci Rep*. 2018 Feb 6;8(1):2476.

⁵⁶ Pukkala E, Martinsen JI, Weiderpass E, Kjaerheim K, Lyng E, Tryggvadottir L, Sparén P, Demers PA. Cancer incidence among firefighters: 45 years of follow-up in five Nordic countries. *Occup Environ Med*. 2014 Jun;71(6):398-404. doi: 10.1136/oemed-2013-101803. Epub 2014 Feb 6. PMID: 24510539.

⁵⁷ Fabian, T., Borgerson, J. L., Kerber, S. I., Gandhi, P. D., Baxter, C. S., Ross, C. S., ... & Dalton, J. M. (2010). Firefighter exposure to smoke particulates. Underwriters Laboratories.

⁵⁸ Larsson, I., & Lönnermark, A. (2002). Utsläpp från bränder-Analyser av brandgaser och släckvatten. SP RAPPORT 2002:24.

⁵⁹ Fent KW, Alexander B, Roberts J, Robertson S, Toennis C, Sammons D, Bertke S, Kerber S, Smith D, Horn G. Contamination of firefighter personal protective equipment and skin and the effectiveness of decontamination procedures. *J Occup Environ Hyg*. 2017 Oct;14(10):801-814.

⁶⁰ Fent KW, Evans DE, Booher D, Pleil JD, Stiegel MA, Horn GP, Dalton J. Volatile Organic Compounds Off-gassing from Firefighters' Personal Protective Equipment Ensembles after Use. *J Occup Environ Hyg*. 2015;12(6):404-14.

contamination ger två resultat varav en är relevant: Lönnermark och Blomqvist 2006. Enstaka relevanta träffar på PubMed kan identifieras med olika söktermskombinationer, däribland en utvärdering av att endast nyttja vatten till sanering av utrustning.⁶¹

4.7 Fordonsbrand i slutet utrymme

Slutna utrymmen, exempelvis parkeringsgarage, kan öka koncentrationen av giftiga rökgaskomponenter, såsom indikeras i ovan nämnda studie från 2017 av Stoll med medförfattare. I Sverige pågår infrastrukturprojekt som kommer att medföra ökade trafikvolymmer i slutna utrymmen.⁶² Det statliga forskningsinstitutet RISE (Research Institutes of Sweden) publicerade 2018 en översikt av forskningsläget vad gäller bränder i väg- och järnvägstunnlar,⁶³ i vilken författarna anger brådskande forskningsbehov vad gäller grundfrågeställningen i förhållande till vägtunnlar, exempelvis hur jetflammar från trycktankar kan sprida brand mellan fordon. I en nyligen publicerad MSB-rapport har detta kunskapsgap adresserats, med en analys av riskavstånd vid räddningsinsatser mot fordon med alternativa bränslen på både öppen väg och i vägtunnlar.⁶⁴ Tankruptur visades vara ett förhållandevis vanligt utfall vid brand i gasfordon och i tunnlar kan eldklotet bli mycket stort - det kan även bildas höga tryck vid sekundära explosioner i den utsläppta gasen. I en fransk studie från 2009 undersöks allmänhetens evakueringsbeteenden vid fordonsbränder i vägtunnlar.⁶⁵ En simulering av en lastbils-kollision inne i Kallang-Paya Lebar Expressway vägtunneln i Singapore (9 km), indikerar att en person kan förväntas dö pga giftiga rökgaser.⁶⁶ I en översiktsartikel från 2018 konstateras att brand är den enskilt mest kritiska händelsen vad beträffar säkerhet i vägtunnlar.⁶⁷ Den ovan refererade studien om räddningstjänstpersonals beredskap för arbete med bränder i elektriska fordon indikerar som särskilt problematiska fordonsbränder i parkeringsgarage.⁶⁸ Att problemet är allmän känt påvisas av att en Google-sökning (2020-12-02) på *fire parking garage* indikerar 2,55 miljoner filmklipp, inkluderande filmmaterial från den stora branden i ett garage i Liverpool på nyårsafton 2017.⁶⁹ PubMed-sökning samma datum på samma söktermer ger bara en träff, ej relevant för

⁶¹ Calvillo A, Haynes E, Burkle J, Schroeder K, Calvillo A, Reese J, Reponen T. Pilot study on the efficiency of water-only decontamination for firefighters' turnout gear. *J Occup Environ Hyg.* 2019 Mar;16(3):199-205.

⁶² <https://www.trafikverket.se/nara-dig/Stockholm/vi-bygger-och-forbattar/Forbifart-stockholm/>

⁶³ Li, YZ, Ingason, H. Overview of research on fire safety in underground road and railway tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2018, 81: 568-589.

⁶⁴ Zonindelning vid räddningsinsatser mot fordon med alternativa bränslen MSB1620. November 2020 ISBN 978-91-7927-060-5.

⁶⁵ Gandit, M., Kouabenan, D. R., & Caroly, S. (2009). Road-tunnel fires: Risk perception and management strategies among users. *Safety science*, 47(1), 105-114.

⁶⁶ Qu X, Meng Q, Liu Z. Estimation of number of fatalities caused by toxic gases due to fire in road tunnels. *Accid Anal Prev.* 2013 Jan;50:616-21.

⁶⁷ Ntzeremes, P., & Kirytopoulos, K. (2019). Evaluating the role of risk assessment for road tunnel fire safety: A comparative review within the EU. *Journal of traffic and transportation engineering (English edition)*, 6(3), 282-296.

⁶⁸ Stave, C., & Carlson, A. (2017). A case study exploring firefighters' and municipal officials' preparedness for electrical vehicles. *European transport research review*, 9(2), 25.

⁶⁹ Över tusen bilar förstörda i brand i Liverpool. Sveriges Radio 1 januari 2018. <https://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?artikel=6853125>

grundfrågeställningen.⁷⁰ I en experimentell studie från 2020 noterades att elfordonsbränder i underjordsgarage kan leda till särskild problematik vad gäller kontamination och sanering efter släckning.⁷¹ Författarna påpekar också en problemanalogi med stationär energilagring i källare.

4.8 Sammanfattning litteratursammanställning

- Det finns en tydlig diskrepans mellan mängden teknologisk och medicinsk litteratur beträffande kemiska risker för räddningstjänst och allmänhet vid brand i moderna fordon. Ett antal medicinska problem som indikerats av ingenjörsvetenskaperna har sedan ej tillfyllest studerats i systematiska biomedicinska studier.
- Det finns en tydlig diskrepans mellan allmänhetens och den medicinska forskningens dokumenterade intresse för moderna fordotsbränder, indikerat av att antalet sökträffar för samma termer kan skilja sig mellan den generella internetsökmotorn Google och den medicinska databasen PubMed med en faktor på över en miljon.
- Såväl teknologisk som medicinsk litteratur finns beträffande risker förknippade med termisk rusning i litiumjonbatterier, men kunskapsgap förefaller föreligga vad gäller risker förknippade med deras användning i mindre elfordon, exempelvis inom klassen eldrivna enpersonsfordon.
- Det finns kunskapsgap beträffande risker förknippade med brandrök från kompositmaterial inklusive kolfiber.
- Beträffande risker förknippade med brandrök från fordonsmaterial exklusive kompositmaterial anger befintlig litteratur vätecyanid som framträdande. Strikt patofysiologiskt eller medicinskt (antidot, behandling) kunskapsgap beträffande vätecyanidförgiftning föreligger inte, men frågeställningar beträffande epidemiologiska data reses (cyanidkoncentrationer i blod mäts inte regelmässigt av alla laboratorier). Teknologiska/industriella kunskapsgap beträffande materialval kan föreligga.
- Det finns kunskapsgap beträffande långsiktiga hälsokonsekvenser för räddningstjänstpersonal relaterat till släckning av fordonsbränder.
- Det finns kunskapsgap beträffande kontamination och sanering relaterat till släckning av moderna fordonsbränder.

⁷⁰ Kocasoy G, Yalin H. Determination of carboxyhemoglobin levels and health effects on officers working at the Istanbul Bosphorus Bridge. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng.* 2004;39(4):1129-39.

⁷¹ Mellert, L. D., Welte, U., Tuchschnid, M., Held, M., AG, V. H., Hermann, M., ... & Nachev, L. Risk minimisation of electric vehicle fires in underground traffic infrastructures. August 2020. Federal Department of the Environment, Transport, Energy and Communications DETEC, Switzerland.

- Det finns kunskapsgap beträffande kemiska risker för räddningstjänst och allmänhet vid fordonsbrand i slutet utrymme, illustrerat av att sökning i PubMed på *fire parking garage* inte ger några relevanta träffar.

5. Resultat: Identifiering av primära datakällor

5.1 Registerforskning

Tack vare vårt lands många nationella register finns i Sverige unikt goda förutsättningar för att snabbt och resurseffektivt identifiera riskfaktorer. Registerforskning (egentligen: registerbaserad forskning) använder sig av befintliga, registrerade, uppgifter från myndigheter eller andra organisationer, istället för att samla in ny data. Metoden har begränsningar, främst bland dessa att man inte kan dra säkra slutsatser om effekter av åtgärder eftersom registerforskning inte innefattar kontrollerade experiment (interventionstudier). Men för en grundläggande kartläggning av medicinska riskfaktorer och hälsokonsekvenser relaterade till fordonsbränder, vilket enligt föreliggande rapporters litteratursammanställning synes vara relativt obeforskat, förefaller nyttjande av svenska register lämpligt. Grundläggande information om tillgängliga register och registerforskning kan inhämtas via Vetenskapsrådets hemsida [registerforskning.se](https://www.registerforskning.se).⁷²

5.2 MSB

Utifrån myndighetens uppdrag att samordna och utveckla kommunal räddningstjänst avseende deras förmåga att utföra effektiva räddningsinsatser,⁷³ har MSB möjlighet att centralt insamla nationell data för olika typer av incidenter. Det kommer fr o m 2021 bli obligatoriskt för kommunerna att skicka in s.k. undersökningsrapporter till MSB efter avslutade olycksundersökningar.⁷⁴ Enligt vad författaren erfarit har detta redan gjorts sedan tidigare för flera av de kategorier av incidenter och skadehändelser som faller under grundfrågeställningen, dvs, MSB har redan grovkategoriserade nationella register. Enligt vad författaren erfarit är dessa fallbeskrivningar begränsade till den typ av data som de kommunala räddningstjänsterna vanligen registrerar och analyserar, vilket medför att mängden medicinsk data är begränsad. Data från ambulans och sjukhusvård saknas, samt uppföljande data om eventuella hälsokonsekvenser på längre sikt för räddningstjänst och allmänhet efter bränder i moderna fordon. Det ingår inte i MSB:s uppdrag att samla in sådana data, men det faktum att fallen finns registrerade öppnar en möjlighet till forskning för organisationer med uppdrag och vana att med etiskt tillstånd utföra sådant forskningsarbete.

⁷² <https://www.registerforskning.se/sv/>

⁷³ SFS 2008:1002, SFS 2020:885

⁷⁴ Papp, A. MSB. Personlig kommunikation 2020-12-18.

5.3 Trafikverket

Trafikverket är den myndighet som i Sverige ansvarar för långsiktig infrastrukturplanering för vägtrafik (samt järnvägstrafik, sjöfart och luftfart) sammanfattat i verkets vision: ”alla kommer fram smidigt, grönt och tryggt”.⁷⁵ Relaterat till sitt arbete med trafikanters säkerhet och hälsa insamlar Trafikverket uppgifter om dödliga vägtrafikincidenter i Sverige från ett flertal källor inkluderande räddningstjänsten. Registerhållningen kallas Trafikverkets Djupstudieklent och har bildat underlag till tidigare medicinskt orienterade studier.⁷⁶ Ett flertal för grundfrågeställningen relevanta studier synes möjliga att göra med data som finns lagrad i Trafikverkets Djupstudieklent, exempelvis avgränsat till fordonstyp.

5.4 Försäkringsbolag

Ej unikt för Sverige finns data om fordonsbränder hos försäkringsbolag. Som privata aktörer har dessa inte någon skyldighet att ställa sina data till offentligfinansierad forsknings förfogande, men i praktiken torde såväl försäkringsbolagen som samhället i stort tjäna på att hälsorisker för räddningstjänst och allmänhet vid fordonsbränder studeras, för att i förlängningen genom åtgärder kunna minskas. Försäkringsbolag torde också ha data för bränder i hemmet som i vissa fall (nya material, litiumjonbatterier, mm) kan bli relevanta för föreliggande rapports grundfrågeställning. Register hos försäkringsbolag kan ej betraktas som nationella totalmaterial och studier därav måste beakta systematiska fel (exempelvis skillnader mellan försäkringstagare och befolkningen i stort). Vissa etiska aspekter kan skilja sig från forskning i myndigheters register och bör också utredas och beaktas innan studiestart.

5.5 Regionala register

Sveriges regionala indelning och självstyre genererar registerhållning som liksom de nationella myndigheternas kan innehålla data relevant för grundfrågeställningen. Statistiska centralbyrån (SCB) är den nationella myndighet som ansvarar för regionernas kategorisering.⁷⁷ Via SCB:s hemsidor kan regionala data fritt inhämtas, t ex fordonsstatistik per län respektive kommun,⁷⁸ vilket skulle kunna relateras till data från respektive kommunal räddningstjänst. Ett speciellt regionalt register som författaren under arbetet med föreliggande rapport fick kännedom om är den så kallade kemambulansen Perstorps insatsrapporter. Region Skåne håller sig med denna speciellt utrustade ambulans och tillhörande speciellt tränade personal med anledning av den stora mängden kemiska industrier. Kemambulansen larmas till händelser av särskild kemisk karaktär, och författar för varje kem-insats en särskild

⁷⁵ <https://www.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet/trafikverkets-uppdrag/>

⁷⁶ Viklund, Å., Björnstig, J., Larsson, M. & Björnstig, U. 2013. Car Crash Fatalities Associated With Fire in Sweden. *Traffic Injury Prevention*, 14, 823-827.

⁷⁷ <https://www.scb.se/hitta-statistik/regional-statistik-och-kartor/regionala-indelningar/>

⁷⁸ <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/transporter-och-kommunikationer/vagtrafik/fordonsstatistik/>

rapport som arkiveras. Region Skåne torde därmed besitta användbar datakälla vad gäller kemiska risker för räddningstjänst och allmänhet - hur stor andel av insatserna som gäller fordonsbränder är en tänkbar forskningsfråga, liksom allvarlighetsgrad av medicinska konsekvenser. Eftersom denna databas är direkt vårdrelaterad är etiskt tillstånd före studiestart ett krav.

5.6 Samkörning av register

En möjlighet vid registerforskning är samkörning. Samkörning kan dels vara ett sätt att få fram nya resultat, exempelvis om räddningstjänst och prehospital sjukvård kan bidra med olika datatyper som i kombination ger en fullständigare beskrivning av ett dataset, exempelvis en viss typ av fordonsbränder med personskador i Sverige under en viss tidsperiod. Samkörning kan också vara ett sätt att validera ett register. Samkörning av register är i Sverige förhållandevis enkelt på grund av våra personnummer. Det finns dock såväl skarpa lagliga som etiska begränsningar, varför legal och etisk prövning före studiestart måste vara ett krav.

5.7 Etisk genomlysning

Forskning på människor regleras i svensk lag och handläggs av den 2019 inrättade Etikprövningsmyndigheten (EPM).⁷⁹⁸⁰ Ansökan till EPM för studier av de datakällor som beskrivs i föreliggande rapport ingavs den andra december 2019. Komplettering ingavs den 12 februari 2020 och EPM godkände forskningen den 11 mars 2020. Den etiska genomlysningsprocessen redovisas med större detaljskärpa i Bilaga 3 för den sakkunnige.

5.8 Sammanfattning identifiering av primära datakällor

- Det finns i Sverige goda förutsättningar för att snabbt och resurseffektivt identifiera riskfaktorer relaterade till brand i moderna fordon, genom registerforskning.
- Ett antal tänkbara datakällor föreslås, exemplifierande
- Registerforskning i indikerade datakällor är etiskt oproblematiskt.

⁷⁹ SFS 2003:460

⁸⁰ <https://etikprovningmyndigheten.se/om-myndigheten/>

6. Resultat: Primärdataanalys

6.1 Dos-respons

Ett av insatspersonalen på workshopen tydligt indikerat kunskapsgap gällde dos-respons-förhållanden, angivet under punkten 3.2.7 ovan, dvs, vilka mängder och vilka koncentrationer av vilka ämnen är farliga, och på vilka sätt är de farliga? Detta angavs som ett viktigt ”uppdrag till medicinarna och forskarna”. Data som kan bidra till att fylla detta kunskapsgap förefaller finnas lagrat hos MSB. I MSB:s register identifierade handläggare Ulf Bergholm och Yvonne Näsman ett fall av förgiftning vid brand i ett elcykelbatteri där en grov dos-respons-beräkning är möjlig. Den drabbade personen har givit informerat samtycke och data inhämtats via intervjuer och journalhandlingar. Teknisk fordonundersökning (batteri) avses även göras. Den drabbade hade lagt sitt elcykelbatteri för förvaring (ej laddning) i sin bostad där det spontant började brinna. Personen evakuerade omedelbart men pga rökfylld hall med nedsatta siktförhållanden blev exponeringstiden ändå 30–60 sekunder. Volymförhållanden är kända. Röken upplevdes inte som exceptionellt obehaglig. Det var inte förrän i ambulans som de första medicinska symtomen kom, 20–30 minuter efter exponeringen. De första symtomen var rotatorisk yrsel och dimsyn. På akutmottagningen förvärrades det kliniska läget, och personen lades i respiratorvård på en intensivvårdsavdelning. Efter vårdtiden har personen erfårit kvarvarande symtom. När de medicinska journalhandlingarna analyserats och den tekniska undersökningen gjorts kommer en separat rapport att författas. Vad denna analys visar för den aktuella rapportens del är att viktiga data som kan fylla indikerade kunskapsgap redan finns registrerade. Även kunskapsgapen 3.3.6 (mindre fordon) och 3.3.12 (fordonsbrand i slutet utrymme) kan adresseras med denna typ av data som finns registrerad hos MSB och vårdgivare.

6.2 Antidoter

Kombinerat med de indikerade kunskapsgapen om dos-respons och toxicitet vid fordonstränder angavs behov av kunskap (och nationellt enhetliga riktlinjer) beträffande tillgänglighet av antidoter och behandling prehospitalt, angivna under punkterna 3.2.7 och 3.3.1 ovan. Data för att fylla dessa kunskapsgap återfanns till viss del i Trafikverkets Djupstudieklient. Djupstudieklienten har för tioårsperioden 2009-2018 registrerat 79 fall med 94 dödsfall relaterade till fordonstränder. Sammanställning och analys av dessa data gjordes av Filip Thermaenius, AT-läkare Gällivare sjukhus. Tio av fallen hade förhöjda cyanidkoncentrationer i blodet, vilket befanns vara en signifikant frekvensökning jämfört med den föregående tioårsperioden. Tretton av fallen hade kraftigt förhöjda kolmonoxidnivåer i blodet. Thermaenius redovisar samtliga fynd i en utförlig separat rapport som ingivits

MSB.⁸¹ Thermaenius kommer även att författa en originalartikel som avses publiceras under 2021.

6.3 Kemambulansen Perstorp

Ett flertal av de på workshopen indikerade kunskapsgapen föreföll möjliga att adressera med de data som Region Skåne lagrat i form av Kemambulansen i Perstorps insatsrapporter. Emellertid visade vår genomgång att Kemambulansen för den treåriga perioden 2018–2020 bara arkiverat 25 insatsrapporter över händelser av särskild kemisk karaktär. Någon skattning av eventuellt databortfall har inte gjorts. Personal på Kemambulansen hade för författaren angivit en större uppskattning av mängden särskilda keminsatser, cirka trettio per år (dvs, en fyrfaldigt större volym). Vad denna diskrepans beror på kunde inom ramen för det befintliga arbetet ej klarläggas, men man skulle kunna spekulera i en eventuell underrapportering av mindre kemihändelser. Ett antal av larmen hade primärt inkommit via andra kanaler än larmcentralen. Två av händelserna kunde säkerställas ha inträffat inom vägtrafikområde, men i sju händelser var platsen ej tydligt angiven. Lastbilar var inblandade vid tre keminsatser. Sammanlagt elva drabbade togs till sjukhus, varav tre medvetlösa. I ett fall framkom att räddningstjänst och polis ansett personsanering onödig men ändrat sig då kemambulansen kom till skadeplatsen. Samverkan med externa parter anges ha gått bra i de flesta fall. En separat rapport över sammanställda data från Kemambulansen har författats.⁸²

6.4 Sammanfattning primärdataanalys

- Intervjudata från ett fall av rökgasförgiftning vid brand i ett elcykelbatteri indikerar att även en kort exponeringstid kan få allvarliga medicinska konsekvenser, och att brandröken inte upplevs exceptionellt obehaglig.
- Det kan ej uteslutas att andelen vätecyanidförgiftningar vid svenska fordonsbränder ökar.
- Regionala register kan vara av värde men datamängderna kan vara för små för att säkra slutsatser ska kunna dras.

⁸¹ Thermaenius, F. Fatalities in fire-related car crashes from a toxicologic perspective. Dödsolyckor i bilbränder ur ett toxikologiskt perspektiv. Umeå universitet, läkarprogrammet. 2020.

⁸² Björnstig J, Westman A, Saveman BI, Björnstig U. "Kemambulansen" i Perstorp - värdefull kompetens vid CBRNE-händelser. Kunskapscentrum för katastrofmedicin, Umeå universitet. Umeå 2020.

7. Resultat: Metodologiska ramverk

7.1 Övergripande strategier för att minska risker

I boken *Skydd mot brand - Före, under och efter räddningsinsats*, utgiven 2003 av dåvarande Räddningsverket och reviderad 2009 och 2015,⁸³ anges tio sätt att minska risker samt deras prioriteringsordning. Strategierna konceptualiserades ursprungligen av trafikskadeforskaren William Haddon kring arbete med fordonskrascher,⁸⁴ men kan som Haddon själv påpekar även tillämpas på kemiska risker, dvs samtliga av insatspersonalen angivna kunskapsgap.

7.2 De tio strategierna

Läroboken beskriver de tio strategierna brandforskningsfokuserat, varför forskare inom andra discipliner som önskar beakta ramverket tillråds läsa originaltexten, fritt tillgänglig från *American Journal of Public Health*.⁸⁵ De tio strategierna är, i prioriteringsordning:

1. Eliminera.
2. Reducera.
3. Förhindra bildning.
4. Minska bildningstakten.
5. Separera i tid och rum.
6. Separera fysiskt.
7. Modifiera kontaktytor.
8. Stärk människans motståndskraft.
9. Rädda.
10. Bota, lindra, trösta.

De första strategierna skulle kunna anses vara ingenjörsvetenskapernas domäner och de sista hälsovetenskapernas, med brandforskningen mittemellan, men betraktat som ett övergripande ramverk skulle modellen kunna nyttjas koordinerande av MSB.

⁸³ Uneram, C, Karlsson, P. *Skydd mot brand - Före, under och efter räddningsinsats*. MSB813. December 2015. ISBN: 978-91-7383-539-8.

⁸⁴ Haddon W., Jr (1970). On the escape of tigers: an ecologic note. *American journal of public health and the nation's health*, 60(12), 2229–2234.

⁸⁵ <https://ajph.aphapublications.org/doi/pdfplus/10.2105/AJPH.60.12.2229-b>

8. Diskussion

8.1 Nya tvärvetenskapliga forskningsfrågor

Räddningstjänstpersonalens frågor kan till viss del antas representera de som allmänheten skulle väcka, om den i lika hög grad insett att en ny riskbild föreligger. Att som utgångspunkt ta frågeställningar från insatspersonal kan också ha ett tvärvetenskapligt värde, eftersom indikerade kunskapsgap kan tydliggöra forskningsbehov involverande flera olika discipliner, som respektive disciplin kan vara oförmögen att själv uppfatta.

8.2 Generell avsaknad av medicinsk litteratur

Den medicinska litteraturens avsaknad av relevanta studier beträffande risker för räddningstjänst och allmänhet vid fordonsbränder är förvånande. Vid arbetets början fanns en föreställning om att de tre ämnesområdena teknologi, toxikologi, och skydd, skulle befinnas vara beforskade i ungefär samma utsträckning, men den första litteraturgenomgången visade på en obalans med övervikt teknologi. För flera ur folkhälsosynvinkel relevanta frågeställningar är den medicinska forskningen i princip obefintlig. Ett exempel kan vara kolfiber i kontrast till asbestrisker. Det senare är ett väl beforskat och även för allmänheten välkänt hälsoproblem, medan hälsorisker med kolfiber missats av den medicinska forskningen. Avsaknaden medicinsk litteratur förefaller ännu märkligare i ljuset av att exakt samma söktermer som i PubMed saknar referenser kan generera över en miljon träffar i internetsökmotorer, exempelvis *electric bicycle battery fire* (PubMed: 0, Google: 1,13 miljoner filmklipp). Relevanta djurförsök eller försök med cellkulturer för att karaktärisera biologisk påverkan saknas eller finns bara i ringa grad i den medicinska litteraturen.

8.3 Kunskapsgap toxicitet

Den viktigaste frågan till den medicinska forskningen som restes på workshopen gällde toxicitet vid bränder i framtidens fordonstyper, i framtidens trafikmiljö (i resultaten noterade som: 3.2.7, 3.3.1 och 3.3.2). Att karaktärisera dos-responsförhållanden och tröskelvärden för olika ämnen, enskilt och vid kemisk interaktion med varandra, är ett av toxikologins huvuduppdrag. Som en del av sådant arbete utförs lämpligen även kemiska studier för att karaktärisera korsreaktioner. Efterfrågade riktlinjer (nationellt) om antidoters tillgänglighet torde även kunna adresseras.

8.4 Kunskapsgap fordonsbränder i slutna utrymmen

Det indikerade kunskapsgapet beträffande fordonsbränder i slutna utrymmen (i resultaten noterade som: 3.3.5, 3.3.7 och 3.3.12) illustreras av Förbifart Stockholm,

ett av Sveriges genom tiderna största infrastrukturprojekt,⁸⁶ då det bl.a. har diskuterats huruvida bussar med alternativa drivmedel skulle kunna trafikeras i dess tunnlar.⁸⁷ Vare sig så blir fallet eller inte är förslaget indikativt för hur förändrade fordonsteknologier interagerar med förändrad trafikmiljö - en risk föreligger i tunnelmiljön vad gäller fordonsbränder oavsett drivmedel i fordonen.

8.5 Kunskapsgap långtidseffekter av upprepad exponering

Beträffande långtidseffekter av upprepad exponering (i resultaten noterat som: 3.2.6) skiljer sig insatspersonal från allmänhet, eftersom doser långt under funna tröskelvärden, dvs, ej farliga vid en enstaka exponering, skulle kunna medföra arbetsmiljömedicinska konsekvenser. För att adressera detta kunskapsgap kommer annorlunda metodik än toxikologins laborativa att behövas, med stora populationsbaserade studier över längre tid. Det är osannolikt att svar kan ges på kort sikt, men arbetet bör initieras snarast. Om medicinskt orienterade studier med utgångspunkt från MSB:s nationella register av inträffade fall kunde tillskapas skulle det sannolikt gynna sådant arbete. Registrens sensitivitet eller specificitet är enligt vad författaren erfar inte kända vilket också skulle kunna bli föremål för icke resurskrävande studier, vars utfall skulle gagna MSB:s uppdrag. Kopplat till sådana studier skulle även en översyn kunna göras av insatsrapporternas formulär, dvs, datainsamlingens grundläggande redskap. Sverige har ett nationellt enhetligt elektroniskt formulär som de kommunala räddningstjänsterna nyttjar för att på frivillig basis rapportera insatsdata till MSB (Figur 2). Om formuläret kompletterades med basal medicinsk information (exempelvis två dikotoma kryssrutor, SYMTOM Ja/Nej och UPPSÖKT SJUKVÅRD Ja/Nej) så skulle möjligheten till att följa både kortsiktiga och långsiktiga hälsokonsekvenser för räddningstjänstpersonal sannolikt öka, generellt och inte bara relaterat till just fordonsbränder.

⁸⁶ <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/stockholm/forbifart-stockholm-forsenas-och-bliir-dyrare>

⁸⁷ <https://www.bussmagasinet.se/2016/06/elektriska-superbussar-pa-forbifart-stockholm/>

The screenshot shows a web-based form for reporting incidents. At the top, there's a navigation bar with icons for various functions. Below that, the form header includes the date '2019-11-14', time '19:58', and location 'Forsåga Väg 62'. The main form area is divided into several sections: 'Uppdrag' (Mission), 'Händelse' (Incident), and 'Plats' (Location). The 'Händelse' section has radio buttons for 'Brand eller brandförbud', 'Naturkatastrof (t.ex. vind, hag, is)', 'Utläpp', 'Drunkning eller drunkningsförbud', 'Hälsokatastrof (t.ex. fall)', 'Naturkatastrof', and 'Övrigt'. The 'Plats' section has a dropdown for 'Kommun' (Forsåga) and 'Verksamhet' (Omskäda). There are also fields for 'Första larm via automatlarm', 'SOS ärendenummer', 'Förmodat händelseställe', 'Anrop till SOS', 'Besvärat av SOS', 'Färdplan till ifrå', and 'Händelse till ifrå'. At the bottom, there are checkboxes for 'Är det RIK-utredning eller sanering', 'Är det RIK-utredning eller sanering för personförstöt', and 'Uppmaning eller åtal av det statliga åklagarna (ej Örebro)'. A footer note provides instructions on how to fill out the form.

Figur 2. Exempelsida från det elektroniska formulär som Sveriges kommunala räddningstjänster nyttjar för att rapportera insatsdata till MSB.

Under litteratursammanställningen redovisas publicerade amerikanska exponeringsdata i form av antal fordonbränder som USA:s räddningstjänstpersonal årligen arbetar med. För Sveriges del har MSB statistik över antal räddningsinsatser mot bilbränder. Under 2018 gjordes 3840 insatser mot brand i bil, och under 2019 gjordes 3437.⁸⁸ Forskare har möjlighet att ta del av sådana data hos MSB via dess statistik- och analysverktyg IDA.⁸⁹ Läsare av föreliggande rapport i elektronisk form kan via följande direktlänk enkelt navigera till IDA:s data för bränder i vägfordon utomhus:

<https://ida.msb.se/ida2#page=d2f0f800-ecc6-409a-bee9-0055ef69e16c>

Att arbete inom räddningstjänst kan vara förknippat med långsiktiga hälsokonsekvenser är beskrivet sedan tidigare, men kunskapsgap kvarstår beträffande exponering för specifika kemikalier eller grupper av kemikalier kopplat till specifika långsiktiga hälsokonsekvenser. Sådan kunskap skulle kunna ligga till grund för effektivare preventiva strategier. Denna synpunkt förefaller gälla arbete inom räddningstjänst generellt, ej begränsat till fordonbränder, och eventuella förändringar inom materialteknologier inom andra områden (byggnader) kan motivera en generell forskningsansats.

8.6 Kunskapsgap mindre fordon

Ett indikerat kunskapsgap som primärt kanske främst riktar sig till ingenjörsvetenskaper och lagstiftare snarare än medicinska forskare gäller bränder i mindre fordon inklusive elcyklar (i resultaten noterat som: 3.3.6). Mer eller mindre explicit i frågan ligger en oro för att säkerhetsstandarder inte följs (eller finns)

⁸⁸ Bergholm, U. MSB. Personlig kommunikation 2020-12-10.

⁸⁹ <https://ida.msb.se/ida2#page=3d635cdf-e7eb-4f49-b579-9612fb44c941>

beträffande denna heterogena grupp av fordon, som ibland förvaras i bostadsutrymmen. Steget till den medicinska forskningen är dock tyvärr inte långt, eftersom akut livshotande negativa hälsokonsekvenserna redan börjat noteras i sjukhusjournaler. Fallet med brand i ett elcykelbatteri är anmärkningsvärt av flera skäl. Exponeringstiden var förhållandevis kort, varför frågor om dos-responsförhållanden i slutna utrymmen infinner sig. Det faktum att röken inte upplevdes som exceptionellt obehaglig indikerar ett möjligt behov om information till allmänheten. Vidare är latenstiden från exponering till symtomdebut av intresse. En utförligare diskussion avses att författas sedan journaldata granskats. Genom att tidigt påpeka potentiella medicinska konsekvenser kan tydliga signaler sändas till industri, ingenjörsvetenskap, och lagstiftare. Möjligen finns på detta område förhållandevis enkla proaktiva säkerhetsvinster att hämta, genom att snarast tvätta bort teknologiska avarter från marknaden.

8.7 Kunskapsgap kontaminationsrisker

En grupp forskningsfrågor som i första hand bör gå till miljö kemi och liknande discipliner härrör ur insatspersonalens frågor om kontaminationsrisker (i resultaten noterade som: 3.3.3, 3.3.9, 3.3.10 och 3.3.11). Om miljökemiska studier och brandforskning skulle påvisa att bränder i framtida fordonstyper medför ökad eller förändrad kontamination av omgivningen, exempelvis nya ämnen eller ökade mängder av vissa ämnen, eller nya korsreaktioner mellan ämnen och släckmedel (vatten, inte minst) kommer det att indikera hälsorisker, som de medicinska vetenskaperna bör studera. Att notera är vilken vikt som lades på dessa frågor på workshopen.

8.8 Kunskapsgap brand i litiumjonbatterier

Att det finns en toxikologisk problematik förknippad med brand i litiumjonbatterier är välbeskrivet, liksom grundläggande karaktärisering av gifterna (fluorvätesyra), varför framtida medicinska studier kan inriktas på optimalt skydd och optimal behandling, prehospitalt och intrahospitalt. Att så görs förefaller prioriterat eftersom frågor återkom upprepade gånger under workshopen (i resultaten noterade som: 3.2.1, 3.2.7, 3.3.14, 3.3.3, 3.3.6 och 3.3.7). Vilken är, exempelvis, kunskapen hos olika typer av insatspersonal beträffande klinisk bild vid hypokalcemi på skadeplats? Det kan vidare noteras att litiumjonbatterier omgärdas av andra teknologier, exempelvis aktiv kylteknologi.⁹⁰ Hur dessa teknologier och material påverkas vid brand förefaller icke tillfyllest utrett - finns toxikologisk problematik vad gäller rökgaser från brinnande kylsystem? Sådan omgivande teknologi skulle kunna innebära skillnader i risker mellan små, stora och mycket stora fordon.

⁹⁰ Krüger, I. L., Limperich, D., & Schmitz, G. (2012). Energy consumption of battery cooling in hybrid electric vehicles.

8.9 Kunskapsgap kolfiber

Vissa frågeställningar angående kolfiber (i resultaten noterade som: 3.2.2, 3.3.2, och 3.2.7) bör kanske bli föremål för lungmedicinsk forskning snarare än toxikologi - det emotionellt laddade utropet på workshopen: "Kolfiber är 50 ggr farligare än asbest!" indikerar en oro som bör tas på allvar. Befarade problem med kolfiberarmerade kompositmaterial är ett arbetsmiljöproblem för räddningstjänsten, snarare än ett latent folkhälsoproblem för allmänheten, men om räddningstjänsten känner osäkerhet om skyddsnivå och riskavstånd kan det totala skadeutfallet påverkas - exempelvis i en urban miljö eller, återigen, ett slutet utrymme (parkeringshus el dyl). Medicinska studier är därför motiverade för både räddningstjänstens och allmänhetens skull. Om orsaken till att ingen forskat på detta sedan länge välanvända materials medicinska aspekter är att kolfiber är ofarligt så skulle man åtminstone önska se några vederhäftiga nollresultatsstudier som visar att så är fallet (med tanke på i denna rapport redovisade omständigheter borde även nollresultat vara publicerbara, dvs, det är av intresse att få veta om det inte är farligt). Denna arbetsmiljömedicinska frågeställning är förknippad med behovet av att utöka och förfina den medicinska litteraturen beträffande långsiktiga hälsokonsekvenser för insatspersonal.

8.10 Tillämpning av känd kunskap: vätecyanid och kolmonoxid

I resultatdelens kunskapsgap 3.3.1 efterfrågas behandlingsriktlinjer beträffande cyanidförgiftning. Emellertid finns ur MSB:s synvinkel knappast några kunskapsgap vad gäller giftighet och fysiologiska mekanismer vad gäller vätecyanid. Ej heller kan kunskapsgap anses föreligga vad gäller förgiftningar med kolmonoxid. Beträffande den senare finns visserligen en pågående debatt om optimal dosering av hyperbar oxygenterapi (100% syrgas under förhöjt tryck i tryckkammare) vid kolmonoxidförgiftning,⁹¹ vilken kan ha relevans inför katastrofscenarion med tanke på den begränsade tryckkammarresursen, men i förhållande till många av de andra toxikologiska problem som föreliggande rapport adresserar är vätecyanid och kolmonoxid lärobokskunskap. De medicinska frågorna beträffande dessa gifter förefaller snarare röra tillämpningen av känd kunskap, inte minst prehospitalt. Vidare synes framtida medicinsk forsknings dialog med industri och lagstiftare motiverad för att styra teknologiska förändringar i en ur hälsosynvinkel lämplig riktning, främst beträffande materialval. En möjlig forskningsfråga sprungen ur kunskapsgap 3.3.1 gäller insatspersonalens kunskaper om diagnostik och behandling av vätecyanidförgiftningar, samt tillgång till antidot. I Socialstyrelsens KAMEDO-rapport för diskoteksbranden i Göteborg 1998 (i vilken de flesta avlidna hade

⁹¹ Lin CH, Su WH, Chen YC, Feng PH, Shen WC, Ong JR, Wu MY, Wong CS. Treatment with normobaric or hyperbaric oxygen and its effect on neuropsychometric dysfunction after carbon monoxide poisoning: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Medicine (Baltimore)*. 2018 Sep;97(39):e12456.

cyanidkoncentrationer i blod motsvarande allvarlig förgiftning) rekommenderas att man vid omhändertagande av personer exponerade för brandrök inomhus bör beakta risken för cyanidförgiftning och så snart som möjligt ge cyanidantidot.⁹² Resultaten från Trafikverkets Djupstudieklient, dvs en ökning av frekvensen uppmätta vätecyanidförgiftningar vid fordonsbränder, skulle kunna motivera en genomgång i Sveriges olika regioner.

8.11 Framtida forskning: möjliga datakällor

Arbetet med att identifiera tänkbara datakällor utfördes som en dubbel service: Först och främst för att förevisa forskningsmöjligheter som med relativt enkla medel kan generera för grundfrågeställningen värdefulla resultat, men också för att synliggöra behovet av etisk prövning inför sådan forskning.

Etikprövningsmyndigheten kan vara ett stöd, i form av regelrätt prövning eller rådgivande yttranden.

8.12 Framtida forskning: möjliga ramverk

Indikerade kunskapsgap är i flera fall tvärvetenskapliga, varför övergripande metodologiska ramverk kan vara av värde för att planera och koordinera framtida forskning och åtgärder, i första hand (eftersom grundfrågeställningen härrör ur nya teknologiers påverkan på människan) mellan ingenjörsvetenskaper och biomedicinska vetenskaper, men troligen även andra discipliner (miljövetenskap?). Vidare förefaller en dialog eller kontaktyta med fordonsindustrin motiverad. Metodik, tillvägagångssätt, typer av sakkunskap, mm, skiljer sig mellan dessa ämnesområden och aktörer. Den indikerade diskrepansen mellan teknologisk och toxikologisk litteratur kan vara en indikator för bristande koordination, dvs, medicinska forskare har ännu inte uppmärksammat problematiken eftersom ”ingen berättat för dem”.

För att vidare illustrera konkret nytta av ett övergripande ramverk med tillhörande tvärvetenskapligt perspektiv kan man exempelvis beakta problemet med vätecyanidförgiftningar. En koppling mellan dagens svenska dödsfall i fordonsbränder och åttiotalets debatter om möbler i det brittiska överhuset kan förefalla långsökt - men det var i detta forum som man 1980 yrkade på ett antagande av lagstiftning för att reglera farliga materials förekomst i engelska möbler, främst polyuretan.⁹³ Lord Lyells anförande tar som utgångspunkt en rapport om brandrisker i nya material och synes ha en framsynt koppling till bostadsbranden i Grenfell Tower, London, 37 år senare, efter vilken vätecyanidförgiftningar relaterat till byggnadsmaterial diskuterats.⁹⁴ För att effektivt komma tillrätta med problemet att svenskar förgiftas av vätecyanid vid fordonsbränder är det sannolikt otillräckligt att de medicinska vetenskaperna avgränsar sig till sina ”vanliga verksamhetsområden”, exempelvis att tillse adekvat

⁹² Socialstyrelsen. Brandkatastrofen i Göteborg natten 29-30 oktober 1998. Kamedo 75. Stockholm: Katastrofmedicinska organisationskommittén (KAMEDO);2001. ISBN 91-7201-516-0.

⁹³ <https://api.parliament.uk/historic-hansard/lords/1980/may/22/upholstered-furniture-safety-regulations>

⁹⁴ <https://www.bbc.com/news/uk-40568640>

tillgång till antidot och att insatspersonal förstår att använda den på korrekt indikation och i rättan tid. Tillämpat så som föreslås i *Skydd mot brand - Före, under och efter räddningsinsats*, och av upphovsmannen William Haddon själv, på vätecyanidförgiftningar skulle de tio strategierna kunna användas enligt det följande:

- 1. Eliminera:** Vätecyanidbildande material från fordon. En så drastisk (utopisk) målbild skulle förutsätta djupgående diskussioner med industrin.
- 2. Reducera:** Mängden vätecyanidbildande material i fordon.
- 3. Förhindra bildning:** Av vätecyanid vid fordonsbrand, även om det finns vätecyanidbildande material i fordonet.
- 4. Minska bildningstakten:** Av vätecyanid vid fordonsbrand, så att vid en given tidpunkt farliga nivåer aldrig uppnås. En icke-giftig mängd vätecyanid accepteras exempelvis i bittermandel.⁹⁵
- 5. Separera i tid och rum:** Bildad vätecyanid från människor.
- 6. Separera fysiskt:** Bildad vätecyanid från människor.
- 7. Modifiera kontaktytor:** För att förhindra att den vätecyanid som når människor tas upp av kroppen.
- 8. Stärk människans motståndskraft:** Mot vätecyanid.
- 9. Rädda:** Hejda pågående exponering för vätecyanid.
- 10. Bota, lindra, trösta:** Ge vård för vätecyanidförgiftning, från och med skadeplats till och med medicinsk rehabilitering efter sjukhusvistelse.

Bilaga 1. Metodval

Metodval information från insatspersonal

Semistrukturerad workshop med all deltagande insatspersonal vid MSB:s årliga erfarenhetsseminarium i buss- och tåg räddning 2019-12-12, Clarion Hotell, Arlanda. Antalet deltagare var 44 med representation från hela landet, huvudsakligen från räddningstjänst. Författaren medverkade tillsammans med Mattias Strömgren, MSB, och professor Ulf Björnstig och dåvarande läkarkandidaten (nu AT-läkaren) Filip Thermaenius, båda Umeå universitet. Workshopen inleddes med ett introducerande anförande med övergripande problemställningar, varefter ordet lämnades fritt i helgrupp. Efter att helgruppsdiskussionen mättats föredrogs förberedda fiktiva fallbeskrivningar, med därpå följande förnyade helgruppsdiskussioner. Workshopen hade metodologiska

⁹⁵ <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/mat-och-dryck/notter-och-froer/bittermandel?AspxAutoDetectCookieSupport=1>

likheter med en fokusgrupp men avvek från denna metod bl.a. genom att respondenterna primärt vände sig till den frågande forskaren. Vissa samtal deltagarna emellan förekom dock. Workshopens sammanställda utfall kommenterades slutligen av sakkunniga från MSB.

Metodval litteratursammanställning

Systematisk sökning i medicinska databaser. Läsare som ej tidigare kommit i kontakt med den ledande och fritt tillgängliga medicinska databasen PubMed (cirka 26 miljoner medicinrelaterade referenser) och önskar göra egna litteratursökningar i den rekommenderas Altons introduktionsartikel i Läkartidningen från 2005.⁹⁶ Webbadressen är:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>

Offentligt publicerade svenska rapporter har eftersökts via respektive myndighets/organisations hemsidor. Direktkontakt har initierats med vissa myndigheter/organisationer med förfrågan om interna dokument. Sökningar har gjorts på fordonstillverkarens hemsidor efter relevant information. Som indikator för det allmänna kunskapsläget och intresset har vissa sökningar gjorts i den webbaserade encyklopedin Wikipedia.⁹⁷ samt den generella internetsökmotorn Google.

Metodval identifiering av primära datakällor

Bekvämlighetsurval (convenience sampling). Denna metod genererar inte ett representativt urval, dvs, de identifierade datakällorna avspeglar inte den totala mängden möjliga datakällor. Syftet var dock inte att skapa ett representativt urval utan att påvisa möjligheter till datainsamling. I praktiken innebar bekvämlighetsurvalet att författaren osystematiskt frågade kollegor och sakkunniga och följde upp dessas indikerade förslag.

Metodval etiska hänsyn

Ansökan om etisk prövning hos den nyligen upprättade Etikprövningsmyndigheten, avseende forskning på människor i studiens identifierade primära datakällor. Utfall i form av tidsåtgång, myndighetens initiala bedömning och önskade revideringar, samt efterföljande dialog därom.

Metodval primärdataanalys

Nationell registerstudie respektive strukturerad intervju med rökgasförgiftad person.

⁹⁶ Alton, V. Läkartidningen 45/2005. Volym 102. Sid 3312-3317.

⁹⁷ Wikipedias innehåll produceras av dess användare utan krav på sakkunskap. Wikipedia påpekar självbeskrivande att dess artiklar har varierande kvalitet. <https://sv.wikipedia.org/wiki/Wikipedia>

Metodval metodologiska ramverk

Systematisk sökning i offentligt publicerade svenska rapporter med huvudfokus på MSB, för att föreslagna ramverk ska ligga så nära myndighetens inarbetade planmässiga tillvägagångssätt som möjligt och vara hållbara över tid.

Bilaga 2.

Litteratursammanställning

Litteratursammanställningen avser beskriva befintlig litteratur relevant för de av insatspersonalen identifierade kunskapsgapen och redovisas i rapportens huvuddel översiktligt, samt med större detaljsärpa nedan som Bilaga 2. För tydlighetens skull anges referenser specificerade i översikten även nedan i den detaljerade redovisningen, så att bilagan kan läsas separat av den sakkunnige som så önskar.

Fordonsbränder i den medicinska litteraturen

En generell sökning (2020-12-11) i PubMed på *"vehicle fire" smoke* ger bara en sökträff.⁹⁸ Breddning till *vehicle fire smoke* ger 84 resultat, varav ett flertal är irrelevanta för grundfrågeställningen. Som jämförelse ger en sökning samma datum på *road traffic injury* 8421 referenser. De 29 referenser som anges vid sökning på *"automobile fire" poisoning* i PubMed 2020-11-12 är relevanta och pekar mot kolmonoxid och vätecyanid som särskilt problematiska brandrökskomponenter. Första referens är från 1965,⁹⁹ och spridningen av publikationsdatum är stor.

Brand i litiumjonbatterier

Allvarliga risker förknippade med termisk rusning i litiumjonbatterier är i den ingenjörsvetenskapliga litteraturen indikerade sedan länge. I inledningen till en svensk avhandling från 2003 syftande till att karaktärisera litiumjonbatteriers elektolytegenskaper förekommer ordet "safety" fem gånger.¹⁰⁰ Vad gäller den medicinska litteraturen anger en sökning i PubMed på *lithium-ion battery risk* första sökträff till samma år, 2003.¹⁰¹ Denna första medicinska artikel, publicerad i den allmänvetenskapliga tidskriften *Nature*, indikerar ett framtida toxikologiskt problem vid fordonsbränder:

Although not a concern for the small units used in today's portable devices, this unexpected chemical hazard should be taken into account as larger and larger lithium-ion batteries are developed, for example for incorporation into electric-powered vehicles.

En nyligen publicerad översikt över batteribränder i elektriska fordon indikerar ett även för medicinska vetenskaper relevant kunskapsgap föreliggande i att antalet fullskaliga brandtest ännu så länge är begränsat.¹⁰² I denna översikt finns även en utförlig (172 referenser) lista beträffande ingenjörsvetenskaplig litteratur. Det

⁹⁸ Wang Q, Zhou T, Liu Q, He P, Tao C, Shi Q. Numerical study of critical re-entrainment velocity of fire smoke within the street canyons with different building height ratios. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2019 Aug;26(23):23319-23327.

⁹⁹ McBay AJ. Carbon monoxide poisoning. *N Engl J Med*. 1965 Feb 4;272:252-3.

¹⁰⁰ Georén, P. (2003). Characterisation and modelling of lithium-ion battery electrolytes. PhD dissertation. Kungliga Tekniska högskolan, Kemiteknik, Stockholm. ISBN 91-7283-620-2.

¹⁰¹ Hammami A, Raymond N, Armand M. Lithium-ion batteries: runaway risk of forming toxic compounds. *Nature*. 2003 Aug 7;424(6949):635-6.

¹⁰² Sun, P, Bisschop, R, Niu, H, Huang, X. (2020). A review of battery fires in electric vehicles. *Fire technology*, 1-50.

totala antalet sökträffar i PubMed (2020-10-28) på *lithium-ion battery risk* var som jämförelse 35. Sedan för föreliggande frågeställning mindre relevanta referenser (exempelvis litiumjonbatteriers användning i kardiologiska implantat eller deras livscykelrelaterade miljöpåverkan) subtraherats återstod 19, och då hade alla referenser om elektriska cigarettexplosioner behållits.

En känd medicinsk risk vid termisk rusning i litiumjonbatterier är rökgasförgiftning med fluorvätesyra (vätefluorid, HF). I en översiktsartikel från 2020 om denna kemikalies giftighet nämner författarna den dubbla fara som ligger i att fluorvätesyra dels är starkt frätande, dels är systemtoxiskt på cellnivå:¹⁰³

Hydrofluoric acid burns present with a unique concern for systemic fluoride toxicity including cardiovascular, pulmonary, renal and neuromuscular symptoms, electrolyte imbalance and enzyme inhibition which can lead to cardiac arrhythmias and death. Chronic symptoms may occur or persist for months after HF ingestion or respiratory exposure.

Giftinformationscentralen (GIC) har som underlag till sin behandlingsriktlinje för brand i elektriska fordon, 2019 års revision,¹⁰⁴ gjort en litteratursammanställning vilken GIC tolkar som att cirka dubbla mängden fluorvätesyra bildas vid bränder i elektriska fordon jämfört konventionella, om branden får pågå längre tid än 25 - 30 minuter.¹⁰⁵¹⁰⁶ GIC menar att det idag är svårt att förutsäga om detta innebär ökad risk för räddningstjänstpersonal vid släckarbetet, men nämner som jämförelse en industriolycka i Sydkorea där insatspersonal och arbetare utvecklade symtom från ögon, luftvägar samt neurologiska symtom efter uppsamlade av spill efter läckage av fluorvätesyra.¹⁰⁷ Beskrivningen av denna industriolyckas hälsokonsekvenser är den enda primärt medicinska originalartikeln av de totalt 17 referenser GIC baserar sin behandlingsriktlinje för brand i elektriska fordon på, vilket ytterligare synes belysa områdets medicinska kunskapsgap. Överförbarhet från industriolycka med avgränsad kemikalie till elbilsbränders hälsokonsekvenser kan vara begränsad. GIC rekommenderar transport till sjukhus efter exponering för gaser i samband med bränder i elektriska fordon i slutna utrymmen (exempelvis garage eller vägtunnel) eller kraftig exponering. Detta är i linje med en översiktsartikel om fluorvätesyraexponering (ej begränsat till elektriska fordon) från Nordmakedonien, i vilken förordas:¹⁰⁸

¹⁰³ Schwerin DL, Hatcher JD. Hydrofluoric Acid Burns. 2020 Aug 26. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020 Jan.

¹⁰⁴ Giftinformationscentralen, 2019. BRAND I E-FORDON. Personlig kommunikation.

¹⁰⁵ Truchot B, Fouillen F, Collet S. An experimental evaluation of toxic gas emissions from vehicle fires. *Fire Safety J.* 2018;97:111-118.

¹⁰⁶ Lecocq A, Bertana M, Truchot B, Marlair G. Comparison of the fire consequences of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle. *HAL.* 2014:1-12.

¹⁰⁷ Cho S-Y, Woo K-H, Kim J-S. Acute Symptoms in Firefighters who Participated in Collection Work after the Community Hydrogen Fluoride Spill Accident. *Annals of Occupational and Environmental Medicine* 2013;25(36):2-11.

¹⁰⁸ Bajraktarova-Valjakova, E., Korunoska-Stevkovska, V., Georgieva, S., Ivanovski, K., Bajraktarova-Misevska, C., Mijoska, A., & Grozdanov, A. (2018). Hydrofluoric Acid: Burns and Systemic Toxicity, Protective Measures, Immediate and Hospital Medical Treatment. *Open access Macedonian journal of medical sciences*, 6(11), 2257–2269.

Decontamination implemented within the first minute and topical treatment including the use of the antidote is a critical procedure to prevent or minimise ongoing HF absorption and progressive tissue destruction caused by fluoride ions.

Vid brand i elektriska fordon rekommenderar i 2019 års riktlinje GIC inte kalciumtabletter eller annan antidot mot fluorvätesyra på skadeplats. Översiktlig information på engelska om fluorvätesyra finns tillgänglig på USA:s folkhälsomyndighets (Centers for Disease Control and Prevention, CDC) hemsida.¹⁰⁹

Litiumjonbatterier av icke ringa storlek finns även i mindre fordon än bilar, och ett särskilt hänsyn i sammanhanget är att dessa fordon, eller deras batterier, kan förvaras i bostadsutrymmen. I klassen eldrivna enpersonsfordon, tillåtna på allmän väg förutsatt att maxhastigheten understiger 20 km/h och effekten understiger 250 W,¹¹⁰ har exempelvis den eldrivna självbalanserande tvåhjulbrädan hoverboard (även kallad self-balancing scooter mm) blivit ett återkommande inslag i trafikbilden. Kopplat till detta är en säkerhetsproblematik med dess litiumjonbatterier som är så uttalad att t ex den konsumentinriktade hemsidan perfecthoverboard.com har en artikel titulerad *Do Hoverboards Still Catch Fire 2020*,¹¹¹ i vilken konsumenten rekommenderas själv vidtaga säkerhetsåtgärder och en variabilitet beträffande säkerhetsfilosofier bland tillverkare noteras:

Some hoverboard manufacturers, to save the investment, compromise the quality of the battery, wiring or material which is also an important cause of the hoverboard explosion.

En videosökning på internetsökmotorn Google (2020-11-19) på *hoverboard fire* indikerar 293 000 filmklipp varav ett flertal (baserat på stickprov) förefaller helt relevanta för grundfrågeställningen, inklusive dödsfallsbeskrivningar.¹¹² Denna enorma publika uppmärksamhet har inte avspeglat sig i den medicinska forskningen: PubMed-sökning (2020-11-19) på *hoverboard fire* respektive *self-balancing scooter fire* ger inga sökträffar. En liknande jämförelse för elcyklar ger följande utfall: Sökning på internetsökmotorn Google (2020-11-19) på *electric bicycle battery fire* indikerar 1,13 miljoner filmklipp varav ett flertal (baserat på stickprov) förefaller helt relevanta för grundfrågeställningen, inklusive dödsfallsbeskrivningar.¹¹³ PubMed-sökning (2020-11-19) på *electric bicycle battery fire* ger inga sökträffar.

¹⁰⁹ <https://emergency.cdc.gov/agent/hydrofluoricacid/basics/facts.asp>

¹¹⁰ Zajc A, Spielhauer A. Eldrivna enpersonsfordon - En kunskapsöversikt om deras plats i trafiken. Koucky & Partners AB. Uppdragsnummer 17025. 2018-06-29. https://www.trafikverket.se/contentassets/e93aee6024524c3e9db9f343cd5b2899/huvudrapport_eldrivna_enpersonsfordon_20180629.pdf

¹¹¹ <https://perfecthoverboard.com/do-hoverboards-still-catch-fire/>

¹¹² <https://youtu.be/o27DLvSDITw>

¹¹³ <https://www.dailypost.co.uk/news/north-wales-news/woman-died-after-electric-bike-17935702>

Brandrök från kompositmaterial inklusive kolfiber

Risker med brandrök från kompositmaterial inklusive kolfiber har tidigare uppmärksammats inom luftfart. Förutvarande Luftfartsverket (LFV) publicerade 2003 rekommendationer om arbete med kolfiberarmerade kompositer på skadeplats, i vilka konstaterades att kompositmaterial är den minst dokumenterade faran för räddningspersonalen.¹¹⁴ LFV beskriver hur personal från Royal Air Force som 1990 arbetade med bärgning av ett kraschat stridsflygplan i Danmark, en Harrier GR5, fick symtom i form av sveda i hals, ögon och bröst, samt irritation av huden, och tillfälligt fick avbryta arbetet. Orsaken till besvären var små vassa bitar av kolfiber som i form av damm blåste omkring på haveriplatsen. LFV listar i dessa förhållandevis tidiga rekommendationer flera av de olika varianter av kompositmaterial som finns, däribland glasfiber, kolfiber, aramidfiber, borfiber, alla med olika riskprofil. LFV konstaterar att även bindemedlen har en allvarlig toxikologisk problematik. Framsynt skriver LFV:

Avslutningsvis bör det poängteras att det som sägs i detta dokument om farorna med kompositer i samband med luftfartsolycka sannolikt även kan gälla vid andra skadeplatser inkluderande andra moderna transportmedel som moderna tåg, båtar, bussar, bilar, busvagnar mm.

Statens haverikommission (SHK) beskriver i en rapport över en krasch 2018 med stridsflygplanet JAS 39 C Gripen hur det initialt förelåg stor osäkerhet kring vilken skyddsnivå som borde tillämpas på haveriplatsen - polisen frågade räddningstjänsten vilket riskavstånd som gällde, men räddningstjänsten kunde inte ge något säkert och heltäckande svar.¹¹⁵ Gripens tomvikt är cirka 6–7 ton,¹¹⁶ dvs jämförbart med en brand innefattande ett mindre antal personbilar. MSB har med anledning av denna incident tagit fram en vägledning för hantering av kolfiberlaminat vid olyckor,¹¹⁷ i vilken skyddsnivåer och begränsningsåtgärder beskrivs. Vid stort krockvåld eller brand med höga temperaturer rekommenderas att het zon spärras av så alla delar med komposit inryms med 20 meters marginal, kompenserat för vindstyrka och vindriktning. Av denna MSB-väglednings totalt 12 referenser är två medicinskt fokuserade.¹¹⁸¹¹⁹ Det totala antalet sökträffar i PubMed (2020-11-06) på *carbon fiber reinforced polymer* risk är 22, men en majoritet av dessa originalartiklar adresserar för grundfrågeställningen irrelevanta risker, exempelvis kolfiberkompositanvändning inom ortopedi, och bara två är direkt

¹¹⁴ Kompositmaterial i flygplan, faror vid skadeplats. BRS/LE 01:34. LFV 2003. DNR BRS 2003-0005-072.

¹¹⁵ Olycka i Möjeryd, Blekinge län, den 21 augusti 2018 med ett militärt flygplan av typen JAS 39 C Gripen, opererat av Försvarmakten. Statens haverikommission. Slutrapport RM 2019:02. DNR M-16/18 2019-08-20

¹¹⁶ Stridsflygplan JAS 39 A/B. Försvarmakten. <https://www.forsvarsmakten.se/sv/information-och-fakta/materiel-och-teknik/luft/jas-39-gripen-cd/>

¹¹⁷ Hantering av kolfiberlaminat vid olyckor. MSB 2020-08070

¹¹⁸ Reinholdsson, P. (2011). Hälsorisker och skyddsåtgärder vid arbete med kompositer. Brand och andra risker med farkoster innehållande kompositer. Linköping: Exova AB.

¹¹⁹ Malmsten, C. L. (2003). Medicinska aspekter på brand i advanced composite material. Luftfartsverket.

relevanta.¹²⁰¹²¹ Det totala antalet sökträffar i PubMed (2020-11-06) på ”*composite material*” *fire* är 18, av vilka bara en är relevant för grundfrågeställningen såtillvida att den beskriver miljöpåverkan.¹²² PubMed-sökning (2020-11-06) på ”*fiber-reinforced polymer composites*” *risk* gav bara en sökträff.¹²³ Som jämförelse ger en PubMed-sökning (2020-11-06) på *asbestos risk* 3608 träffar. Wikipedia-artikeln för *Carbon fiber reinforced polymer* saknar helt information om hälsorisker.¹²⁴

Brandrök från fordonsmaterial exklusive kompositmaterial

GIC noterar i ovan nämnda behandlingsriktlinje för brand i elektriska fordon att brand i bilar ger upphov till en komplex blandning av giftiga gaser och partiklar där sammansättningen är beroende av biltyp och av vilka material som brinner. I ovan nämnda studie av Truchot et al (2018) befanns fluorvätesyra (HF) och väteklorid (HCl, dvs den gas som i vattenlösning bildar saltsyra) ha toppar på tidsskalan vid fordonsbrand, medan vätecyanid (HCN, dvs cyanvätesyra, även kallat blåsyra) förefaller produceras kontinuerligt. En PubMed-sökning (2020-11-12) på ”*automobile fire*” *cyanide* ger två träffar, varav den ena djurexperimentell,¹²⁵ men genom olika kombinationer av söktermer som *cyanide, vehicle, fire, smoke, etc* kan ett mindre antal relevanta referenser återfinnas på PubMed. Stoll med medförfattare har i en artikel från 2017 mätt cyanidkoncentrationer i blodet hos 92 personer som avlidit på grund av eldsvåda och/eller rökgasexponering i olika sammanhang, och rapporterar de högsta koncentrationerna hos de som exponerats i slutna utrymmen (n = 45) eller fordonsbrand (n = 8).¹²⁶ De menar att ett kunskapsgap föreligger vad gäller vätecyanidproducerande material och cyanidkoncentrationer i blodet hos rökgasexponerade avlidna:

Systematic data concerning the influence of different fire conditions, especially those of various inflammable materials, on the CN-blood concentration of deceased persons do not exist.

Att vätecyanid är en betydande och eventuellt underskattad dödsorsak vid bränder generellt visades även i en svensk studie 2012.¹²⁷ Vad gäller fordonsbränder visade en svensk studie 2006 att de vid bilbrand mest

¹²⁰ Wang J, Schlagenhauf L, Setyan A. Transformation of the released asbestos, carbon fibers and carbon nanotubes from composite materials and the changes of their potential health impacts. *J Nanobiotechnology*. 2017 Feb 20;15(1):15.

¹²¹ Schlagenhauf L, Kuo YY, Michel S, Terrasi G, Wang J. Exposure Assessment of a High-energy Tensile Test With Large Carbon Fiber Reinforced Polymer Cables. *J Occup Environ Hyg*. 2015;12(8):D178-83.

¹²² Vajdová I, Jenčová E, Szabo S Jr, Melníková L, Galanda J, Dobrowolska M, Ploch J. Environmental Impact of Burning Composite Materials Used in Aircraft Construction on the Air. *Int J Environ Res Public Health*. 2019 Oct 19;16(20):4008.

¹²³ Banton MI, Bus JS, Collins JJ, Delzell E, Gelbke HP, Kester JE, Moore MM, Waites R, Sarang SS. Evaluation of potential health effects associated with occupational and environmental exposure to styrene - an update. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev*. 2019;22(1-4):1-130.

¹²⁴ https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_fiber_reinforced_polymer

¹²⁵ Takeichi S, Tokunaga I, Maeiwa M, Okada K, Kanbara K, Nii H, Nanishi K, Oka T. Experimental studies on death by fire in automobiles and exhaust gas poisoning. *Am J Forensic Med Pathol*. 1986 Dec;7(4):301-4.

¹²⁶ Stoll S, Roeder G, Keil W. Concentrations of cyanide in blood samples of corpses after smoke inhalation of varying origin. *Int J Legal Med*. 2017 Jan;131(1):123-129.

¹²⁷ Stamy K, Thelander G, Ernstgård L, Ahlner J, Johanson G. Swedish forensic data 1992-2009 suggest hydrogen cyanide as an important cause of death in fire victims. *Inhal Toxicol*. 2012 Feb;24(3):194-9.

vätecyanidproducerande fordonssdelarna är dörrpaneler, mattor, instrumentbrädor, och framför allt stoppade säten.¹²⁸ Ett viktigt material härvidlag är polyuretan. Att brandrök från polyuretan innehåller vätecyanid (samt andra gifter) är välkänt och omnämns t ex i materialets Wikipedia-artikel,¹²⁹ i vilken även noteras materialets utbredda användning i personbilar. En PubMed-sökning (2020-11-10) på *polyurethane vehicle fire risk* eller *polyurethane vehicle fire* ger emellertid inga sökträffar, att jämföra med breddad sökning utan materialterm som samma datum på *vehicle fire risk* ger 179 träffar. PubMed-sökning (2020-11-10) på *polyurethane fire risk* respektive *polyurethane smoke risk* ger 14 respektive 19 överlappande resultat (där den sistnämnda sökningen innehöll artiklar relaterade till tobaksrökning) utan direkt koppling till fordonnbränder, men med relevans för grundfrågeställningen i form av medicinsk information om möbelstoppning,^{130,131} och prediktiva modeller.¹³² Antidot (dvs, motgift) mot cyanidförgiftning finns, och på FASS (Farmaceutiska Specialiteter i Sverige, en informationsdatabas med läkemedelsfakta från läkemedelsindustrin) fritt tillgängliga internetversion, fass.se, finns utförlig information som även medicinskt oskolade kan tillgodogöra sig. För hydroxokobalamin (salufört som Cyanokit) anges inga kontraindikationer, dvs, det är inte farligt att ge korrekt dos av motgiftet.¹³³ I en studie från 2010 befanns högre doser av motgiftet minska den kardiella risken vid cyanidförgiftningar.¹³⁴ Författarna till denna studie påpekar att cyanidkoncentrationer i blod inte regelmässigt mäts av alla laboratorier, dvs, att kända data kan vara en underrapportering av problemet. Vidare lyfter de fram den fysiologiska relation som föreligger mellan cyanidförgiftningar och kolmonoxidförgiftningar såtillvida att båda gifterna förhindrar vävnaders syresättning, genom varsin distinkta mekanism i syrets transport från lungorna till cellernas syreanvändning. Beträffande risken vid bränder för denna dubbla förgiftning konkluderas:

In the event of ... hydrogen cyanide poisoning associated with carbon monoxide poisoning (on inhalation of fire smoke), hydroxocobalamin should be administered without delay.

På GIC:s Antidotlista 2019 rekommenderas hydroxokobalamin bland preparat som är lämpliga för sjukhus att lagervålla i beredskapsförråd, i mängd beroende på lokal riskbild.¹³⁵ GIC nämner värdet av en förberedd akutväska med antidoter som kan tas med till olycksplats. En annan antidot mot cyanidförgiftning är natriumtiosulfat.¹³⁶ Både hydroxokobalamin och natriumtiosulfat finns upptagna

¹²⁸ Lönnermark, A. Blomqvist, P. 2006. Emissions from an automobile fire. *Chemosphere*, 62, 1043-1056.

¹²⁹ <https://en.wikipedia.org/wiki/Polyurethane>

¹³⁰ Brereton S, Laing RM. Analysis of injury and death from burning upholstered furniture. *N Z Med J*. 1992 Oct 28;105(944):429-32.

¹³¹ Lounis M, Leconte S, Rousselle C, Belzunces LP, Desauziers V, Lopez-Cuesta JM, Julien JM, Guenot D, Bourgeois D. Fireproofing of domestic upholstered furniture: Migration of flame retardants and potential risks. *J Hazard Mater*. 2019 Mar 15;366:556-562.

¹³² Levin BC. New approaches to toxicity: a seven-gas predictive model and toxicant suppressants. *Drug Chem Toxicol*. 1997 Nov;20(4):271-80.

¹³³ <https://www.fass.se/LIF/product?userType=0&nplld=20100115000217>

¹³⁴ Fortin JL, Desmettre T, Manzon C, Judic-Peureux V, Peugeot-Mortier C, Giocanti JP, Hachelaf M, Grangeon M, Hostalek U, Crouzet J, Capellier G. Cyanide poisoning and cardiac disorders: 161 cases. *J Emerg Med*. 2010 May;38(4):467-76.

¹³⁵ <https://giftinformation.se/globalassets/giftinfo/antidotlista-2019-01.pdf>

¹³⁶ <https://narkosguiden.se/book/akuta-forgiftningar/>

på Världshälsoorganisationens lista över essentiella läkemedel, varför medicinska kunskapsgap om deras nytta, användning och rekommenderade tillgänglighet knappast kan anses föreligga.¹³⁷

Hälsoeffekter på lång sikt

För att kunna dra generella slutsatser om långsiktiga hälsokonsekvenser för räddningstjänstpersonal relaterat till släckning av fordonsbränder måste den generella exponeringen beskrivas. För USA sammanställer den amerikanska brandskyddsföreningen (National Fire Protection Association, NFPA), regelbundet sådana data från två datakällor: The U.S. Fire Administration's (USFA's) National Fire Incident Reporting System (NFIRS), samt the National Fire Protection Association's (NFPA's) annual fire department experience survey. NFPA rapporterar att mellan åren 2003–2007 arbetade amerikansk räddningstjänstpersonal årligen med cirka 287 000 fordonsbränder.¹³⁸ Annan insatspersonals (polis, ambulans) exponering torde utifrån sådana data kunna grovskattas. Vad gäller allmänhetens exponering noteras i samma rapport att:

One-third (35%) of non-fatal highway vehicle fires injuries occurred when civilians attempted to fight the fire themselves.

En övergripande litteratursammanställning över kända arbetsmiljörisker för räddningstjänstpersonal vid olika typer av insatser finns tillgänglig på CDC:s hemsida.¹³⁹ CDC noterar fordonsbränders relativa särart:

Structural and vehicle fires involve different types of exposures and hazards.

I en av CDC:s rekommenderade studier (från 2011) konstateras, trots att fordonsbränder är vanligt förekommande, ett medicinskt kunskapsgap föreligga vad gäller räddningstjänstpersonals exponering för rökgaser vid släckning av fordonsbränder.¹⁴⁰ Författarna anser hälsorisk föreligga även om släckningsarbetet tar mindre än tio minuter. Studien bygger emellertid på extrapoleringar från en prediktionsmodell och ett mycket litet empiriskt dataset, även beskrivet med handfasta rekommendationer i en separat publikation från CDC.¹⁴¹ Stora studier av långsiktiga hälsokonsekvenser för räddningstjänstpersonal relaterat till släckning av fordonsbränder saknas i CDC:s litteratursammanställning. En rapport i *Nature*

¹³⁷ World Health Organization. WHO Model List of Essential Medicines 19th List. April 2015.

¹³⁸ Ahrens, M. (2010). US vehicle fire trends and patterns. National Fire Protection Association. http://tkolb.net/FireReports/US_VehFirTrePat2003-2007.pdf

¹³⁹ <https://www.cdc.gov/niosh/firefighters/hazard.html>

¹⁴⁰ Fent KW, Evans DE. Assessing the risk to firefighters from chemical vapors and gases during vehicle fire suppression. *J Environ Monit.* 2011 Mar;13(3):536-43.

¹⁴¹ Fent, KW, Evans, DE, Couch, J. (2010). Evaluation of Chemical and Particle Exposures During Vehicle Fire Suppression Training. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. <https://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2008-0241-3113.pdf>

från 2018 pekar likaledes på ett kunskapsgap vad gäller långsiktiga arbetsmiljömedicinska risker för räddningstjänstpersonal:¹⁴²

These results suggest an urgent need to monitor exposures to firefighters in their occupational setting and conduct long-term follow-up regarding their health status.

Att arbete inom räddningstjänst kan kopplas till generella långsiktiga hälsokonsekvenser är välbeskrivet i stora internationella studier,¹⁴³ men vad författarna till rapporten i *Nature* avser är forskningsbehov beträffande huruvida exponering för specifika kemikalier eller grupper av kemikalier kan kopplas till specifika långsiktiga hälsokonsekvenser. Författarna pekar också (i linje med vad som efterfrågades på ovan redovisade workshop för insatspersonal, punkter 3.2.5, 3.2.8 och 3.3.13) på ett forskningsbehov vad gäller blandningar och korsreaktioner av olika rökgaskomponenter. En PubMed-sökning (2020-11-18) på *vehicle fire smoke emissions firefighters* ger fyra sökträffar varav ingen är direkt relevant för grundfrågeställningen. Mer specifika sökningar samma datum på *vehicle fire smoke emissions firefighters long-term*, *vehicle fire smoke emissions firefighters follow-up*, *vehicle fire smoke emissions exposure firefighters follow-up*, samt *vehicle fire smoke emissions rescue service follow-up* ger inga träffar. Även om andra söktermer och söktermskombinationer kan generera fler medicinrelaterade referenser torde denna övergripande sökträffsredovisning indikera en eftersatthet vad gäller medicinsk forskning om långsiktiga hälsokonsekvenser för räddningstjänstpersonal relaterat till släckning av fordonsbränder. Som jämförelse ger en generell sökning för bilavgasexponering (PubMed 2020-11-18: *vehicle emissions exposure follow-up*) 132 träffar. Vad gäller övrig insatspersonals exponering ger en PubMed-sökning (2020-11-19) på *vehicle fire smoke emissions police follow-up* inga träffar. En experimentell amerikansk studie från 2010 analyserade rökgaskomponenter från olika typer av bränder, däribland fordonsbränder.¹⁴⁴ Forskarna fann en stor variation beroende på kemisk materialsammansättning i respektive brandtyp, och föreslår att framtida forskning bör försöka karaktärisera räddningstjänstpersonals exponering vid olika brandtyper utifrån potentiellt rökgasinnehåll. Författarna ansåg medicinska kunskapsgap föreligga beträffande långsiktiga hälsokonsekvenser på flera punkter, och har även gjort en litteratursammanställning.

Kontamination och sanering

På ovan redovisade workshop för insatspersonal efterfrågades identifiering av kunskapsgap relaterade till olika slags kontaminationsrisker. Föreliggande litteratursökning har begränsats till direkt hälsorelaterade aspekter - miljötekniskt

¹⁴²¹⁴² Stec AA, Dickens KE, Salden M, Hewitt FE, Watts DP, Houldsworth PE, Martin FL. Occupational Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Elevated Cancer Incidence in Firefighters. *Sci Rep*. 2018 Feb 6;8(1):2476.

¹⁴³ Pukkala E, Martinsen JI, Weiderpass E, Kjaerheim K, Lyng E, Tryggvadottir L, Sparén P, Demers PA. Cancer incidence among firefighters: 45 years of follow-up in five Nordic countries. *Occup Environ Med*. 2014 Jun;71(6):398-404.

¹⁴⁴ Fabian, T., Borgerson, J. L., Kerber, S. I., Gandhi, P. D., Baxter, C. S., Ross, C. S., ... & Dalton, J. M. (2010). Firefighter exposure to smoke particulates. *Underwriters Laboratories*.

sakkunniga rekommenderas att göra motsvarande sökningar inom sina respektive expertområden, exempelvis kontaminationsrisker allmänt avlopp och vattentäkt. Förutvarande Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut (SP) har i en rapport från 2002 gjort en litteratursammanställning som kan tjäna som utgångspunkt i sådant arbete.¹⁴⁵ I SP-rapporten finns även metodologiska förslag för framtida forskning på utsläpp från bränder. I ovan nämnda litteratursammanställning på den CDC:s hemsida finns en mindre mängd generellt material om kontamination. I en studie från 2017 påpekas att den roll kemisk exponering på hud och personlig skyddsutrustning har för räddningstjänstpersonals långsiktiga hälsa inte är tillräckligt studerat,¹⁴⁶ och i en studie från 2015 beskrivs hur kontaminerad personlig skyddsutrustning kan få negativa hälsokonsekvenser för räddningstjänstpersonal.¹⁴⁷ Finlands Arbetshälsoinstitut påpekar i en icke publikt tillgänglig studie från 2018 vikten av att rekommendationer och teknologier för tvättning av räddningstjänstpersonals kläder kopplas samman med den miljö i vilken kontaminationen skett.¹⁴⁸ En sökning (2020-11-19) i PubMed på *vehicle fire smoke contamination* ger tre resultat varav bara en är relevant: Lönnermark och Blomqvists tidigare nämnda studie från 2006. PubMed-sökning (2020-11-19) på *automobile fire smoke contamination* ger två resultat varav en är relevant: Återigen Lönnermark och Blomqvist 2006. Vad gäller sanering i den medicinska litteraturen ger PubMed-sökning (2020-11-19) på *vehicle fire smoke decontamination* inga sökträffar. Utan fordonstermen ger PubMed-sökning (2020-11-19) på *fire smoke decontamination* fyra sökträffar, samtliga relevanta men ej specifika för fordonsbränder. Enstaka relevanta träffar på PubMed kan identifieras med olika söktermskombinationer, däribland en utvärdering av att endast nyttja vatten till sanering av utrustning.¹⁴⁹ För grundfrågeställningen, dvs kontaminationsrisker specifika för fordonsbränder, är den medicinska litteraturen innehållsfattig.

Fordonsbrand i slutet utrymme

Slutna utrymmen kan öka konsekvensens storlek genom att öka koncentrationen av giftiga rökgaskomponenter, såsom indikeras i ovan nämnda studie från 2017 av Stoll med medförfattare vad gäller cyanidkoncentrationer i blod. I Sverige pågår infrastrukturprojekt som kommer att medföra ökade trafikvolymmer i slutna utrymmen, exempelvis E4 Förbifart Stockholm som innefattar 18 km vägtunnel.¹⁵⁰ Det statliga forskningsinstitutet RISE (Research Institutes of Sweden) publicerade

¹⁴⁵ Larsson, I., & Lönnermark, A. (2002). Utsläpp från bränder-Analyser av brandgaser och släckvatten. SP RAPPORT 2002:24.

¹⁴⁶ Fent KW, Alexander B, Roberts J, Robertson S, Toennis C, Sammons D, Bertke S, Kerber S, Smith D, Horn G. Contamination of firefighter personal protective equipment and skin and the effectiveness of decontamination procedures. *J Occup Environ Hyg.* 2017 Oct;14(10):801-814.

¹⁴⁷ Fent KW, Evans DE, Booher D, Pleil JD, Stiegel MA, Horn GP, Dalton J. Volatile Organic Compounds Off-gassing from Firefighters' Personal Protective Equipment Ensembles after Use. *J Occup Environ Hyg.* 2015;12(6):404-14.

¹⁴⁸ Laitinen J, Tuomi T, Vainiotalo S, Laaja T, Rantio T, Parshintsev E, Kiviranta H, Koponen J, Pyrstöjärvi P, Kemmeren M, Heus R. Contamination and decontamination of firefighting garments - Laboratory tests. *FIOH*, 28 augusti 2018. <https://www.ttl.fi/sv>

¹⁴⁹ Calvillo A, Haynes E, Burkle J, Schroeder K, Calvillo A, Reese J, Reponen T. Pilot study on the efficiency of water-only decontamination for firefighters' turnout gear. *J Occup Environ Hyg.* 2019 Mar;16(3):199-205.

¹⁵⁰ <https://www.trafikverket.se/nara-dig/Stockholm/vi-bygger-och-forbattrar/Forbifart-stockholm/>

2018 en översikt av forskningsläget vad gäller bränder i väg- och järnvägstunnlar,¹⁵¹ i vilken konstateras:

Use of alternative fuel vehicles poses new risks for tunnel fire safety, especially in urban areas.

Författarna anser brådskande forskningsbehov föreligga vad gäller grundfrågeställningen i förhållande till vägtunnlar, exemplifierat av hur jetflammar från trycktankar kan sprida brand mellan fordon. I en nyligen publicerad MSB-rapport har detta kunskapsgap adresserats, med en analys av riskavstånd vid räddningsinsatser mot fordon med alternativa bränslen på både öppen väg och i vägtunnlar.¹⁵² Tankruptur visades vara ett förhållandevis vanligt utfall vid brand i gasfordon och i tunnlar kan eldklotet bli mycket stort - det kan även bildas höga tryck vid sekundära explosioner i den utsläppta gasen. I en fransk studie från 2009 problematiseras allmänhetens evakueringsbeteenden vid fordonsbränder i vägtunnlar - resultaten från författarnas enkätstudie (n=150) indikerar grader av irrationalitet:¹⁵³

When we asked users how they would behave if their vehicle caught on fire, many people selected "use a fire extinguisher" from a list of behaviours...

... while many users knew about emergency exits in tunnels, many of these same people said that in the event of a fire, they would try to get out via the tunnel entrance or exit, even if they were in the middle of the tunnel where there is little chance of escape.

Författarna beskriver även särskilda svårigheter räddningstjänsten förväntas erfa vid fordonsbränder i vägtunnlar, inte minst i tät trafik. Trafikflödet är även beaktat i en studie från 2013 som beräknar det förväntade antalet dödsfall på grund av giftiga rökgaser vid fordonsbränder i vägtunnlar givet olika förhållanden.¹⁵⁴ En simulering gjord inom ramen för den studien, av en lastbilkollision inne i Kallang-Paya Lebar Expressway vägtunneln i Singapore (9 km), indikerar att en person kan förväntas dö p.g.a. giftiga rökgaser. Författarna till en översiktsartikel från 2018 konstaterar att brand är den enskilt mest kritiska händelsen vad beträffar säkerhet i vägtunnlar,¹⁵⁵ och reser farhågan att länder som förhållandevis snabbt utökar sin totala vägtunnelsträcka kan få ett förmågegap vad gäller säkerhet och räddning i denna komplexa miljö. Översiktsartikeln beskriver även ett antal viktiga parametrar vad gäller säkerhet och räddning vid brand i vägtunnlar, däribland trafik, allmänhetens evakueringsbeteenden, brandens egenskaper, och miljöförhållanden.

¹⁵¹ Li, YZ, Ingason, H. Overview of research on fire safety in underground road and railway tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2018, 81: 568-589.

¹⁵² Zonindelning vid räddningsinsatser mot fordon med alternativa bränslen MSB1620. November 2020 ISBN 978-91-7927-060-5.

¹⁵³ Gandit, M., Kouabenan, D. R., & Caroly, S. (2009). Road-tunnel fires: Risk perception and management strategies among users. *Safety science*, 47(1), 105-114.

¹⁵⁴ Qu X, Meng Q, Liu Z. Estimation of number of fatalities caused by toxic gases due to fire in road tunnels. *Accid Anal Prev*. 2013 Jan;50:616-21.

¹⁵⁵ Ntzeremes, P., & Kirytopoulos, K. (2019). Evaluating the role of risk assessment for road tunnel fire safety: A comparative review within the EU. *Journal of traffic and transportation engineering (English edition)*, 6(3), 282-296.

Den i introduktionen refererade studien av Stave et al från 2017, om räddningstjänstpersonals beredskap för arbete med bränder i elektriska fordon, indikerar som särskilt problematiska fordonsbränder i garage:¹⁵⁶

A fire in a parking garage requires a big operation and poses great risks to the firefighters.

Att problemet är allmänt känt indikeras av att en videosökning med internetsökmotorn Google (2020-12-02) på *fire parking garage* indikerar 2,55 miljoner filmklipp, inkluderande filmmaterial från den stora branden i ett garage i Liverpool på nyårsafton 2017, i vilken 1400 bilar totalförstördes och en omfattande evakuering fick göras.¹⁵⁷ PubMed-sökning (2020-12-02) på samma söktermer ger emellertid bara en träff, ej relevant för grundfrågeställningen.¹⁵⁸ I en experimentell studie från 2020 noterades att elfordonsbränder i underjordsgarage kan leda till särskild problematik vad gäller kontamination och sanering efter släckning.¹⁵⁹

Firefighting and cooling water resulting from an electric vehicle fire is highly contaminated. Since the concentrations of lithium and the heavy metals cobalt, nickel and manganese exceed current thresholds for discharge into the sewerage system many times over, appropriate pre-treatment must be implemented in practice.

Författarna påpekar också en problemanalogi med stationär energilagring i källare.

¹⁵⁶ Stave, C., & Carlson, A. (2017). A case study exploring firefighters' and municipal officials' preparedness for electrical vehicles. *European transport research review*, 9(2), 25.

¹⁵⁷ Över tusen bilar förstörda i brand i Liverpool. Sveriges Radio 1 januari 2018. <https://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?artikel=6853125>

¹⁵⁸ Kocasoy G, Yalin H. Determination of carboxyhemoglobin levels and health effects on officers working at the Istanbul Bosphorus Bridge. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng*. 2004;39(4):1129-39.

¹⁵⁹ Mellert, L. D., Welte, U., Tuchschnid, M., Held, M., AG, V. H., Hermann, M., ... & Nachev, L. Risk minimisation of electric vehicle fires in underground traffic infrastructures. August 2020. Federal Department of the Environment, Transport, Energy and Communications DETEC, Switzerland.

Bilaga 3. Etiska hänsyn

Forskning på människor

För att besvara frågeställningar som föreliggande rapport indikerar måste sannolikt forskning på människor eller djur bedrivas. För ingenjörsvetenskaperna och brandforskningen kan detta innebära nya hänsyn som man tidigare inte har behövt beakta. För den medicinska forskningen är etisk prövning före studiestart en del av det normala förfarandet, vars bakgrund och rational beskrivs i en översiktsartikel i Läkartidningen 2014.¹⁶⁰ Forskning på människor regleras i svensk lag, den s.k. Etikprövningslagen, och handläggs av den 2019 inrättade Etikprövningsmyndigheten (EPM).¹⁶¹¹⁶² Även forskning på biologiskt material och känsliga personuppgifter regleras. Studier av den typ av datakällor som föreslås i föreliggande rapport kan falla under Etikprövningslagen, varför författaren till Etikprövningsmyndigheten ingivit ansökan om etisk prövning inför sådana.

Tidsrymd och utfall etikprövning

Ansökan till EPM ingavs den andra december 2019, dnr 2019-06137. Metoden beskrevs som deskriptiv observationell utan aktiv medicinsk behandling och bland överväganden beskrevs behandling av personuppgifter, dvs, risk för integritetsintrång. I värderingen av risk versus nytta angavs nyttan överväga. EPM avslog den 15 januari 2020 ansökan, men kritiken var av mindre allvarlig natur (det saknades obligatoriska bilagor och informationen till forskningspersonerna ansågs ofullständig). Komplettering ingavs den 12 februari 2020 och EPM godkände forskningsprojektet den 11 mars 2020.

¹⁶⁰ Läkartidningen. 36/2014;111:CZHW <https://lakartidningen.se/Aktuellt/Nyheter/2014/09/Ur-nazismens-grymheter-foddes-forskningsetiken/#>

¹⁶¹ SFS 2003:460

¹⁶² <https://etikprovningmyndigheten.se/om-myndigheten/>



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap

I samarbete med:



UMEÅ UNIVERSITET

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)
651 81 Karlstad Tel 0771-240 240 www.msb.se
Publ.nr MSB1723 April 2021 ISBN 978-91-7927-123-7