Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

Brand i moderna bilar

Speciella faktorer att beakta i relation till olika drivsystem

Råd till räddningstjänst- och ambulanspersonal

2017

Foto: Joakim Eriksson

MSB:s kontaktperson:
Bo Andersson 010-240 52 62

Publikationsnummer MSB 1124- september 2017
ISBN 978-91-7383-766-8

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

Bild på framsidan:
Bil som tog eld under färd. Joakim Eriksson, Agena foto
http://markbladet.se/?artikel=201211281144151601

Läsanvisning:

Rapporten är till för personal inom räddningstjänsten och sjukvården. Personalen har erfarenhet att genomföra insatser vid en trafikskadehändelse. Eftersom nya drivmedel och nya konstruktioner ständigt kommer fram på marknaden är det av största vikt att insatspersonalen får en ständig uppdatering för att möjliggöra en säker och effektiv räddningsinsats. Rapporten ska användas som en kunskapsbank för insats vid brand i moderna fordon och ***inte en checklista som ska följas i tur och ordning.***

Den styrande faktorn är hela tiden riskbilden och hur man kan både taktiskt och tekniskt genomföra insatsen. Exemplen som redovisas kan vara ett stöd både före-under och även efter en insats för att hela tiden utveckla genomförandet vid denna typ av händelse.

Rapporten är baserad på ny forskning och erfarenheter samt framkomna behov från samarbetet mellan fordonstillverkare, sjukvård och räddningstjänst.

Förord

Föreliggande kunskapssammanställning har genomförts på uppdrag av Myndigheten för Samhällsskydd och beredskap (MSB), genom Bo Andersson som är MSB:s expert i trafik och brandskadehantering.

Denna rapport beskriver speciella egenskaper och därav följande taktiska överväganden vid räddningsinsats som karaktäriserar olika drivsystem, konstruktioner och material hos moderna fordon (Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap 2016a).

Ansvariga för rapporten är senior professor Ulf Björnstig, Umeå, ingenjör Lars Hoffman, Trollhättan och tidigare utvecklingsledaren inom räddningstjänsten Krister Palmkvist, Borås. Beträffande författarnas bibliografi, se Bilaga 2.

Respektive författare ansvarar för förankringen av kunskap och metoder inom sitt respektive fackområde.

Ett stort tack till alla de personer som deltagit och faktagranskat rapporten.

I avsnittet om olika drivsystem, konstruktioner och material hos e-fordon har Senior Analyze Engineer Jonas Fogelström, Volvo EPS, Electric and Hybrid Vehicles bidragit med värdefulla synpunkter.

I avsnittet om ambulanssjukvårdens insats har följande personer deltagit med synpunkter, samt faktagranskat rapporten.

- Docent Jonas Höjer, giftinformationscentralen GIC, Stockholm som generöst har bidragit med GIC:s kunskap och materiel.
- Överläkare Thomas Blomberg, kontaktläkare för SLAS, Sveriges Ledningsansvariga Ambulansläkare i Samverkan, undergrupp till FLISA; Föreningen för ledningsansvariga inom ambulanssjukvården, som särskilt bidragit i avsnittet om behandlingsrekommendationer.
- Docent Magnus Hultin, lektor anestesi och intensivvård, Umeå universitet, Sunderbyns sjukhus, tidigare ambulanshelikopterläkare, som faktagranskat rapporten.
- F.d. överläkare Ulf Andersson, anestesi- och intensivvårdsläkare, Kalmar, mångårig medlem av Socialstyrelsens medicinska expertråd inom C-området, som har bidragit med synpunkter på behandling i klinisk prehospital och hospital praxis.
- Övriga rådfrågade toxikologer och befattningshavare inom ämnesområdet som bidragit med expertkommentarer och råd i enskilda frågor.

Författarna (i bokstavsordning)
Ulf Björnstig
Lars Hoffmann
Krister Palmkvist

Innehåll

1 Sammanfattning 7

1.1 Generella strategiska frågor att beakta vid insats - sammanfattning 7

1.2 Flytande drivmedel (bensin, diesel, etanol m.m.) - sammanfattning 8

1.3 Gasformiga drivmedel - sammanfattning 10

1.4 Eldrivna fordon (e-fordon) - sammanfattning 12

1.5 Att beakta efter insats - sammanfattning 14

2 Bakgrund 16

3 Syfte 19

4 Fordonets energisystem och komponenter av intresse vid brand 20

4.1 Flytande drivmedels egenskaper 20

4.1.1 Bensin 20

4.1.2 Alkylatbensin 20

4.1.3 Diesel 20

4.1.4 FAME 20

4.1.5 HVO- Hydrogenated Vegetable Oil 20

4.1.6 Etanol E85 21

4.2 Fordonsgasers egenskaper 21

4.2.1 Naturgas, CNG och LNG (Compressed/Liquified Natural Gas) 21

4.2.2 Biogas 21

4.2.3 Motorgas, LPG (Liquified Petroleum Gas) 22

4.2.4 Vätgas 22

4.2.5 Dimetyleter (DME) 22

4.3 Elektrisk drivning (e-fordon) – egenskaper 22

4.3.1 Tekniska egenskaper hos e-fordon 22

4.3.2 Tekniska batteriegenskaper 23

4.3.3 Termisk rusning i ett litiumbatteri 24

4.3.4 Framtida elektriska drivbatterier 26

4.4 Övriga brännbara ämnen och komponenter av intresse vid brand 26

4.4.1 Kylmedium: 26

4.4.2 Inredningsdetaljer 26

4.4.3 Grundmålning och rostskydd: 26

4.4.4 Kompositer som t.ex. kolfiber 26

4.4.5 Pyrotekniska komponenter 27

4.4.6 Oljefyllda stötdämpare och gasdämpare 27

4.4.7 Metallbrand 28

4.5 Brandgaser 28

4.6 Sammanfattning 29
5 Räddningstjänstens insats – olika taktik och släckmedel 30
5.1 Hur agerar räddningstjänsten i dag vid insats mot brand i bil? . 30
5.2 Riskbedömning och miljö..... 31
5.2.1 Riskbedömning på skadeplats 33
5.2.2 Släckmedel och miljö 33
5.3 Släckinsats – befintliga släcksystem 34
5.3.1 Mobila fläktar 35
5.3.2 Finfördelad vattendimma 300-350 bar.....35
5.3.3 Pulversläckning (handbrandsläckare, (6-12 kg).....36
5.3.4 Kolsyra (handbrandsläckare).....36
5.3.5 Lågtrycksystem - vatten.....36
5.3.6 Förhöjt lågtrycksystem - vatten 37
5.3.7 Högtrycksystem - vatten 37
5.3.8 Skumsystem standard tung-, mellan-, respektive lättskum.....37
5.3.9 Skumsystem CAFS (Compressed Air Foam Systems). 37
5.3.10 Dimspik/lågtryck och förhöjt lågtryck. 37
5.3.11 Aerosolsläckgranater PGA
(Pyrotekniskt Genererade Aerosoler) 37
5.3.12 Brandfilt.....38
5.4 Sammanfattning – speciella taktiska dispositioner 38
5.4.1 Flytande drivmedel – räddningstjänstens insats 38
5.4.2 Fordonsgas – räddningstjänstens insats 39
5.4.3 Eldrivna fordon (e – fordon).....39
5.5 Hantering av fordon och utrustning efter att branden är släckt. 40
5.5.1 Fordon med flytande drivmedel.....40
5.5.2 Gasfordon 40
5.5.3 E-fordon 40
6 Ambulanssjukvårdens insats – olika medicinska faktorer 42
6.1 Fysisk påverkan 42
6.2 Brännskadas utbredning och djup..... 42
6.3 Brandgasers medicinska påverkan..... 43
6.3.1 Allmänt 43
6.3.2 Kolmonoxid-förgiftning 44
6.3.3 Vätecyanidförgiftning.....45
6.3.4 Vätefluorid (HF) 46
6.3.5 Oxygen (Syre)- brist 47
6.3.6 Allmänt om andra brandgaser 47
6.3.7 Sammanfattande råd om medicinsk insats vid bilbrand 47
7 Uppföljning.....49
8 Referenser.....50

1 Sammanfattning

1.1 Generella strategiska frågor att beakta vid insats - sammanfattning

- Vilken fordonstyp och typ av drivmedel (vätska, gas, el) är aktuell?

  Fråga föraren/ägaren, eller få uppgift från bilregistret via larmcentral utgående från Vehicle Identification Number (VIN) från e-call larm, eller Crash Recovery System® via registreringsnummer. Titta under tanklocket, där står vilket drivmedel som gäller och där finns även anslutning för tankning av de olika typerna av drivmedel.

- Efter riskanalys – välj lämplig taktik, metod och teknik för räddning av ev. drabbade (snabbt beslut), samt för släckinsats.

- Identifiera brandutveckling – var branden börjat osv. Slå ner öppen låga med lämpligt släckmedel. Försök förebygga brand i materiel med stor energipotential som tank/gastuber/batteri, liksom i däck, plaster och tyger, genom vätning med släckvatten eller pulver.

- Undanröj spridningsrisk. Om gasdrivet fordon – skydda för eventuell låga från säkerhetsventilerna på gastuberna– kyl ej dessa - då öppnar kanske inte den temperaturkänsliga ventilen. Se 1.3.

- Brinner drivbatteri i e-fordon eller vätgasfordon? – Se 1.4.

- Är fläkt lämplig att använda?

- Undvik att använda samlad vattenstråle mot brinnande magnesiumlegerade strukturer, särskilt magnesiumfälgar.

- Finns risk för detonation från stötdämpare, gasfjädrar/cylindrar, eller andra pyrotekniska komponenter? – beslut om skyddsåtgärder. Se 6.4.1.

- För ambulanspersonal: Bedöm eventuell inhalation av brandgaser – om symtom hos drabbade och räddare – ge generell behandling med oxygen, inhalation av bronkvidgande medel, plus kortikosteroider, plus i lämpliga fall antidot mot specifika ämnen (se 1.2-4 angående HCN och HF förgiftning).

1.2 Flytande drivmedel (bensin, diesel, etanol m.m.) - sammanfattning

Bakgrundsfaktorer – flytande drivmedel

- Turbo/kompressor, katalysator och partikelfilter kan vara mycket varma.
- Tanken kan vara av plast/komposit, plåt eller rostfritt material.
- Vätskemängd i tanken?
- Bränslepump i tanken kan pumpa fram/ut bränsle - avstängning?
- Övriga brännbara vätskor är motorolja, servoolja, bromsolja, vätska i luftkonditioneringssystem, glykol och spolarvätska (alkoholer).
- Magnesium/aluminiumfälgar kan brinna kraftfullt, liksom andra strukturer legerade med magnesium, vilka är allt vanligare i moderna bilar.

Identifiering av biltyp

- Diesel: ofta ett D eller d i modellbeteckningen. Etanol: eco-power, eco-boost, flexifuel förekommer. Etanolfordon kan även köras på bensin.

Räddningsinsats – brandsläckning – flytande drivmedel

- Efter genomförd riskbedömning och beslut om eventuella omedelbara livräddande åtgärder, utrym riskområdet, arbeta i skydd av fordon eller byggnad och undanröj spridningsrisker.
- Identifiera startbrandens lokalisering och hur utbredd branden är.
- Finns risk för läckage av bränsletank – är bränslepumpen i tanken avstängd?
- Överväg användning av fläkt för att styra bort giftiga gaser.
- Poolbrand under bilen kan släckas med pulversläckare. Lågande brand i motorrum släcks med fördel med kolsyresläckare.
- Använd vattendimma och mjuk påföring gärna med inblandning av släckmedeltillsats X-Fog® 1%. Ha vinden i ryggen.
- Släck ej brand i magnesium/aluminiumfälgar, eller i andra magnesiumlegeringar med kraftig vattenstråle – kan bli explosiv vätgasreaktion.
- Använd vattendimma för att tvätta ner giftiga brandgaser.
- Brandfilt kan övervägas om sådan finns tillgänglig.
- Placera eventuellt ett brandfordon som ett skydd mot eventuella explosioner från stötdämpare, pyrotekniska komponenter etc.

Räddning – sjukvård – fordon flytande drivmedel

Adekvat behandling och användning av antidoter mot behandlingsbara toxiska komponenter kan bidra till att förbättra den drabbades chans att överleva.

Ta reda på:

- Biltyp och drivsystem?
- Kan den drabbade vara exponerad för vätecyanid (HCN) eller väteflourid (HF) på grund av de brinnande komponenterna, förutom av gängse brandgaser?
- Föreligger cellhypoxi hos den drabbade? OBS blodets bedrägligt körsbärsröda färg som kan förekomma hos kolmonoxidexponerade (CO) pga. karboxyhemoglobinets (COHb) röda färg och HCN:s blockering av oxygenupptaget till kroppens celler. Alla pulsoximeterar kan inte skilja på oxygen och kolmonoxid, utan kan visa falsk höga satureringsvärden. HCN-påverkade kan ha normala satureringsvärden eftersom oxygenet ej tas upp i cellerna.
- Finns indikation på termisk skada i luftvägarna, eller finns sot i luftvägarna?
- Föreligger hudbrännskador – utbredning och djup?
- Om medvetandesänkning föreligger måste man misstänka hypoxi, CO och/eller HCN-förgiftning.

Behandling:

- Vid allvarliga symtom på rökgasinhalation eller medvetandepåverkan - ge 100% oxygen, helst under övertryck (CPAP). Vid lindriga symtom kan oxygen ges på mask eller grimma.
- Om tecken på svullnad i luftvägarna - överväg om intubation är nödvändig.
- Vid ansträngd andning ge först bronkdilaterande inhalation som kan kompletteras med sterioder i inhalation.
- Om HCN exponering kan föreligga hos gravt påverkad eller komatös patient, ge ***utan fördröjning*** Cyanokit® 5g i 200 ml NaCl som infusion under 15-30 minuter. Om ej denna antidot är tillgänglig, eller patienten inte är gravt medvetandepåverkad, ge natriumtiosulfat 150 mg/ml – 100 ml under 5-10 minuter. Vid kvarstående symtom kan förnyad infusion av Cyanokit® ges inom ½ - 2 timme dock med lägre hastighet 30-60 minuter. Försiktighet vid HLR.
- Om tryckkammare finns inom räckhåll överväg transport dit.
- Brännskador behandlas enligt gängse rutin.
- Kontakta Giftinformationscentralen genom 112, eller kontakta ambulansläkarjour vid osäkerhet.

1.3 Gasformiga drivmedel - sammanfattning

Bakgrundsfaktorer – gasformiga drivmedel

- Dessa fordon har hybridsystem så de kan också drivas av flytande bränsle.
- CNG=Compressed Natural Gas, LPG=Liquid Petrolium Gas, LNG=Liquid Natural Gas. De två senare lagras i flytande form och förgasas vid användning. Metan som är lättare än luft, utgör huvuddelen i alla dessa.
- LPG = Liquid Petroleum Gas ***(gasol)*** är tyngre än luft när den förgasas.
- Vätgas (H_2) är mycket lättare än luft och har stort explosivt område vad avser koncentration i luft (4-77%). 1 kg H_2=3 kg bensin=2,4 kg metan i värmevärde.
- Fordon med s.k. bränslecelldrift dvs. med vätgasdrift, är även e-fordon.

Identifiering av biltyp

- Gasbehållare brukar finnas i bagageutrymme eller baktill under bilen.
- Bi-fuel, CNG, eller LPG. Natural Gas Drive kan förekomma i modellbeteckningen.

Räddningsinsats – brandsläckning - gasformiga drivmedel

- Efter genomförd riskbedömning och beslut om eventuella omedelbara livräddande åtgärder, utrym riskområdet, arbeta i skydd av fordon eller byggnad.
- Identifiera var gastuberna finns - undvik att vara i riskzonen om en låga skulle slå ut från säkerhetsventilen – den kan sträcka sig ett tiotal meter.
- Skydda för eventuell explosion exempelvis med ett brandfordon.
- Undanröj spridningsrisker genom att kyla omgivningen - skydda omgivningen från eventuell låga från gastuberna som kan slå ut tiotals meter.
- Använd vattendimma för släckning – gärna med inblandning av släckmedeltillsats X fog® 1%. Kan användas upp till 30-40 m:s avstånd – längre med fläkt.
- Skydda speciellt andra gasfordon/behållare – säkerhetsavstånd minst 50 m.
- Moderna bilar kan ha både tryck och temperatursäkring på gastuberna, medan äldre oftare har endast temperatursäkring som ***ej ska kylas*** – risk för explosion om den ej öppnar.
- Gasfordon kan ofta drivas av både gas och bensin – ett bensinläckage kan också medföra risk för bensinbrand inom 100 meter om marken lutar.
- Använd explosimeter som beslutsstöd före- under- och efter insats.
- Vätgasfordon är sällsynta men torde vara farligast ur explosionssynpunkt.

Räddning – sjukvård – fordon med gasformiga drivmedel

Ta reda på:

- Var ligger gastuberna och identifiera riskområde för eventuell explosion och utblåsningsriktning om värmeventil utlöser?
- Kan den drabbade vara exponerad för vätecyanid (HCN) eller väteflourid (HF) på grund av de brinnande komponenterna, förutom av gängse brandgaser?
- Föreligger cellhypoxi hos den drabbade? OBS blodets bedrägligt körsbärsröda färg som kan förekomma hos kolmonoxidexponerade (CO) pga. karboxyhemoglobinets (COHb) röda färg och HCN:s blockering av oxygenupptaget till kroppens celler. Alla pulsoximeterar kan inte skilja på oxygen och kolmonoxid, utan kan visa falsk höga satureringsvärden. HCN-påverkade kan ha normala satureringsvärden eftersom oxygenet ej tas upp i cellerna.
- Finns indikation på termisk skada i luftvägarna, eller finns sot i luftvägarna?
- Föreligger hudbrännskador – utbredning och djup?
- Om medvetandesänkning föreligger måste man misstänka hypoxi, CO och/eller HCN-förgiftning.

Behandling:

- Vid allvarliga symtom på rökgasinhalation eller medvetandepåverkan - ge 100% oxygen, helst under övertryck (CPAP). Vid lindriga symtom kan oxygen ges på mask eller grimma.
- Om tecken på svullnad i luftvägarna - överväg om intubation är nödvändig.
- Vid ansträngd andning ge först bronkdilaterande inhalation som kan kompletteras med sterioder i inhalation.
- Om HCN exponering kan föreligga hos gravt påverkad eller komatös patient, ge ***utan fördröjning*** Cyanokit® 5g i 200 ml NaCl som infusion under 15-30 minuter. Om ej denna antidot är tillgänglig, eller patienten inte är gravt medvetandepåverkad, ge natriumtiosulfat 150 mg/ml – 100 ml under 5-10 minuter. Vid kvarstående symtom kan förnyad infusion av Cyanokit® ges inom ½ - 2 timme dock med lägre hastighet 30-60 minuter.Försiktighet vid HLR.
- Om vätgasbil – beakta eventuella gaser från drivbatteriet i e-delen, som kan medföra HF exponering (se vidare avsnitt e-fordon).
- Brännskador behandlas enligt gängse rutin.
- Om tryckkammare finns inom räckhåll överväg transport dit.
- Kontakta Giftinformationscentralen genom 112, eller kontakta ambulansläkarjour vid osäkerhet.

1.4 Eldrivna fordon (e-fordon) - sammanfattning

Bakgrundsfaktorer – e-fordon

- E-fordon av hybridtyp har även ett drivsystem som drivs av flytande bränsle.
- E-fordon med endast elektrokemisk drift blir allt vanligare (ex. Tesla).
- Batteri för framdrivning (drivbatteri) kan vara av typ Nickel Metall Hydrid (NiMH) (som i Toyota Prius från årsmodell 1997 och framåt), eller av modell Litium (Li) batteri som finns i de flesta nyare e-fordon från 2008.
- En litiumcell i ett drivbatteri kan generera energi till en brand genom den lagrade elektriska och kemiska energin. Olika oxidationsämnen i batteriet frigör oxygen, som kan bidra till s.k. termisk rusning (över 185^{o}C) och brand utan oxygentillförsel utifrån.
- Drivbatteriet kan brinna intensivt upp till en timme trots släckförsök och återantända efter flera timmar – upp till dygn efter initial släckning.
- Bland speciellt giftiga och retande komponenter i gasen som kan bildas vid batteribrand ingår vätefluorid (HF), som dessutom verkar ha en förmåga att penetrera olika personskyddssystem och hud.

Identifiering av biltyp

- Eventuellt finns e, e-drive, Hybrid, eller FC (Fuel Cell) i modellbeteckningen.

Räddningsinsats – brandsläckning – e-fordon

- Efter genomförd riskbedömning och beslut om eventuella omedelbara livräddande åtgärder, utrym riskområdet, arbeta i skydd av fordon eller byggnad.
- Fläkta bort rök för att skydda utsatta personer och personal.
- Använd flyktmask eller andningsmask, typ ”Revitox” på utsatta individer.
- Tunga gråaktiga gaser från e-fordons drivbatteri kan vara lättantändliga.
- När en litiumcell spricker eller öppnar sig kan giftig svart rök stötats ut.
- Använd vattendimma för släckning av öppen låga och nertvättning av giftiga och brännbara gaser - gärna med inblandning av släckmedeltillsats X-Fog® 1% - undvik exponering av rök.
- Kyl eventuell batterirusning och förhindra återantändning i batteriet genom vattenbegjutning – om öppning till batterilådan finns, kan vatten sprutas in där.
- Kontrollera den termiska aktiviteten med värmekamera - cellerna kan hålla temperaturer kring 500^{o}C flera timmar/dygn efter termisk rusning – risk för återantändning.
- Använd släckvattnet på effektivt sätt, men begär förstärkning av släckresurser om dessa är begränsade initialt. E-fordon kan kräva stora volymer.

Räddning – sjukvård – e-fordon

Ta reda på:

- Föreligger cellhypoxi hos den drabbade? OBS blodets bedrägligt körsbärsröda färg som kan förekomma hos kolmonoxidexponerade (CO) pga. karboxyhemoglobinets (COHb) röda färg och HCN:s blockering av oxygenupptaget till kroppens celler. Alla pulsoximeterar kan inte skilja på oxygen och kolmonoxid, utan kan visa falsk höga satureringsvärden. HCN-påverkade kan ha normala satureringsvärden eftersom oxygenet ej tas upp i cellerna.
- Finns risk för termisk skada eller finns sot i luftvägarna (=HCN exponering)?
- Kan den drabbade vara exponerad för HCN eller väteflourid (HF) på grund av de brinnande komponenterna, förutom av gängse brandgaser (CO etc.). HCN är lättare än luft medan HF kan vara både och, beroende på temperatur. CO och HF verkar synergistiskt.

Behandling:

- Vid allvarliga symtom på rökgasinhalation eller medvetandepåverkan - ge 100% oxygen, helst under övertryck (CPAP). Vid lindriga symtom kan oxygen ges på mask eller grimma.
- Om tecken på svullnad i luftvägarna - överväg om intubation är nödvändig.
- Vid ansträngd andning ge först bronkdilaterande inhalation som kan kompletteras med steroider i inhalation.
- Om HCN exponering kan föreligga hos gravt påverkad eller komatös patient, ge ***utan fördröjning*** Cyanokit® 5g i 200 ml NaCl som infusion under 15-30 minuter. Om ej denna antidot är tillgänglig, eller patienten inte är gravt medvetandepåverkad, ge natriumtiosulfat 150 mg/ml – 100 ml under 5-10 minuter. Vid kvarstående symtom kan förnyad infusion av Cyanokit® ges inom ½ - 2 timme dock med lägre hastighet 30-60 minuter. Försiktighet vid HLR.
- Vid starkt misstänkt exponering för HF och symtom på hypokalcemi som exempelvis hjärtarrytmier (VES…), muskelkramper, etc. ska behandling ges redan på skadeplatsen med kalciumtabletter per os - 6 g varannan timme hos vaken person – om medvetslös kontakta Giftinformationscentralen.
- Brännskador behandlas enligt gängse rutin.
- Om tryckkammare finns inom räckhåll överväg transport dit.
- Kontakta Giftinformationscentralen genom 112, eller kontakta ambulansläkarjour vid osäkerhet.

1.5 Att beakta efter insats - sammanfattning

Fordon med flytande drivmedel

- Bryt spänningen i 12 voltsystemet om det ej gjorts tidigare.
- Töm bränsletankar om läckage föreligger (utförs av bärgare).
- Välj uppställningsplats utan spridningsrisk för eventuell brand.

Gasfordon

- Koppla ner gassystemet och gör fordonet strömlöst.
- En explosimeter kan bidra vid kontroll om huruvida gassystemet läcker.
- Välj en säker uppställningsplats utomhus.

E-fordon

- Koppla bort 12 V batteriet om det ej gjorts tidigare.
- Kontrollera temperaturutveckling i drivbatteriet med hjälp av värmekamera.
- Även om till synes öppna lågor släckts vid en batteribrand så kan celler åter antända batteriet om så kallad termisk rusning startar. Det är då viktigt att kyla batteriet med vatten för att bromsa den s.k. dominoeffekten, där en övertempererad cell startar upp en termisk rusning i en närliggande cell.
- Finns öppning in till cellerna i batteriet så kan man bekämpa fortsatt termisk aktivitet med vatten via den öppningen.
- Bli inte förvånad om termisk aktivitet pågår under lång tid (ett dygn) efter släckning, Försök som utförts under kontrollerade former har visat på temperaturer på nästan 500 grader C under ett flertal timmar Därför är det viktigt att kyla och ha uppsikt på att temperaturen sjunker innan t.ex. bärgning av ett fordon kan utföras.
- I de fall ett batteri av denna typ är separerat ifrån fordonet kan med fördel hela batteriet sänkas ner i behållare med 1,5 – 3 %:ig saltlösning som motsvarar havsvatten. Vatten med saltlösning fungerar då dels kylande plus att lösningens konduktiva förmåga bidrar till att ladda ur batteripaketet på relativt kort tid. Viktigt dock att vatten verkligen får chans att tränga in så batteriets hölje bör vara av sådan art att detta kan ske.
- Töm drivbatteriet på ström om möjligt.
- Beakta risken att skyddskläder kan avge giftiga gaser efter insats – ta av.
- Välj transportväg så att spridning av eventuella gaser ut i befolkat område undviks.
- Välj säker uppställningsplats utomhus med tillräckligt säkerhetsavstånd avseende eventuell återantändning.

Faktadel

2 Bakgrund

Bilbränder utgöra idag nationellt ett allt större problem och under 2016 har enligt mediauppgifter ett drygt 1000-tals sådana bränder inträffat. En stor majoritet av dessa är anlagda och de har hittills ofta inträffat utomhus, vilket givetvis gett begränsade problem vad avser hantering av brand- och rökgaser, men som ändå har haft potential att skada omgivningen. Bränder i slutna utrymmen som bilfärjor eller parkeringsgarage kan komma att utgöra en potentiell fara för stor skadehändelse, när allmänhet och räddningstjänstpersonal exponeras för dessa, i vissa fall, nya risker.

Ett annat scenario värt att beakta är fordon som börjar brinna i samband med kollision, eller under färd med åkande i bilen (National Fire Protection Association 2016). En studie avseende dödliga händelser i samband med krasch har publicerats från Umeå universitet: *Car crash fatalities associated with fire in Sweden (Viklund Å et al 2013).* Omkring 1/5 av alla omkomna personbilister hade omkommit i en bil som brunnit och i 1/3 av fallen hade de inga andra dödliga skador, utan branden har orsakat dödsfallet. Hälften av dessa bränder synes starta i motorrummet, en fjärdedel kring bakände och tank, medan övriga bränder har annan orsak såsom brand i elektriska strukturer, eller från markvegetation som antänds av exempelvis het katalysator.

Figur 1. Av omkomna bilister i Sverige har upp mot 20 procent omkommit i bil som tagit eld vid krasch. Ibland har andra trafikanter initialt försökt släcka – i dessa fall med begränsad framgång (Viklund et al 2013). (Foto ambulansläkare Silvana Nishimura).

Drabbade och insatspersonal kommer att möta och exponeras för nya risker i framtiden beroende på nya konstruktioner, material och drivsystem i den framtida fordonsflottan. En enkät till 100 räddningstjänster i Sverige med 49-procentig svarsfrekvens visade att man saknar kunskaper om hanteringen av brand i fordon med nya drivsystem och energibärare, som exempelvis el- och gasfordon (Söderholm 2011). Många nya material och konstruktioner av betydelse i ett brandförlopp är också på väg ut i fordonsflottan. Vidare finns idag en debatt avseende olika släckmedels påverkan på miljön som bör integreras i de taktiska besluten.

Vanliga flytande drivmedel såsom ***bensin, diesel*** och ***etanol*** har i stort sätt kända risker, men eftersom ***nya konstruktionsmaterial*** introducerats inom bilindustrin med olika plaster, hartser, lim, magnesiumlegeringar etc. finns en ökad potential hos dessa fordon att också producera mycket giftiga gaser och intensifiera ett brandförlopp. Ett EU-beslut som gäller från och med 2017 medför att luftkonditioneringssystemen i många framtida bilar kommer att arbeta med vätskan R1234yf, vilken vid test hos bl.a. FOI visat sig kunna producera aggressiva gaser vid brand (Magnusson et al 2016, Kraftfahrt-Bundesamt 2013). Vissa fabrikanter kan möjligen välja koldioxid som är harmlöst ur denna synpunkt, men som är en aning dyrare. Magnesium och dess aluminiumlegeringar kan också vara benägna att brinna på liknade sätt som i flygplan.

Gasdrivna fordon karaktäriseras snarast av explosionsrisken och av risken som utströmmade brinnande gas kan ge för omgivningen Det har visat sig ske när exempelvis de värmekänsliga säkerhetsventilerna utlöser (vid ca 110^{o} C) och en låga uppstår, vilken kan sträcka sig ett tiotal meter och skada personer och omgivning. Denna problematik har belysts av exempelvis Lindkvist (2016) och av Statens haverikommission (2012).

E-fordon med allt större drivbatterier (traktionsbatteri) sprids snabbt på marknaden och de flesta stora biltillverkarna har idag modeller ute i trafik med någon form av e-drift. I ett FFI-projekt ”Räddningskedjan” genomfördes tester med litiumbatterier i termisk rusning och brand, varvid vissa erfarenheter gjordes som är värdefulla att återföra till räddningspersonal. Eftersom antalet e-fordon är under snabb utveckling så förväntas nya risker dyka upp. E-fordon karaktäriseras av hög spänning (200-600 volt), elektrisk energi som tillför en brand ytterligare energi, samt batteriinnehåll som ger oxidationsmedel till en brand (så att den ej behöver oxygen från luften). Gasgenererande ämnen i batteriet kan tillföra mycket giftiga komponenter i brandgaserna (Thors et al 2016).

Möjligen ger ovanstående problemuppräkning ett något pessimistiskt intryck avseende framtiden. Dock finns en positiv aspekt i form av att förbättrad kunskap och taktik vid insats vad gäller släckning och prehospital behandling, kan ha betydande potential till förbättrad överlevnad och säkerhet både för insatspersonal och andra drabbade. Användning av moderna optimerade behandlingsmetoder kan förbättra behandlingsresultaten exempelvis genom användning av sk. antidoter (motmedel mot de allra giftigaste komponenterna). Det något passiva förhållningssätt som vissa nöjer sig med att förespråka ”att rökgaser inte är bra att inandas, så undvik det”, skall inte få motivera att man inte flyttar fram positionerna vad avser kunskap och behandling av dem som ändå exponeras genom användning av bästa kända kunskap.

De dokument från MSB och FFI-Vinnova och andra som berört området och initialt bidragit med faktaunderlag är:

- *Räddning vid trafikolycka – personbil* (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. Wargclou, 2010).
- Taktikboken trafikolycka: en handbok i hur man på ett säkert och effektivt sätt genomför losstagning vid vägtrafikolycka med personbilar och tunga fordon (Valentin 2011).
- *Räddningsinsatser med gasdrivna personbilar* (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, kontaktperson Egardt, 2016b).
- *Gasdrivna fordon – händelser och standarder. En nationell och internationell utblick* (Lindkvist 2016).
- E-fordons potentiella riskfaktorer vid trafikskadehändelse. En rapport baserad på e-fordons teknik, säkerhetsfunktioner och modern batterikemi. Rapport från FFI-projektet Räddningskedjan (Sturk et al. 2014).

3 Syfte

Avsikten är att beskriva nuvarande kunskapsläge vad avser faktorer och risker vid brand i moderna bilar som kan ha betydelse för räddningsinsatsens genomförande. Därvid görs försök att även blicka in i framtiden vad avser kommande material, konstruktioner och drivsystem. Fokus är på de speciella faktorer som är förknippade med nya moderna drivsystem och konstruktioner, medan basala rutiner för räddningsinsats vid bilbrand och bilkrasch förutsätts vara kända som exempelvis hantering av krasch på väg (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap 2017). Avsikten med föreliggande dokument är att det ska kunna användas som kunskaps- och utbildningsunderlag för räddningspersonal från räddningstjänst, prehospital sjukvård och polis, samt som planeringsunderlag för insatser vid bilbränder i olika slutna miljöer och situationer - även i storskaliga sådana på exempelvis bilfärjor och i parkeringshus.

Rapporten är uppdelad i två sektioner:

- En ***sammanfattande ”Kom ihåg” sektion (1.1-1.5)***, som ska kunna användas vid insats, utgående från de olika drivsystemens egenskaper. Denna sektion belyser viktiga faktorer att beakta ***före, under*** och ***efter*** insats vad avser fordon som drivs av (i) flytande drivmedel, (ii) gasformiga drivmedel, (iii) och elektriska drivbatterier.
- Ett ***kunskapsavsnitt*** beskrivande (i) fordonens olika tekniska energisystem och karaktäristika, (ii) räddningstjänstens insats – taktik, metod och teknik, och (iii) den prehospital sjukvårdens insats.

4 Fordonets energisystem och komponenter av intresse vid brand

De olika energiformerna för framdrivning av vägfordon kan indelas i tre olika huvudgrupper, flytande bränsle (4.1), gasformigt bränsle (gasbilar) (4.2), samt elektrokemisk energi (e-fordon) (4.3). Vid brand kommer dessa drivsystem att uppvisa olika brandegenskaper (Lecocq et al 2012). Därutöver finns ett antal vätskor och komponenter vars egenskaper vid brand kan vara av intresse (4.4). Dessa huvudgrupper redovisas nedan.

4.1 Flytande drivmedels egenskaper

4.1.1 Bensin

Lagstiftning för svensk bensinkvalitet utgår från det i svensk lagstiftning implementerade Europeiska Bränslekvalitetsdirektivet (98/70/EG). All BLYFRI 95 innehåller idag upp till 5 % volym (%v) etanol (E5) liksom även i BLYFRI 98. Etanol har mycket bra förbränningsegenskaper och passar därför utmärkt som förnybar komponent i bensin utan att anpassning av motorer behöver göras. Att köra på bensin med inblandad etanol är ingen skillnad mot motsvarande bensin utan etanolinnehåll. Etanol ger bensin ett inbyggt frysskydd vilket gör att K-sprit inte behöver tillsättas bensin.

4.1.2 Alkylatbensin

Alkylatbensin är en extra ren form av bensin som gör störst hälso- och miljömässig nytta i äldre 2-taktsmotorer och i handhållna småmaskiner, där användare direkt utsätts för avgaserna. Alkylatbensin innehåller i stort sett inga av de skadligaste kolvätena, bensen, andra aromater, eller olefiner.

4.1.3 Diesel

Dieselbränsle finns i förutom miljöklass 1 (mk1) också i några andra kvaliteter; miljöklass 2 och 3. Miljöklass 3 är lika med den s.k. europadieseln enligt EN 590. Miljöklass 2 förekommer inte i Sverige. Dieselbränsle av miljöklass 3 är lika med den s.k. europadieseln och uppfyller kraven enligt europeisk standard, EN 590. Skillnaden mellan de olika klasserna består främst i olika halt av aromater - totalt såväl som av polycykliska (PAH) aromater, samt i slutkokpunkt. Diesel mk2 och 3 är även de svavelfria och kan innehålla samma inblandning av FAME (se nedan) som diesel mk1.

En viktig egenskap hos dieselbränsle ges främst av dess cetantal, som är ett mått på tändvilligheten.

4.1.4 FAME

FAME står för Fettsyrametylester, (Fatty Acid Methyl Esters) och är en förnybar drivmedelskomponent som kan blandas i diesel, eller ersätta diesel, i dieselmotorer. FAME kan framställas ur olika oljeväxter. Den vanligaste är RME, Raps seed Methyl Ester, eller rapsmetylester, vilken framställs ur rapsolja som förestras med metanol till RME. Det är sedan 2011 tillåtet att blanda i upp till 7 %v FAME i dieselbränsle oavsett miljöklass. Den FAME som används måste uppfylla kvalitetskraven i SS-EN 14 214. FAME är en förnybar komponent i dieselbränsle i Sverige, liksom i övriga Europa.

4.1.5 HVO- Hydrogenated Vegetable Oil

HVO står för Hydrogenated Vegetable Oil och är en förnybar drivmedelskomponent som kan blandas i eller ersätta diesel till dieselmotorer. HVO betyder vätebehandlad vegetabilisk olja med vilket menas att en vegetabilisk olja eller animaliska fetter som har processats vidare med vätgas, under inverkan av en katalysator i kvalitetshöjande

syfte, för att bli ett drivmedel för dieselmotorer. HVO kan blandas i diesel, eller användas istället för dieselbränsle i dieselmotorer

4.1.6 Etanol E85

Etanol E85 är avsedd för bränsleflexibla bilar med explosionsmotorer (ottomotorer), s.k. Flexifuel-fordon. Dessa bilars motorer är anpassade för att kunna köra på bensin, Etanol E85, eller vilken blandning som helst mellan dessa två bränslen. Etanol E85 är inte avsedd att tankas i vanliga bensinbilar som inte är godkända för detta drivmedel.

4.2 Fordonsgasers egenskaper

Gasfordon har oftast en form av hybriddrift där gas och flytande bränsle utgör energin. Gastankarna kan vara placerade i bagageutrymmet, eller under golvet vilket kan ha betydelse för taktiken vid insats mot brand i dessa fordon. Deras principiella uppbyggnad visas i Figur 1.

Figur 2. Två exempel på gastankarnas placering.

4.2.1 Naturgas, CNG och LNG (Compressed/Liquified Natural Gas)

Naturgas är en färglös, lukt- och giftfri gas med högt energiinnehåll. Den finns i fickor och porösa bergarter i jordskorpan. Naturgasen har olika sammansättning beroende på vilken fyndighet den härrör ifrån men består till största delen av metan, det minsta kolvätet. Den innehåller betydande mängder båda lätta och tyngre kolväten och dessa delas upp i en rå naturgas och ett så kallat oljekondensat (exporteras och används som mycket lätt råolja). Rå naturgas, efter avskiljning av oljekondensat, består till största delen av metan, men också av andra lätta kolväten som etan, propan, butan, osv.

4.2.2 Biogas

Den biogas som vi använder idag för olika ändamål finns i två kategorier. Dels deponigas som bildas i det inre av sopberg och rötgas som bildas vid sluten rötning av avfall eller annat organiskt material i en röttank. Biogas produceras bland annat vid rötning av avloppsslam från reningsverk. Beroende på utgångsmaterial samt hur rötningsprocessen drivs kan biogasen ha olika sammansättning. Det som ger gasen dess energivärde är metan. Halten av metan kan variera mellan 40 – 80% av volymen. Övriga komponenter i biogasen är koldioxid, kvävgas och mindre mängder av olika föroreningar. Biogasen är oftast mättad med vattenånga.

4.2.3 Motorgas, LPG (Liquified Petroleum Gas)

Motorgas kallas också gasol, eller LPG. I Europa är motorgas ett ganska vanligt alternativt bränsle. Motorgas kräver anpassade fordon. Vid rumstemperatur och atmosfärstryck befinner sig gasol i gasfas, men redan vid ett lätt övertryck övergår gasen i vätskefas. I vätskeform är motorgas tung, medan den blir lättare än luft när den övergår i gasform.

4.2.4 Vätgas

Vätgas kan framställas på flera olika sätt, bl.a. från naturgas eller genom hydrolys av vatten. Det åtgår energi (gas, el etc.) för att producera och komprimera vätgas. Vätgas pekas allt oftare ut som en lösning på framtidens miljövänliga energiförsörjning eftersom förbränningsprodukten blir rent vatten. Vätgasen kan användas som energibärare för att producera el i bränsleceller. Emellertid är tekniken fortfarande på utprovningsstadiet vad avser användning i bil som endast finns i enstaka exemplar i landet och vissa tvivlar på att den kommer att få någon större spridning.

Väte är det lättaste grundämnet som vi har. Ett kilo vätgas innehåller 3 gånger mer energi än 1 kg bensin och 2,4 gånger mer än ett kg metangas. Tändenergin för vätgas är 10 gånger lägre än för bensin (se Bilaga 2). Vätgas är dock svårt att lagra i en behållare. Gasen har en tendens diffundera genom vilket material som helst. Tankar man ett fordon fullt med flytande väte på fredag och parkerar fordonet över helgen, så kan i värsta fall bara halva mängden kvar på måndag morgon. Det krävs mycket energi för att framställa vätgas. Det föreligger även tekniska hinder eftersom det vatten som produceras kan bidra till att själva bränslecellen fryser sönder om vi parkerar fordonet i stark kyla. Ett ytterligare problem som måste lösas är att bygga upp infrastrukturen i form av tankställen och det är svårt och riskabelt att hantera vid transport. Av alla dessa skäl torde det dröja innan detta drivmedel blir frekvent förekommande i den svenska bilflottan.

4.2.5 Dimetyleter (DME)

Dimetyleter (DME) är ett nytt bränsle som normalt är i gasform men blir flytande om det trycksätts. DME är ett mycket rent bränsle som man hoppas kunna framställa via förgasning av skogsråvara. DME anses av många vara ett framtidsbränsle. För att kunna köra på DME krävs att dieselmotorerna modifieras och det användes idag framförallt i tyngre fordon som exempelvis i kommunala bussar.

4.3 Elektrisk drivning (e-fordon) – egenskaper

4.3.1 Tekniska egenskaper hos e-fordon

Elfordon har sannolikt en framtid, eftersom dess teknik har blivit ekonomiskt försvarbar och det arbetas hårt för att få fram ännu mera kostnadseffektiva drivsystem/ batterier till dessa fordon. E-fordon har redan sin infrastruktur färdig i stora drag. Dessa fordons drivsystem har idag ett globalt regelverk som sannolikt överträffar säkerheten hos fordon med både gasformiga och vätskeformiga drivmedel. E-fordon har huvudkontaktorer (brytare) som kopplar ifrån drivbatteriet vid en krasch, exempelvis när krockkuddarna utlöses.

Figur 3. Principiell uppbyggnad av ett e-hybrid fordon med drivbatteri, elmotor- och bensin-motordrift. Högspänningskablar har orange färg.

4.3.2 Tekniska batteriegenskaper

Elektriska drivbatterier med laddningsbara celler, eller drivbatterier, som det kallas i dagligt tal, kan indelas i två huvudtyper - de med vattenbaserad elektrolyt och de med organisk elektrolyt.

De celler som använder vattenbaserad elektrolyt är t.ex. Nickel Metall Hydrid celler (NiMH) och kanske den mest kända Bly/Syra cellen.

Den senaste och modernaste celltypen som har ett överlägset energiinnehåll är dock baserad på en brännbar organisk elektrolyt och kallas idag vanligen för litiumbatteri.

En litiumcell är uppbyggd på följande sätt:

Anod eller minus elektroder av koppar som är bestrukna med amorft kol, grafit, grafen eller en mix av dessa.

En katod av aluminium som är belagd med oxidmaterial, vanligen en blandning av:
- nickel/mangan/koboltoxid (NMC)
- nickel/ kobolt/aluminiumoxid (NCA)
- järnfosfatoxid (FePO4)
- titanoxid (TiO)

Där emellan avgränsas elektroderna av en separator besående av en polymer.

Cellen fylls sedan med en organisk elektrolyt av t.ex. alkydkarbonat där en litiumoxid i form av ett salt lösts upp i elektrolyten.

En litiumcell innehåller därmed både ett kemiskt brännbart energilager som ett elektrokemiskt energilager, plus en mängd olika oxidationsämnen där syre kan frigöras om cellen upphettas. Ett sådant fall kan vara det som kallas termisk rusning och det kan normalt utlösas på två sätt, mekanisk penetration, eller temperaturer över 185-190 grader Celsius. Det som då händer är att den elektrokemiska energin agerar ”tändsticka” och tänder elektrolyten och på samma gång frigörs syret ifrån oxidationsämnena. Dessutom hjälper amorft kol, grafit, grafen eller en mix av dessa till med den fortsatta processen att driva den termiska rusningen (se nedan).

4.3.3 Termisk rusning i ett litiumbatteri

Figur 4. Krister Palmkvist provar skärsläckning av ett e-fordonsbatteri som har startat en s.k. termisk rusning genom yttre påverkan – metoden är ej att rekommendera eftersom penetreringen innebär att termiska rusningen i batteriet ökar och därmed ökar också gasningen (jfr. Försth M et al.2012). Släckinsatsen finns att se på www. https://youtu.be/x1LOuKuwGCg. Filmen visar i första delen hur penetration av batteriet med skärsläckare skadar batteriet så att elden accelererar på grund av tillskottet av elektrisk energi – batteriet kan brinna lång tid – upp till en timme. Andra sekvensen visar prov med skärsläckare på två separata batterimoduler, den vänstra sekvensen visar på cellnivå hur penetration sätter igång en brand och den högra modulen försöker man släcka med skärsläckaren med mycket liten framgång. Skärsläckare är således inte ett rekommendabelt alternativ i dessa fall.

Storskaligt producerande fordonstillverkare följer ett antal standarder och regelverk vilket innebär att dess batterisystem är väl provade och att batteriets övervakningssystem hanterar alla de parametrar som krävs för god säkerhet (jfr. Hasvold et al 2007). Dock kan ett batteri hamna i termisk rusning då litiumceller påverkas av brand, temperatur över 180 grader C, eller mekanisk deformation eller annan åverkan. Termisk rusning kan också självstarta om det förekommer fel i cellen som medför inre kortslutning.

Termisk rusning är svår att starta om cellen har liten laddning, eller låg SOC nivå (SOC=State Of Charge). I tester som genomförts krävdes att cellen har en start temperatur kring 15 till 20 grader C och att SOC nivån är över 50%. Dock kan termisk rusning startas vid lägre SOC nivåer men det är betydligt svårare.

Sker en skadehändelse eller bilbrand där det kan finnas risk för antändning av batteripack i fordonet är det värdefullt att känna till följande:

Litiumceller avger lätta och tunga ljusgråa gaser, samt mörka, nästa svarta, gaser med stor andel av amorft kol och grafit.

De tunga gaserna är relativt lättantändliga och det syns hur de ”kryper” utmed underlaget. De lätta gaserna ser mera tyngdlösa ut och följer vindriktningen.

Återantändning av drivbatteri baserat på litium celler kan ske även om till synes öppna lågor släckts vid en batteribrand. Celler kan återantända batteriet om så kallad termisk rusning startat. Det är då viktigt att kyla batteriet med vatten för att bromsa den s.k. domino effekten där en övertempererad cell startar upp en termisk rusning i en närliggande cell. Värmekamera är ett rekommendabelt verktyg för att registrera avtagande termisk aktivitet i drivbatteriet. Finns öppning in till cellerna i batteriet så är det med fördel att bekämpa termisk aktivitet med släckvatten via den öppningen.

Bli inte förvånad om termisk aktivitet pågår under lång tid efter släckning, försök som utförts under kontrollerade former har visat på temperaturer strax under 500 grader Celsius under ett flertal timmar, därför är det viktigt att kyla och ha uppsikt på att temperaturen sjunker innan t.ex. bärgning av ett fordon kan utföras. I de fall ett batteri av denna typ är separerat ifrån fordonet kan med fördel hela batteriet sänkas ner i behållare med saltlösning 1,5 till 3 % koncentration dvs. som i havsvatten. Vatten med saltlösning fungerar då dels som kylande och genom lösningens konduktiva förmåga ladda ur batteripaketet inom kort. Viktigt dock att vatten verkligen får chans att tränga in så batteriets hölje bör vara av sådan art att detta kan ske.

Vid en batteribrand kan det förekomma starkt frätande gaser som t.ex. väteflourid (HF). Det är därför viktigt att alltid anlägga en vattendimma som skrubbar rök och brandgaser. Detta eftersom de gaser som uppstår gärna förenar sig med vattenmolekylen. Glöm inte att vattendimma även skrubbar andra rökgaser. Dock bör släckvatten omhändertas så att det inte läcker ut i naturen och ner till grundvatten.

Bild 1 Bild 2 Bild 3

Bild 4 Bild 5 Bild 6

Figur 5. (Bild 1-6). Bild 2 visar starten av termisk rusning där tunga gaser, i huvudsak frigjord organisk elektrolyt, avges ifrån modulen. Bild 3 visar hur en blandning av elektrolyt och amorft kol kastas ut ifrån modulen. Bild 4 visar kraftfull gasning av en komplex mixtur av olika kemiska föreningar där CO, CO2 samt olika fluorväte föreningar (HF) förekommer. Bild 5 och 6 visar hur kraftfullt gaserna brinner vid antändning av gaserna, som kan ge en jetstråle som når över 2 meters längd.

4.3.4 Framtida elektriska drivbatterier

I skrivande stund pågår forskning på bred front för att hitta framtidens elektriska drivbatterier som har större energitäthet än dagens batterier. Idag har litiumceller ett energiinnehåll som motsvarar en femtiondel (1/50) av energiinnehållet av fossilt bränsle per kilogram. Men, det pågår forskning där energiinnehållet i framtidens celler är en tiondel av motsvarande fossilt bränsle per kilogram.

Huvudsakliga utvecklingslinjer som forskare provar är t.ex. natriumjon och magnesiumjon, istället för litiumjon batterier. Dock ser det ut som om det fortfarande kommer att förekomma organiska elektrolyter i samma blandningar som i dagens litiumjonceller.

4.4 Övriga brännbara ämnen och komponenter av intresse vid brand

De vanligt förekommande kemiska vätskorna i en bil bidrar även de vid en fordonsbrand, dvs. spolarvätska, glykol, broms- och luftkonditioneringsvätska, hydraul- och motorolja. Dessa vätskor tillför branden energi, speciellt vid höga temperaturer i brandförloppet. När det gäller giftighet så kan alla brandgaser och rök som kommer ut från fordonet betraktas ha en hög grad av giftighet

4.4.1 Kylmedium:

Förekomst av kylmedium R134a och i nyare fordon R1234yf har rönt viss uppmärksamhet. Det senare ett krav från 2017. Farhågor om produktion av giftiga gaser vid brand (antändningstemperatur för R1234yf är 410^{o}C) har framförts av Daimler och tyska myndigheter (Kraftfahrt Bundesamt (2013). Eftersom ett helt ofarligt alternativ, dock aningen dyrare finns i form av CO2, kan det synas egendomligt att man beslutat godkänna/anbefalla R1234yf från och med 2017 i EU. Brandtester har gjorts 2016 hos FOI Umeå som visar förekomst av vätefluorid (HF) och karbonyldifluorid (en fosgenliknande mycket giftig komponent), vilken dock relativt omgående sönderdelas till HF i brandgaserna. (Magnusson et al 2016).

4.4.2 Inredningsdetaljer

Därtill utvecklar inredningsdetaljer av olika plaster (ABS och PVC) och polyuretan i säten, limning etc. toxisk gas vid förbränning. Många förbränningsgaser från plaster, PVC, polyuretan och liknande klassar vi som mycket giftiga (U.S. Department of Transportation 1991).

4.4.3 Grundmålning och rostskydd:

Rostskyddet på moderna fordon har fått betydande förbättring i jämförelse med fordon från 80-talet och äldre. Rostskyddet byggs upp med något som kallas ”ED doppning”, ett bad där hela karossen doppas och där denna grundfärg tränger in i olika hålrum och spalter. Därpå följer mellanskikt för att till slut få ett toppskikt och en klarlack. Ett av mellanskikten är baserat på polyuretan för att ge fyllnadseffekt. Dock kan polyuretan utveckla vätecyanid när det värms upp till temperaturer kring 150 grader Celsius och högre. Det visar sig att just polyuretan bl.a. även finns i lim för att t.ex. limma vindruta mot kaross och i möbelstoppning (t.ex. i sittdyna och ryggdyna).

4.4.4 Kompositer som t.ex. kolfiber

Kolfiber kan förväntas producera s.k. nanopartiklar som kan vara olämpliga att inandas. Någon övertygande forskning som konfirmerar eventuella hälsorisker har varit

svår att finna, varför försiktighetsprincipen tills vidare bör råda. Man kan med fördel använda fläkt för att styra bort brand- och rökgaserna.

Figur 6. Modernt e-fordon, byggt i komposit, som tagit eld under färd. Lägg märke till rökutvecklingen – hela karossen brinner med lågande brand. Tittar man noga så har framdäcken ännu inte antänts vilket tyder på att branden startat i bakre delarna och med bidrag av vinden rört sig framåt. Röken kan innehålla nanopartiklar från det brinnande kompositmaterialet.

4.4.5 Pyrotekniska komponenter

Pyrotekniska komponenter (gasgeneratorer) som finns i bilar är t.ex. krockkuddar, krockgardiner, ”pop up” av motorhuv (för fotgängarskydd) och bältessträckare. Dessa kan uppfattas generera en så snabb händelse att betraktaren kan uppfatta händelsen som explosiv. Kravet på dessa gasgeneratorer är dock högt ställda när de utsätts för en öppen låga s.k. ”bon fire”. Vid denna exponering ställs kravet att de ska släppa ut den expansiva gasen kontrollerat och således endast medföra begränsad risk. Äldre fordon kan dock ha mer aggressiva komponenter

4.4.6 Oljefyllda stötdämpare och gasdämpare

Oljefyllda stötdämpare och gasdämpare, som används till huvar och luckor, kan likt en sprayburk som kastas in i en eld brisera. Dessa komponenter kan orsaka skada genom splitter eller att de som hela komponenter slungas iväg mot person eller egendom. Det finns exempel på gasdämpare som flugit upp till 50 meter. Gasdämpare aktiveras tidigt i det termiska förloppet. Stötdämpare, som är helt slutna, utgöra en större risk vid ett brandförlopp. Stötdämpare, som har externt kopplade slangar för s.k. nivå reglering, har dock en mindre risk att sprängas, då slangarna oftast smälter och därigenom sjunker trycket till i själva dämparen.

4.4.7 Metallbrand

Fordonstillverkare försöker hela tiden att reducera vikt, eftersom vikt kopplas direkt till bränsleförbrukning. Moderna bilar innehåller allt oftare magnesium i olika legeringar för att erhålla god styrka med låg vikt. Dagens fordon kan ha strukturer av magnesium/aluminiumlegeringar för att spara vikt. Fälgar innehållande magnesium är relativt vanliga på dagens fordonsflotta. Ett bildäck som brinner ger tillräcklig energi för att starta intensiv brand i fälgar med magnesiuminnehåll. En sådan magnesiumbrand kan ses på: https://www.youtube.com/watch?v=D1hhgTbtsCs

Att släcka dessa metaller som brinner intensivt med upp mot 1500 graders temperatur med vattenstråle kan vara direkt olämpligt, eftersom smält metall kan slungas iväg när vatten används på detta sätt. Vätgas kan bildas på grund av att den höga temperaturen sönderdelar vattnet i vätgas och oxygen. Möjligen har det vid brand i e-fordon blivit felaktigt bedömt att det skulle vara batteriet som skapat knall - och ljuseffekter

4.5 Brandgaser

Vätecyanid (HCN), kan utvecklas vid demontering av en vindruta med hjälp av skärtråd om denna tråd dras för fort eller ”sågas” genom limmet/polyuretanet. Då uppstår friktionsvärme och därmed genereras HCN vid temperatur över 150^{o}C, varför man ska använda andningsskydd vid sådant arbete. Samma lim används i moderna bilar för limning av plåt i avsikt att ge lätt och hållfast konstruktion.

Det har utförts brandprov genom att helt enkelt starta brand i ett modern fordon vilket visar sig producerar ca: 1,55 g HCN per kg förbränd polyuretan, se Tabell 2/Bilaga 2. HCN uppkommer vid uppvärmning/förbränning av polyuretan som förekommer i lim som fäster bilrutor, stolarnas stoppning och karossplåtens lim och mellanskiktslack.

HCN är en färglös gas eller vätska med en kokpunkt 25,7 °C och med lukt av bittermandel. Alla har inte förmågan att känna bittermandellukten och den känns normalt inte heller i brandrök. Se vidare i avsnitt 6.3.3.

4.6 Sammanfattning

Bensin/diesel/alkoholdrivna fordon

- Turbo, kompressor, katalysator och partikelfilter kan vara mycket varma.
- Motor driven av bensin eller E85 är normalt varmare än en dieselmotor.
- Tanken kan vara av plast/komposit, plåt eller rostfritt material.
- Vätskemängden i tanken är av betydelse för brandförloppet?
- Bränslepump i tanken kan framförallt i äldre bilar fortsätta att pumpa fram/ut bränsle - avstängning?
- Övriga brännbara vätskor är motorolja, servoolja, bromsolja, vätska i luftkonditioneringssystem, glykol och spolarvätska (alkoholer).
- Magnesium/aluminiumfälgar kan brinna kraftfullt, liksom andra strukturer legerade med magnesium, vilka blir allt vanligare i moderna bilar.

Gasdrivna fordon

- Dessa har hybridsystem så att de drivs också av flytande bränsle.
- CNG=Compressed Natural Gas, LPG=Liquid Pressurized Gas, LNG=Liquid Natural Gas. De två senare förvaras i flytande form och förgasas vid användning. Metan utgör huvuddelen i alla dessa.
- CNG är en gas som är lättare än luft liksom LNG när den förgasas.
- LPG = Liquid Petroleum Gas (gasol) är tyngre än luft när den förgasas.
- Vätgas (H_2) är mycket lättare än luft och har stort explosivt område vad avser koncentration i luft (4-77%). 1 kg vätgas = 3 kg bensin = 2,4 kg metan i värmevärde, vätgas tänder tio gånger lättare än bensin.
- Gastankarnas placering och skick – läckage?
- Fordon med s.k. bränslecelldrift dvs. med vätgasdrift, är även ett e-fordon, där vätgas omvandlas till el och passerar ett litiumbatteri som mellanlager.

E-fordon

- E-fordon av hybridtyp har även ett drivsystem som drivs av flytande bränsle.
- E-fordon med endast elektrokemisk drift blir allt vanligare (ex. Tesla).
- Batteri för framdrivning (drivbatteri) kan vara av typ Nickel Metall Hydrid (NiMH) (som i Toyota Prius från årsmodell 1997 och ett decennium framåt(, eller av modell Litium (Li) batteri som har högre energitäthet och finns i de flesta e-fordon från 2008.
- En litiumcell i ett batteri kan generera energi till en brand genom den lagrade elektriska och kemiska energin. Olika oxidationsämnen i batteriet frigör oxygen som kan leda till s.k. termisk rusning (över 185 – 190 ^{o}C) och brand, utan oxygentillförsel utifrån. Drivbatteriet kan brinna intensivt upp mot en timme trots släckförsök, och även återantända flera timmar – upp till dygn efter ”släckning”.
- Bland speciellt giftiga och retande komponenter i gasen som bildas vid batteribrand kan nämnas vätefluorid (HF), som dessutom verkar ha en förmåga att penetrera olika personskyddssystem och hud.

5 Räddningstjänstens insats – olika taktik och släckmedel

Eftersom moderna bilar har utvecklats i konstruktion och i materialanvändning, samt även vad beträffar bränsle/drivmedel och vätskor som används i fordonen medför detta nya orsaker till brand och nya risker att ta hänsyn till. Den tidigare nämnda en-käten till svensk räddningstjänst indikerade omfattande kunskapsbrist inom denna arena. Lämpliga val av släckmedel vid olika fordonstyper är inte heller så väl kända och slutligen bör man beakta hur brandgaser och förorenat släckvatten sprids i miljön via vatten och luft (Myndigheten för samhällsskydd och Beredskap 2013).

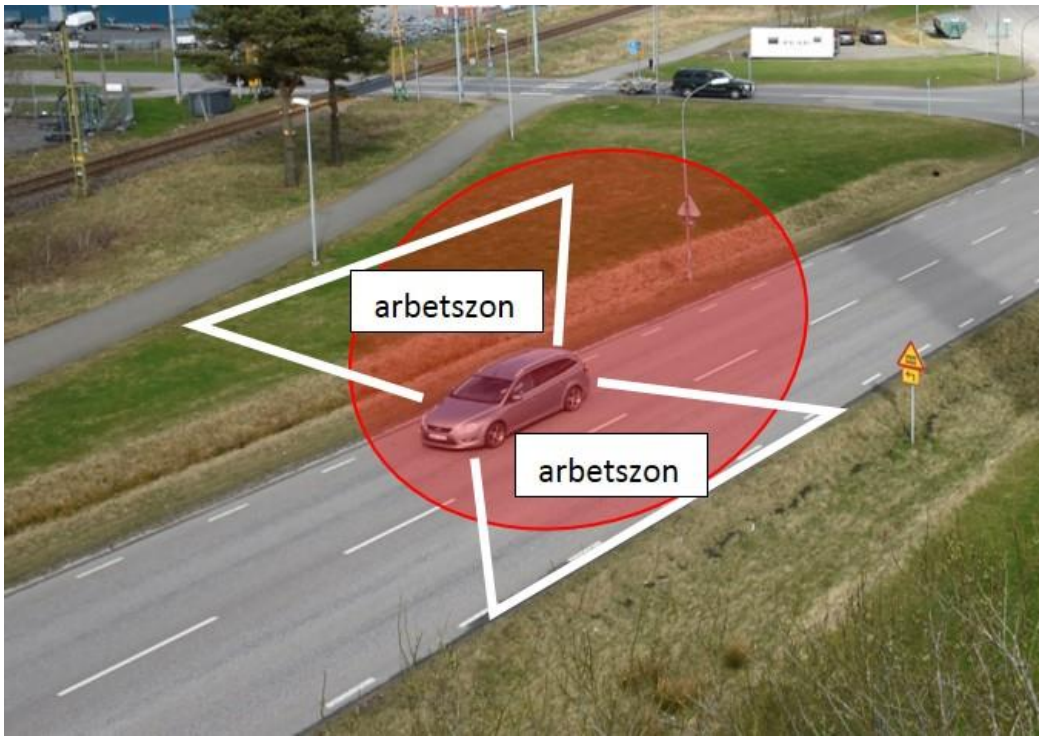
5.1 Hur agerar räddningstjänsten i dag vid insats mot brand i bil?

Här kommer en beskrivning av i dag existerande arbetsrutiner och metoder i samband med brand i bil, som även kommer att utgöra grundstommen vid insats i moderna bilar. Räddningstjänsten agerar till stor del på ett traditionellt sätt, trots att riskbild, fordonskonstruktion och bränsletyper genomgått stora förändringar.

Standardrutiner används främst vid insatser där större del av skadeplatsfaktorerna liknar varandra. En standardplan kan till stor del följas vid dessa typinsatser. I situationer där standardrutiner ej passar in i behoven på skadeplatsen, vilket sannolikt blir allt vanligare i framtiden, så genomförs en anpassad insats på direkt ordergivning från ansvariga befäl på platsen**.** Angreppsvinkel mot fordonet är exempelvis ofta i främre respektive bakre vinkelhörnet, beroende på startbrandens lokalisering och omfattning.

Räddningstjänsten använder varierande typer av utryckningsfordon vid insats mot brand i bil. Mest förekommande fordonsval vid brand i fordon är basbrandbil med bemanning 1+4 och tillgång till de släckutrustningar som fordonet har utrustats med (se förekommande släckutrustningar avsnitt 5.3). En kraftig ökning av alternativa fordonsval, släcksystem och bemanning har dock skett de sista åren. Sådana alternativa fordon kan ha 1-2-3 mans besättning och fordonen kan köras med B-körkort d.v.s. totalvikt under 3,5 ton. Denna fordonstyp är mest vanlig på räddningstjänster med RIB-personal (Räddningstjänst i Beredskap). Dessa fordon är dock ej normalt dimensionerade för att släcka fullt utvecklad bilbrand med risk för spridning. Det kan vara lämpligt att förstärkningsenheter initialt larmas till brandplatsen, vilket ger ökad mängd släckmedel och tillgång till fler släcksystem. Med vattendimma och släckmedeltillsats X-Fog® så ökar släckeffekten 4-5 ggr enligt tester som genomförts (Holmstedt 2017), varför även en begränsad vattenmängd kan räcka långt. Utryckning sker från hemmet, arbetsplats eller brandstation.

Där det finns behov inom het zon kan brandman med andningsskydd förstärkas av ytterligare en brandman vid behov av livräddning/släckning. Normalt utrustar sig en brandman med andningsskydd utöver branddräkt och hjälm. Behov av avspärrning samt lämpligt släcksystem väljs. Lämplig angreppsvinkel mot fordonet är oftast 45 grader i något av främre eller bakre hörnen, beroende på startbrandens lokalisation.



Figur 7. Bilden illustrerar lämpliga arbetzoner med hänsyn tagen till säkerhetsaspekter för att minimera risken att träffas av splitter från exploderande gasdämpare och dämpare till stötfångare. Röd ring=Het zon. (Bild Joakim Eriksson Agena foto).

Man kan i framtiden få uppgift om bilens drivsystem genom dess VIN-nummer (Vehicle Identification Number) som sänds automatiskt vid eCall – larm eller via fordonets registreringsnummer och Crash Recovery System®.

5.2 Riskbedömning och miljö

Svensk arbetsmiljölagstiftning ställer följande krav på räddningstjänsten. Till grund för åtgärder måste alltid en grundläggande riskbedömning klargöra vilket hjälpbehov som finns och de risker som en insats innebär (Egardt 2016). Riskbedömning skall ske före, under, och efter insats.

Figur 8. Gasdriven bil som exploderat och brunnit (foto: Räddningstjänsten Höga kusten). Explosionskraften kan illustreras i detta You tubeklipp från Norra Älvsborgs Räddningsförbund: https://www.youtube.com/watch?v=e1h1ItL_pzk

Efter en insats ska den analyseras vad avser kvalitén på taktik, metoder och teknik, samt göras en bedömning av om personalen haft den utbildning som motsvarat de behov som fanns under insatsen.

Figur 9. Bilden visar en misstänkt metallbrand – försiktighet med vattenstråle mot brandhärden rekommenderas - se nedan angående riskbedömning och brandförlopp.
Foto Joakim Eriksson (http://www.bt.se/nyheter/larm-om-bilbrander-i-boras/)

5.2.1 Riskbedömning på skadeplats

Behovet av åtgärder grundar sig på följande faktorer:

- Vilken händelse har utlöst branden i fordonet? Är det en trafikolycka, tekniskt fel eller anlagd brand?
- Initialt måste man snabbt bedöma om liv är i fara och behov av omedelbara åtgärder.
- Säkerställ säkerheten för insatspersonalen. Spärra av riskområdet.
- Vilken energibärare dvs. vilket drivmedel finns i fordonet och var?
- Brandens omfattning vid räddningstjänstens ankomst. Bara brand-, brandgaser och rök eller utvecklad brand i bil?
- Brandens lokalisering samt intensitet kan utgöra viktigt beslutsunderlag i de fall där inte hela fordonet är övertänt. Tolkningen kan ske av följande; värmepåverkade karossdelar kan ge indikation var brandstart har skett; brandpåverkade strukturer och värmebrustna glasrutor kan indikera ett förlopp. Poolbrand under bilen kan indikera läckage och hot mot bränsletank. Brinner bilens passagerarutrymme kan en snabb ökning av brandförloppet förväntas på grund av stor mängd brännbara material i säten och inredningsdetaljer, Bältessträckare, pyrotekniska gasgeneratorer, gasfjädrar och stötdämpare kan utlösas.
- Bilens motorutrymme. Dagens fordon har plastkåpor på motorns över- och underdel, vilket försvårar släckningen vid påföring av släckmedel. Oljor och vätskor i motorrum tillför energi till branden. Läckande vätskor kan skapa poolbränder, vilka kan möjliggöra ett mer komplicerat och snabbare förlopp.
- Bilens bagageutrymme, tank, eller annan energilagring såsom gastankar/tuber, drivbatterier etc. bör hanteras speciellt (se råd nedan).
- Splitter från exploderade stöt- /och gasdämpare kan utgöra en skaderisk,
- Offensiv eller defensiv taktik?

5.2.2 Släckmedel och miljö

Ur miljösynpunkt avråder Kemikalieinspektionen, Naturvårdsverket och MSB från användning av fluorbaserade brandsläckningsskum för de allra flesta typer av bränder (Kemikalieinspektionen 2016). Dessa skumvätskor ska endast användas i sådana fall då inga andra alternativa släckmetoder är tillämpliga, företrädesvis vid omfattande vätskebränder. I de få fall det är nödvändigt att använda fluorbaserade brandsläckningsskum ska skumvätskan samlas upp och skickas till destruktion. Släckvatten och rester av brandsläckningsskum hanteras som farligt avfall. Då även andra brandsläckningsskum än de fluorerade kan medföra betydande miljöpåverkan anser MSB att även släckvatten som innehåller andra sorters skum i största möjliga utsträckning ska samlas upp och skickas till destruktion (Kärrman et al 2016). Kan detta inte genomföras rekommenderar MSB användning av andra släckmetoder om det är möjligt, exempelvis vattendimma med 1% X-Fog® (Holmstedt 2017)

Figur 10. Exempel på räddningsmasker, flyktmask® till vänster och Revitox® till höger

5.3 Släckinsats – befintliga släcksystem

Vid händelse där drabbade personer finns kvar i fordon, eller andra personer inkapaciterats av brandrök, kan Revitox® eller flyktmask® användas i väntan på losstagning eller annan räddning. Gaserna kan med fördel skrubbas ned med vattendimma och/eller blåsas bort med fläkt. Se till att oskyddade individer inte hamnar i dessa gaser. Giftiga och brännbara gaser kan behandlas med finfördelad vattendimma för att minska risk för antändning. Släcksystemen har olika effektivitet med hänsyn till branddynamik och brandens utveckling (Aronsson & Emanuelsson 2012). Det är därför viktigt att använda bäst lämpad släckmetod, varvid också miljöskäl beaktas så att inte mer släckvatten än nödvändigt används.

Avspärrning kring fordonet bör ske som vanligt. Personer som vistas i omedelbar närhet av brandobjektet kan utsättas för stora risker, vilket ökar behovet av avspärrningar (50-100 meter) från det brinnande fordonet. Eftersom antalet bilbränder under mörker ökat dramatiskt (250 %) mellan 18:00 – 06:00, så ökar behovet sätta belysning (under mörker).

När elden angrips är det klokt att välja en säker angreppsväg och att gå med vinden i ryggen. Använd gärna fläkt med bred konvinkel för att styra bort brandgaser. Kontaminera ej larmkläder. Om så sker byt före återfärd. Branddräkt och andningsskydd är obligatoriska för räddningstjänstpersonalen. Om möjligt håll ett avstånd 1-2 meter från bilen, man ska inte luta sig in i fordonet om det inte är nödvändigt.

Figur 11. Exempel på taktik och användning av mobil fläkt. (Bild Joakim Eriksson).

5.3.1 Mobila fläktar

Användning av mobila fläktar rekommenderas för att med en luftkon styra rök och brandgaser bort från det brinnande fordonet och säkra orienteringsförmåga och brandpersonalens angreppsväg, samt för att undvika kontaminering av brandpersonal och deras utrustning. Då erhålls också bättre möjlighet att följa släckresultatet. Denna luftkon kan dessutom påverka och styra bort skadliga ämnen och upprätta en tryckande luftkon framför och i ryggen på insatspersonal som genomför släckangrepp.

5.3.2 Finfördelad vattendimma 300-350 bar

Vattendimsläckning med högt tryck vinner alltmer intresse och antalet släcksystem inom svensk räddningstjänst har kraftigt ökat från år till år. Högtrycksystemen kan användas såväl på standardbrandbilar som på små släckenheter.

Finfördelad vattendimma kan användas för att tvätta ner och minska giftiga föroreningar i brandröken, samt sänka temperaturen. Brandpersonalen kan då avancera fram i skydd av luftkon och vattendimma och behöver ej utsätta sig för höga halter av föroreningar.

En batteribrand i ett e-fordon är relativt lätt att släcka om man bara avser att slå ner själva branden. Lågande brand släcks gärna med vattendimma, dock fortsätter den termiska rusningen i batteriet med kraftig rökutveckling som följd. Röken innehåller CO, CO2, till ca 75%,men också HF och POF (Fosfor Fluorid Oxid). POF uppstår när Pentafluorid (PF_5) kommer i kontakt med vatten, PF_5 kan uppstå vid termisk rusning och förekomma i röken. Det är därför viktigt att alltid anlägga en vattendimma som skrubbar rökgaserna. Detta eftersom de gaser som uppstår gärna förenar sig med vattenmolekylen. Vattendimma skrubbar även andra rökgaser. Därför kan man med fördel också skrubba rök efter släckning. Försök om möjligt att kyla batteriet med vatten

utan att åsamka någon mekanisk skada på ingående celler. Däremot kan strömrusningen i batteriet orsaka återantändning flera timmar senare. Man kan använda värmekamera för att följa förloppet. Batteriet kan bäst kylas med vatten. Problemet är givetvis att få in vatten i batterilådan, som ofta är sluten och vars utformning kan variera starkt mellan olika modeller.

Fördelar som framhålls är att vattendimman har hög kyleffekt på brandgaser och lågande brand samt med tillsatsmedel ®effektivt kyler pyrolyserande bränsleytor. Vid operativa insatser så har man konstaterat ett minimum av kvarvarande släckvatten på brandplatsen efter att insatsen har avslutats. Släckfordonens medhavda släckvatten utnyttjas maximalt effektivt. Genomförda försök visar att inblandning av 1 % ytspänningsnedsättande medel X-Fog® i släckvattnet minskar droppstorleken från 170 micron till 109 micron vilket ökar dess kylförmåga (Försth et al 2012).

Enligt Holmstedt (2017) som har studerat vattendimsläckning med inblandning av ytspänningsnedsättande medel (X-Fog®). I rapporten påvisas att X-Fog® har hög förmåga att avskilja värmen från det brinnande och pyrolyserande materialet. Den procentuella inblandning av X-Fog® som rekommenderas vid släckning är 1% vanligtvis. Förhöjd inblandning kan användas vid önskemål om ett högre återantändningsskydd exempelvis användes både 2-4 % inblandning ända upp till 10 % i handbrandsläckare, som då ger en högre förlåtande släckeffekt speciellt lämplig då släckutrustningen ej handhas av professionell brandpersonal. I denna rapport finns även beskrivet fördelar med vattendimsläckning mot metallbränder för att öka säkerheten för brandpersonalen under släckinsats.

Giftiga ämnen som polycykliska aromatiska kolväten (PAH) och dioxiner från bränder och dess spridning ut i miljö i mark, luft och vatten beskrivs av Kärrman et al (2016) i en rapport som innefattar brandsläckningsskum och dess negativa påverkan på människa och miljö.

5.3.3 Pulversläckning (handbrandsläckare, (6-12 kg)

Effektiv släckmetod vid släckning av brand i samband med bensinläckage (poolbrand). Är även effektivt vid motorrumsbrand, kupebrand och brand i bagageutrymme. Kräver en närmare placering av operatören vid påföring av släckmedlet. En pulserande snabb rörlig teknik ökar släckeffekten. Släckeffekten utgörs främst av en sänkning av oxygennivå.

5.3.4 Kolsyra (handbrandsläckare)

Kolsyresläckning kan med fördel användas vid motorrumssläckning. Släckningen betecknas som en ren släckning där inga förorenade rester av släckmedlet finns kvar efter släckningen. Släckeffekten är bra på en mindre volym. Beakta arbetsmiljöaspekter och risker eftersom släckningen kräver att man är relativt nära fordonet när släckningen genomförs.

5.3.5 Lågtrycksystem - vatten

10-12 bar från pump dimstrålrör med vattenflöde 75-475 liter/min. Slangdiameter 42 mm. Effektiv vid brandgaskylning och ytkylning Beakta att högt vattenflöde kan orsaka spridning av släckvatten ut i miljö. Systemet ger stor variation på droppstorlek kastlängd och konvinklar. En bred konvinkel ger ett ökat skydd för strålningsvärme på

strålförare. Svårt att uppnå god släckeffektivitet, sprider lätt mycket släckvatten ut i miljön.

5.3.6 Förhöjt lågtrycksystem - vatten

40-60 bar från pump 75-150 liter/min. Gummislang på rulle 19-21 mm diameter, vanlig slanglängd 2x60 m - centrumrulle kan sammankopplas. Mindre flöde än lågtrycks-system. Kräver ökad kunskap i släckteknik och forcerat angrepp. Effektivt utnyttjande av mindre droppstorlek.

5.3.7 Högtrycksystem - vatten

100-350 bar från pump 20-60 liter/min. Flöden varierar mellan 22-60 l minuten. Upp-brott och strålbilder skiljer mellan fabrikat och modeller. Synnerligen effektiv brand-gaskylning och ytkylning. Beakta att lägre flöden kräver längre påföringstid av släck-vatten. Betydligt minskad risk för släckvattenspridning ut i miljön pga den höga ång-bildningseffekten som mindre droppstorlek innebär. Ett effektivt utnyttjande av släck-vattnet

5.3.8 Skumsystem standard tung-, mellan-, respektive lättskum

Skuminblandning sker med mellaninjektorer, eller med fast inblandningsutrustning vid pump som är traditionellt förekommande skumsystem på ”Baskoncept” för släckbilar. Skumgenerator kan utgöras av kombirör där skumpremix i slangsystemet får en luft-inblandning som ger önskvärd skumkoncentration för släckning och skydd för strålningsvärme.

5.3.9 Skumsystem CAFS (Compressed Air Foam Systems).

Komprimerad luft/vatten/skumvätska producerar färdigt skum i pumpen. Effektiv vid ytkylning. Stor begränsning vid brandgaskylning. Kan påföras från ett avstånd på 10 m fram till omedelbar närhet av fordonet. Typ av skum väljs beroende av behov. Används där stort behov av ytkylning föreligger eller till fyllning av kupé, bagageutrymme eller motorrum. Beakta arbetsmiljöaspekter och risk för släckvatten-spridning (Kärrman et al 2016).

5.3.10 Dimspik/lågtryck och förhöjt lågtryck.

Vattenflöde 70-85 l/min. Förhöjt lågtryck ger en mer finfördelad vattendimma i jämfö-relse med lågtryckdimspik. Dimspik finns i två utförande. Dels med bred konvinkel (begränsning), samt en mer sammanhållen konvinkel (attack). Används för öppen brandbekämpning, samt mot dolda utrymmen, där dimspikens diameter 18 mm kan möjliggöra påföring av släckvatten i springor eller uppborrade hål. Man kan slå in dimspik med mindre handslägga. Dimspik får ej användas vid bränder i batteripack eller motorrum i e - fordon. Risk finns för ökad brand på grund av kortslutning och termisk rusning i batteripack.

5.3.11 Aerosolsläckgranater PGA (Pyrotekniskt Genererade Aerosoler)

Finns i varierande storlekar 500-1000 gram. Hög släckeffektivitet i mindre utrymmen Utlöses genom lossdragning av säkerhetssprint för att sedan kastas in i brandutrym-

met. Aktiveringstiden är 10-15 sekunder - verkningstiden ca 20 sekunder. Oxygenreducerande effekt. Har en självutlösningsnivå på ca 300 grader där granaten självaktiveras.

5.3.12 Brandfilt

Brandfilt finns utvecklad för att kunna användas vid bilbränder utomhus, i garage och vid transporter typ på bilfärjor. Storleken på filten är tillräckligt för att kunna täcka hela fordonet, samt till att täta mellan filten och underlaget (marken). Filten är utrustad med linor i varje hörn för att underlätta när filten dras över karossen. Släckeffekten som uppnås är att förhindra tillförsel av oxygen till branden och därigenom släcka den.

Materialet i filten motstår hög temperatur och efter genomförd släckning kan brandfilten åter packas i sin skyddsväska. Dess användningsområde får dock betraktas som smalt – den kan fördröja förloppet, men man kan inte räkna med att exempelvis en brand i ett e - fordons batteri släcks, eftersom batteriet innehåller eget oxidationsmedel och energi.

5.4 Sammanfattning – speciella taktiska dispositioner

5.4.1 Flytande drivmedel – räddningstjänstens insats

Identifiera drivmedel/system och biltyp:

- Fråga föraren/ägaren, eller få uppgift från bilregistret via larmcentral Vehicle Identification Number (VIN) från e-call larm, eller Crash Recovery System® via registreringsnummer.
- Titta under tanklocket, där står vilket drivmedel som gäller och där finns även anslutning för tankning av de olika typerna av drivmedel.
- Diesel: ofta ett D eller d i modellbeteckningen. Etanol: eco-power, eco-boost, flexifuel – dock kan ju etanolfordon köras på bensin också.

Brandsläckning – flytande drivmedel:

- Efter genomförd riskbedömning och beslut om eventuella omedelbara livräddande åtgärder, utrym riskområdet, arbeta i skydd av fordon eller byggnad och undanröj spridningsrisker.
- Identifiera startbrandens lokalisering och hur utbredd branden är.
- Finns risk för läckage av bränsletank – är bränslepumpen i tanken avstängd?
- Överväg användning av fläkt för att styra bort giftiga gaser.
- Poolbrand under bilen släcks bäst med pulversläckare.
- Lågande brand i motorrum släcks med kolsyresläckare.
- Använd vattendimma och mjuk påföring gärna med inblandning av släckmedeltillsats X-Fog® 1%. Ha vinden i ryggen.
- Släck ej brand i magnesium/aluminiumfälgar, eller i andra magnesiumlegeringar med kraftig vattenstråle – kan bli explosiv vätgasreaktion.
- Använd vattendimma för att tvätta ner giftiga brandgaser och nanopartiklar.
- Brandfilt kan övervägas om sådan finns tillgänglig.
- Placera eventuellt ett brandfordon som ett skydd mot eventuella explosioner från stötdämpare, gasfjädrar och pyrotekniska komponenter etc.

5.4.2 Fordonsgas – räddningstjänstens insats

Identifiera drivmedel/system och biltyp:

- Fråga föraren/ägaren, eller få uppgift från bilregistret via larmcentral Vehicle Identification Number (VIN) från e-call larm, eller Crash Recovery System® via registreringsnummer.
- Titta under tanklocket, där står vilket drivmedel som gäller och där finns även anslutning för tankning av de olika typerna av drivmedel.
- Gasbehållare brukar finnas i bagageutrymme eller under bilen.
- Möjligen kan ”Bi-fuel” CNG, LPG, elle Natural Gas Fuel förekomma i modellbeteckningen

Brandsläckning – gasformiga drivmedel:

- Efter genomförd riskbedömning och beslut om eventuella omedelbara livräddande åtgärder, utrym riskområdet, arbeta i skydd av fordon eller byggnad.
- Identifiera var gastuberna finns - undvik att vara i riskzonen om en låga skulle slå ut från säkerhetsventilen – den kan sträcka sig ett tiotal meter.
- Skydda för eventuell explosion exempelvis med ett brandfordon.
- Undanröj spridningsrisker - skydda omgivningen från eventuell låga från gastuberna som kan slå ut tiotals meter.
- Använd vattendimma för släckning – gärna med inblandning av släckmedeltillsats X-fog®1%. Kan användas på 30-40 m:s avstånd – kan förlängas av fläkt.
- Skydda speciellt andra gasfordon/behållare – säkerhetsavstånd 50 m.
- Moderna bilar kan ha både tryck och temperatursäkring (utlöser vid 240 bar respektive 110ºC) på gastuberna, medan äldre fordon oftare har endast temperatursäkring som ***ej ska kylas*** – risk för explosion om den ej öppnar.
- Gasfordon kan ofta drivas av både gas och bensin – ett bensinläckage kan också medföra risk för bensinbrand inom 100 meter om marken lutar.
- Använd explosimeter som beslutsstöd före- under- och efter insats.
- Vätgasfordon är sällsynta men torde vara farligast ur explosionssynpunkt.

.

5.4.3 Eldrivna fordon (e – fordon)

Identifiera drivmedel/system och biltyp:

- Fråga föraren/ägaren, eller få uppgift från bilregistret via larmcentral Vehicle Identification Number (VIN) från e-call larm, eller Crash Recovery System® via registreringsnummer.
- Titta under tanklocket, där står vilket drivmedel som gäller och där finns även anslutning för tankning av de olika typerna av drivmedel.Högspännings-kablage har orange färg
- Eventuellt finns e, e-drive, Hybrid, eller FC (Fuel Cell) i modellbeteckningen.

Brandsläckning – e-fordon:

- Efter genomförd riskbedömning och beslut om eventuella omedelbara livräddande åtgärder, utrym riskområdet, undanröj spridningsrisk, arbeta i skydd av fordon eller byggnad.
- Fläkta bort rök för att skydda utsatta personer och personal.

- Använd flyktmask eller andningsmask, typ ”Revitox” på utsatta individer.
- Tunga gråaktiga gaser från e-fordons drivbatteri kan vara lättantändliga.
- När en litiumcell spricker eller öppnar sig kan giftig svart rök stötats ut.
- Använd vattendimma för släckning av öppen låga och nertvättning av giftiga gaser och brännbara gaser - gärna med inblandning av släckmedeltillsats X-Fog® ® 1%.
- Kyl eventuell batterirusning och förhindra återtändning i batteriet genom vatten-begjutning – om öppning till batterilådan finns, kan vatten sprutas in där.
- Drivbatteriet kan brinna intensivt i en timme.
- Kontrollera den termiska aktiviteten med värmekamera - cellerna kan hålla temperaturer kring 500^{o}C flera timmar/dygn efter termisk rusning – risk för återantändning
- Använd släckvattnet på effektivt sätt, men begär förstärkning av släckresurser om dessa är begränsade initialt. E-fordon kan kräva stora volymer.

5.5 Hantering av fordon och utrustning efter att branden är släckt

Släckvatten bör omhändertas så att det inte läcker ut i naturen och ner till grundvatten. Dess innehåll har beskrivits för en bensindriven bil av Lönnermark (2002). Tänk på att även larmkläderna kan vara kontaminerade, därför är det viktigt att byta larmställ och underställ så snart som möjligt mot rena skyddskläder. Åk inte tillbaka till brandstation i brandfordonet med kontaminerad personlig skyddsutrustning på.

5.5.1 Fordon med flytande drivmedel

- Gör fordonet strömlöst
- Töm bränsletankar – görs av bärgare
- Välj uppställningsplats utan spridningsrisk
- Avsluta räddningsinsats genom att scanna med hjälp av värmekamera.

5.5.2 Gasfordon

- Gör fordonet strömlöst.
- En explosimeter kan bidra vid kontroll om huruvida gassystemet läcker.
- Välj en säker uppställningsplats utomhus.
- Avsluta räddningsinsats genom att scanna med hjälp av värmekamera.

5.5.3 E-fordon

- Koppla bort 12 V batteriet om det ej gjorts tidigare
- Kontrollera temperaturutveckling i drivbatteriet med hjälp av värmekamera.
- Även om till synes öppna lågor släckts vid en batteribrand så kan celler åter antända batteriet om så kallad termisk rusning startar. Det är då viktigt att kyla batteriet med vatten för att bromsa den s.k. dominoeffekten, där en övertemperad cell startar upp en termisk rusning i en närliggande cell.
- Värmekamera är ett rekommendabelt verktyg för att registrera avtagande termisk aktivitet i drivbatteriet.
- Finns öppning in till cellerna i batteriet så är det med fördel att bekämpa fortsatt termisk aktivitet med släckvatten via den öppningen.

- Bli inte förvånad om termisk aktivitet pågår under lång tid (ett dygn) efter släckning, Försök som utförts under kontrollerade former har visat på temperaturer strax under 500 grader C under ett flertal timmar Därför är det viktigt att kyla och ha uppsikt på att temperaturen sjunker innan t.ex. bärgning av ett fordon kan utföras.
- I de fall ett batteri av denna typ är separerat ifrån fordonet kan med fördel hela batteriet sänkas ner i behållare med 1,5 – 3 % saltlösning som exempelvis i havsvatten. Vatten med saltlösning fungerar då dels kylande plus att lösningens konduktiva förmåga bidrar till att ladda ur batteripaketet på relativt kort tid. Viktigt dock att vatten verkligen får chans att tränga in så batteriets hölje bör vara av sådan art att detta kan ske.
- Töm drivbatteriet på ström om möjligt.
- Välj transportväg så att spridning av brandgaser ut i befolkat område undviks.
- Välj säker uppställningsplats ***utomhus*** med tillräckligt säkerhetsavstånd avseende eventuell återantändning.
- Avsluta räddningsinsats genom att scanna med hjälp av värmekamera.

6 Ambulanssjukvårdens insats – olika medicinska faktorer

6.1 Fysisk påverkan

Generell påverkan av värme på kroppen: En människa utan kläder eller annat skydd kan uthärda vistelse i torr luft vid en temperaturer av upp till +120 °C under några minuter. Motsvarande gräns för luft som är mättad med vattenånga ligger lägre, omkring + 80°C. Högre temperaturer ger smärtor och risk för brännskador. Vid en motorrumsbrand i en modern bil kan man förvänta sig att det tar 3-5 minuter innan eld tar sig in i kupén och temperaturen vid branden kan bli mycket hög – så hög att metall smälter och pyrolys inträffar dvs. förbränning som ger förutsättningar att bilda speciellt ”elaka” ämnen.

Vid vistelse i alltför varm luft stiger kroppstemperaturen. En höjning upp till +39 °C ligger inom fysiologiska gränser, men vid en kroppstemperatur över +40 °C börjar medvetandet grumlas. Vid temperaturer över +42 °C uppstår hjärnskador. Vid bränder orsakas brännskador främst av värmestrålning och vid kontakt med heta föremål, vätskor eller gaser. Värmestrålningen avtar med avståndet från källan. Föremål mellan strålningskällan och den som blir bestrålad kan ge ”skugga”. Kläder kan således ge ett visst skydd under en begränsad tid.

Huden: *Konduktion* (ledning av värme) sker om ett hett föremål kommer i direkt kontakt med huden. En järnbit med temperatur +100 °C liggande an mot hud ger en kontakttemperatur på +98 °C. Trä med temperatur +100 °C ger en kontakttemperatur på +65 °C. Kork, vars värmeledande förmåga är ännu lägre, ger en kontakttemperatur på endast +46 °C. *Konvektion* innebär att värme transporteras med hjälp av het luft eller rökgas. Hur stor mängd värme som överförs beror på luftens/gasens temperatur, rörelsehastighet och fuktighet, samt på exponeringstiden och eventuellt skydd av kläder.

Andningsvägarna: Generellt sett kan sägas att om en människa inte har brännskador i ansiktet, eller sot kring luftvägarna, är risken låg för brännskador i andningsvägarna begränsad. Om däremot ansiktet speciellt kring näsa och mun har brännskador, kan andningsvägarna ha skadats av hettan. Torr het luft har låg värmebärande kapacitet och ger sällan brännskador nedanför luftstrupen, men svullnad och andningshinder i ovanför liggande delar förekommer. Het vattenånga innehåller större mängd värme och kan därför ge skador längre ner i lungorna. Andningsinsufficiens (andningssvikt) kan uppträda minuter till timmar efter exposition för brandrök. Det är ofta svårt att skilja åt vad som är en effekt av hettan och vad som är en effekt av giftiga respektive retande gaser och sot. Effekter av stora hudbrännskador kan sekundärt också påverka andningen.

6.2 Brännskadas utbredning och djup

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

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

Vid utbredda brännskador sker stora förluster av vatten, elektrolyter och äggviteämnen från blodbanan. I brännskadad hud bildas på grund av värmen mikrotromber (blodproppar i små blodkärl) och ett sönderfall av röda blodkroppar sker. Vid omfattande brännskador kan upp till 10 procent av kroppens totala mängd av röda blodkroppar förstöras.

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

Brännskadans ***lokalisation*** är av stor betydelse. Vid skador drabbande huvud-, hals- eller bröstkorgsregion finns risk för komplikationer från andningsvägarna. Brännskador i andningsvägar är mycket allvarliga och de kan medföra att luftvägen svullnar igen och andningen hindras. Del- och fullhudsbrännskador täckande mer än 50 % av kroppsytan kan grovt sägas vara livshotande.

6.3 Brandgasers medicinska påverkan

6.3.1 Allmänt

Exponering för brandrök är dominerande dödsorsak vid bränder inomhus, i flygplan eller båtar. Brandgasernas akuta effekt utgörs främst av en **kvävande effekt** dvs. oxygenbrist hos kroppens celler, vilken kan orsakas av låg oxygennivå i inandningsluften, blockering av oxygenupptag i röda blodkroppar (CO), eller av upptaget i cellerna (HCN). Därutöver har många rökgaskomponenter **giftig**, eller **retande** effekt.

Effekterna av olika komponenter är mer eller mindre additiva. Vid massiv exponering kan givetvis en situation med dödlig dos av flera komponenter föreligga, men det torde finnas fall i gränslandet där eliminering av en eller flera komponenter bidrar till överlevnad. En svårighet kan vara att identifiera olika komponenters bidrag vid rökgaspåverkan/förgiftning. CO och HCN hämmar således bägge oxygeneringen av kroppens celler och olika giftiga komponenter kan alla bidra till att förvärra situationen, eftersom de inte sällan har olika verkningsmekanismer.

Symtomen vid exponering för brandgaser/rök är följande:

- Smärta och irritation i ögonen och nedsatt synförmåga, vilket därmed begränsar möjligheterna att lämna platsen.
- Smärtor i bröstkorgen och risk för lungödem, dvs. vätska som svämmar ut i lungorna.

- Medvetandepåverkan på grund av oxygenbrist, samt av giftiga och retande brandgaser.
- Brännskador på oskyddad hud och i luftvägar vid höga gastemperaturer.

Brandgaserna kan innehålla giftiga komponenter från många olika delar i en bilkonstruktion, exempelvis från stoppningar (polyuretaner) och PVC från elektriska komponenter. Lim och vissa ämnen för grundbehandling av plåtstrukturer kan vid brand frisätta giftigt vätecyanid (HCN). Många plaster som används som isoleringsmaterial innehåller också polyvinylklorid som frisätter saltsyra, som är retande på luftvägarnas slemhinnor. Nitrösa gaser bildas bl.a. vid bränder med organiska material och polyuretan och kan orsaka lungskada med risk för lungödem. Vätefluorid (HF) kan frisättas vid brand i moderna e-bilars drivbatterier och i viss mån från luftkonditioneringsvätska.

Hur svår påverkan blir av toxiska ämnen bestäms av ämnets koncentration i kroppens målorgan och den tid som toxiska koncentrationer bibehålls. För kolmonoxid och vätecyanid handlar det om att de förhindrar transport och upptag av oxygen i exempelvis hjärnans celler, en effekt som beror på koncentrationen i inandningsluften och exponeringstiden. Också ventilationens storlek (andningsdjup och andningsfrekvens) är viktig. Vid snabba toxiska effekter måste hänsyn även tas till den hastighet med vilken det skadliga ämnet kan tas upp av kroppen. Vätecyanid (HCN) kan verka inom sekunder till minuter beroende av koncentration och HF är omgående starkt frätande på slemhinnor och i vätskeform på hud, för att därefter absorberas till kroppen och ge systemeffekter i värsta fall från hjärtat. Upptag genom huden kan dröja så länge som 6-24 timmar.

Kombinerade effekter är givetvis svåra att diagnostisera. Möjligen kan man försöka identifiera effekter som minska oxygenupptaget i cellerna, respektive andra effekter av typ giftpåverkan och andra metaboliska effekter.

Gaskomponenter att speciellt beakta vid bilbrand är exempelvis kolmonoxid, koldioxid, sotpartiklar och många kemiska föreningar som exempelvis *vätecyanid (HCN), vätefluorid (HF), nitrösa gaser, och saltsyra (HCl) för att nämna några.*

Här belyses några komponenter som speciellt bör beaktas vid en bilbrand. Detta eftersom det finns möjlighet att behandla effekten av dessa komponenter och därmed bidra till att öka överlevnadsmöjligheten för den drabbade.

6.3.2 Kolmonoxid-förgiftning

Kolmonoxid (CO) tränger ut oxygenmolekylerna från hemoglobinet i de röda blodkropparna, eftersom det sätter sig på hemoglobinet ca 250 ggr lättare än vad oxygenmolekylerna gör. Därvid bildas karboxyhemoglobin (COHb) som inte kan transportera oxygen. Blodet får en bedrägligt ”körsbärsröd” färg som kan misstolkas som väl oxygenerat blod. Kolmonoxidförgiftning beräknas stå för hälften av de dödsfall som är relaterade till brand. Koncentrationer på ungefär 1 500 ppm CO i andningsluften synes hota livet. Under den aktiva fasen av en brand och i samband med brandbekämpning kan nivåerna i vissa fall nå upp till 15 000 ppm. Barn reagerar mer ogynnsamt på kolmonoxid än vuxna.

Kolmonoxid binder sig också till myoglobin som finns i muskelcellerna, vilket minskar oxygentransporten också dit. Framför allt drabbas hjärta och hjärna vid kolmonoxidförgiftning.

Kolmonoxid vädras ut genom lungorna och den hastigheten med vilken kolmonoxiden elimineras är relaterad till oxygentrycket i omgivningen. I vanlig luft halveras kolmonoxidhalten på 3-4 timmar. Om den drabbade får 100 % oxygen reduceras denna tid till 30-40 minuter. Sådan behandling kräver helt tät mask och bör i normalfallet ges under minst 6 timmar. Om oxygen kan ges med 2,5 atmosfärers tryck i tryckkammare reduceras halveringstiden till ca 22 minuter.

6.3.3 Vätecyanidförgiftning

Vätecyanid (HCN): bildas vid förbränning vid hög temperatur av material som är frekvent förekommande i bilar såsom polyuretan, PVC etc.

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

HCN är en färglös gas som är lättare än luft och i renodlad form har en bittermandelliknande lukt som dock inte kan urskiljas i brandrök. Dessutom har en viss del av populationen en genetisk disposition som medför att de inte kan känna denna lukt/ smak.

Verkningsmekanismen är i korthet följande. När HCN når lungorna går substansen igenom lungblåsorna och via blodomloppet till kroppens celler, där det i mitokondrierna (som är cellens energiproducent) blockerar elektrontransportkedjan så att oxygenet ej tas upp. Därvid stängs cellernas normala energiproduktion av och de slutar fungera, vilket är av särskild betydelse för hjärnans celler. Eftersom oxygenet inte tas upp i cellerna medför det att det venösa blodet har kvar oxygenet och kan ge den drabbade ett bedrägligt väl oxygenerat utseende, trots att kroppens celler är oxygenfattiga. HCN binds också till de röda blodkropparna.

Giftighet; Dödlig koncentration inom 10 minuter är 181 ppm, omedelbart dödande: 270 ppm

För att analysera halterna inför fortsatt behandling rekommenderas från Giftinformationscentralen att om möjligt ta blodprov redan på skadeplatsen – helblod i EDTA- eller heparinrör. Analyseras på Forensiskt centrum i Linköping om inte lokal enhet klarar det.

Utsöndring sker delvis som HCN i utandningsluften – observera att förgiftningsrisk kan föreligga för HLR-räddare (särskilt vid mun-mot-mun metoden) vid massivt exponerat fall – men HCN utsöndras också genom urinen.

Symtomen kan vid inandning komma sekundsnabbt, men också dröja flera minuter. I lindriga fall förekommer huvudvärk, smak/lukt av bittermandel eller metall (OBS alla har inte förmågan att känna denna smak/lukt), omtöckning, hyperventilation (ökad andningsfrekvens), dyspné (ansträngd andning). I svårare fall tillstöter kall, fuktig hud, tilltagande medvetandesänkning, koma, kramper, allt svagare puls, andningssvikt och lungödem. Det är inte alltid man ser den oxygenrika venösa blodfärgen på slemhinnor och nagelbädd, de drabbade kan också uppvisa cyanotiska tecken.

Specifik behandling: Enligt rekommendation från Giftinformationscentralen ges vid brand där risk för HCN exponering föreligger till gravt medvetandesänkt, eller komatös patient, Hydroxykobalamin (Cyanokit ®) – 5 g i 200 ml NaCl som infusion under 15-30

minuter till vuxna. Ju tidigare man ger antidoten desto bättre, dvs. helst på skadeplatsen. Detta är särskilt viktigt vid brand i dåligt ventilerade utrymmen och om den drabbade har sänkt medvetandegrad och sot i andningsvägarna. Denna dos kan upprepas inom 30-120 minuter, men då något långsammare 30-60 minuter.

Ett alternativ (billigare men inte lika effektivt och komplikationsfritt som Cyanokit ®) är Natiumtiosulfat 150 mg/ml – 100 ml iv som ges under 5-10 minuter. Denna behandling ges också som förstaalternativ till patienter med lindrigare påverkan. Beträffande dosering för barn och andra närliggande frågor – hämta information från Giftinformationscentralen.

6.3.4 Vätefluorid (HF)

HF kan bildas vid gasning eller brand i e-fordons Li-drivbatterier, dvs. hos fordon med olika former av eldrift antingen som hybridfordon, plug-in, eller rena elfordon, liksom vid brand av ämnen som innehåller fluor (ex luftkonditioneringsvätskor).

HF har många otrevliga egenskaper. I löst form utgör den en av de starkaste oorganiska syror som finns och är starkt frätande - mer frätande än saltsyra. Detta är speciellt uttalat i luftvägarna vid exponering för HF i gasform. Den synes också penetrera räddningstjänstens sedvanliga skyddsklädsel tillsamman med vissa andra ämnen/kemikalier, liksom också penetrera huden (Thors et al. 2016). Observera att kläderna kan avge HF efter en insats, varför de bör avlägsnas omgående innan man hinner inandas gaser från kläderna.

Verkningsmekanismen är i korthet följande: HF tas snabbt upp genom luftvägarnas slemhinnor, men kan också i penetrera hud – särskilt löst i svett. Genom ett komplicerat biokemiskt förlopp binds kalcium och magnesiumjoner i cellerna, vilket medför att dessa nivåer sjunker i blod, där framförallt sänkningen av kalciumnivån kan vara dödlig, genom att orsaka celldöd och inducera hjärtarytmi (VES; ventrikeltachycardi och flimmer). Hjärtat kan också direkt påverkas av fluoridjonen så att hjärtats irritabilitet accentueras. Cellskadan gör att kalium läcker ut ur cellerna och ger hyperkalemi. Kaliumjonen retar nervändsluten vilket kan orsaka en intensiv smärtupplevelse.

Giftighet: Takgränsvärde 2 ppm. 5 ppm starkt irriterande för ögon. Löst i vätska kan det räcka med en handflatestor exponering för att risk för livet skall föreligga.

Utsöndring sker genom urin (inom 24 timmar), svett och avföring, medan en femtedel inlagras i kroppen exempelvis i ben.

Symtomen lokalt i luftvägarna vid inandning är hosta, luftvägsirritation och slemhinnesvullnad även i övre luftvägarna. Toxiskt lungödem kan tillstöta efter ett fritt intervall på 1-2 dygn. Blödningar i lungblåsor och ARDS (okontrollerad koagulering i lungkapillärer) kan tillstöta. Systemeffekterna (dvs. från övriga kroppen) orsakas av vätskebalansrubbningarna (ventrikeltachycardi). Värst är hjärtarrytmierna (VES, vetrikulär tachykardi/-flimmer), som kan vara dödliga. Perifera muskelkramper (tetani) och mental påverkan kan också förekomma.

Specifik behandling: Om symtom på HF-exponering föreligger exempelvis vid exponering via luftvägarna, ges redan på skadeplatsen, kalciumtabletter per os (om möjligt) - 6 g varannan timme. Vid andnöd ges dessutom oxygen samt inhalation med bronkvidgande medel följt av kortikosteroider. *Patienten skall till sjukhus*. Vid hudexponering masseras kalciumglukonatsalva in på den exponerade platsen (HF-antidot) så länge smärta och irritation föreligger, eller i minst 15 minuter. Vid systemeffekter

ges på sjukhus behandling efter provtagning för att hantera vätskebalansrubbningar. Tillförsel av stora mängder kalciumlösning intravenöst kan behöva ges.

6.3.5 Oxygen (Syre)- brist

Vid brand i ett slutet rum kan oxygenbrist uppstå. Normal luft innehåller 20,9%. Kroppen förmår hantera en viss sänkning och man har inte kunnat visa någon allvarlig störning i hjärnans funktion vid 15 procent oxygen i andningsluften. Vid lägre oxygenhalt börjar dock hjärnans funktion att försämras. Vid 14,4–11,8 procent oxygen i omgivande luft (motsvarar partialtrycket på höjder mellan 3 000–4 500 m) börjar andnings- och hjärtfrekvens att öka, medan omdömesförmåga och maximala arbetskapaciteten nedsätts. Manifest oxygenbrist uppstår vid 11,8–9,6 procent oxygen i omgivande luft, vilket motsvarar oxygenets partialtryck på höjder mellan 4500–6 000 m. En klar försämring av högre mentala processer och neuromuskulär kontroll har då inträtt. Omdömesförmågan är nedsatt. Hjärtaktivitet och andning är ökad. Kritisk oxygenbrist uppstår vid 9,6–7,8 procent oxygen i omgivande luft, vilket motsvarar en höjd av 6 000–7 600 m. Vid denna nivå inträder omtöckning, förlust av medvetandet, upphörande andning, cirkulationssvikt och död.

6.3.6 Allmänt om andra brandgaser

I moderna fordons konstruktion används alltmer material som kan ge upphov till elakartade komponenter i brandgaserna (se ex ovan), Bland ej tidigare nämnda komponenter kan nämnas aminoplaster (ger HCN, nitrösa gaser, formaldehyd), polyuretan (ger HCN, nitrösa gaser och isocyanater), plaster som används som isoleringsmaterial innehåller polyvinylklorid som frisätter saltsyra, klor och små mängder fosgen. Nitrösa gaser, saltsyra etc. kan orsaka lungskada med risk för lungödem.

6.3.7 Sammanfattande råd om medicinsk insats vid bilbrand

Ta först reda på:

- Vilken typ av bil det gäller, eftersom speciella karakteristika och risker kan föreligga hos olika typer av fordon.
- Föreligger hypoxi. OBS den bedrägliga oxygenliknade färgen hos venöst blod vid CO och HCN exponering.
- Föreligger termisk skada eller sot i luftvägarna, finns risk för frätskada eller kommande ödem?
- Föreligger exponering för retande, giftiga gaser för vilka antidotbehandling kan bli aktuell (HCN, HF)?
- Föreligger kolmonoxidförgiftning (CO)?

Behandling på skadeplatsen:

- Ge oxygen – alltid 100% vid medvetandepåverkan. CPAP? Vid enbart lindrigare retsymtom från luftvägarna kan oxygen ges på grimma eller mask.
- Om tecken på ödem, svullnad i luftvägarna – överväg intubation om det tar lång tid till sjukhus.
- Om HCN exponering med grav medvetandepåverkan eller koma föreligger, ge hydroxykobalamin (Cyanokit ®) – 5 g i 200 ml NaCl som infusion under 15-30 minuter. Detta är förstahandsalternativ vid medvetslöshet. Om ej denna substans är tillgänglig – ge natriumtiosulfat 150 mg/ml – 100 ml iv under 5-10 minuter. Natriumtiosulfat ges som förstahandsalternativ till lindrigt medvetandepåverkade patienter. Cyanokit ® infusion kan upprepas inom 30-120 minuter om effekten av första infusionen är begränsad, dock denna gång lite långsammare dvs på 30-60 minuter.

- Speciellt för e-fordonsbränder – vid misstänkt exponering för HF och symtom från andningsvägarna eller cirkulationen, ska behandling ges redan på skadeplatsen med kalciumtabletter per os (om möjligt) - 6 g varannan timme. Vid andnöd ges först inhalation med bronkvidgande medel och sedan med kortikosteroider, förutom sedvanlig oxygenbehandling.
- CO-förgiftning skall helst behandlas med 100% oxygen, vilket kräver tät mask, typ CPAP, eller intubation med kuffad tub. På vissa orter finns tryckkammare som kan erbjuda ett bra behandlingsalternativ.

7 Uppföljning

MSB håller ständig kontakt med industri, forskning och internationella systerorganisationer för att det ständiga förbättrings arbete ska fortsätta.

Om och när en bättre teknik och tillvägagångssätt finns kommer MSB att förmedla detta, dock idag är vanligt släckvatten det mest effektiva arbetssättet.

Att fordonsindustrin migrerar till en koldioxidfri teknik som kommer att leda till olika typer av energilager som är fossilfria är ingen överraskning. Dock kommer dessa nyare energilager att ställa framtidens räddningstjänster på prov och kräva mer utbildning för den enskilde brandmannen vid en räddningsinsats avseende dessa fordon. Vi har bara sett början på denna utveckling och därför är det viktigt att MSB har en fortsatt god dialog med de på marknaden insatta parter för att kunna förmedla kunskap till Sveriges alla räddningstjänster.

MSB kontaktperson för studien

Bo Andersson

070-549 60 96

Bo.andersson@msb.se

8 Referenser

AGA. *Säkerhetsdatablad. Industrigaser* [hämtad:2017-02-20] *http://www.aga.se/sv/safety_health_ren/safety_datasheets/index.html#panel-last-1*

Aronsson H. & Emanuelsson R. Alternativa släcksystem – en sammanställning av räddningstjänstens erfarenheter, Lunds tekniska högskola, Rapport 5403, Lund. 2012.

Försth M, Ochoterena R, Lindström J. *Spray characterization of the cutting extinguisher*. SP Arbetsrapport 2012:14 ISSN 0284-5172 Borås 2012.

Hasvold Ø, Forseth S, Johannessen T, Lian T. *Safety aspects of large lithium batteries.* Norwegian Defence Research Establishment. Rapport 01666-2007. Kjeller, Norway 2007.

Kärrman A, Bjurlid F, Hagberg J, Ricklund N, Larsson M, Stubleski J, Hollert H. *Study of environmental and human health impacts of firefighting agents. A technical report*. Örebro University 2016. Published and available in DiVA (www.diva-portal.org).

Kemikalieinspektionen. *Rekommendationer för minskad användning av brandsläckningsskum.* Artikelnummer 511 202. Sundbyberg 2016.

Lecocq A, Bertana M, Truchot B, Marlair G. *Comparison of the fire consequences of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle*. 2 International Conference on Fire in Vehicle – FIVE 2012, Sep 2012, Chicago, United States. SP Technical Research Institute of Sweden. Borås. 2012.

Lönnermark A. Analys av rökgaser och släckvatten i samband med bilbrand. SP rapport P201960 till Statens Räddningsverk 2002-09-26. Sveriges Provnings- och forskningsinstitut, Borås 2002.

Lindkvist M. *Gasdrivna fordon – händelser och standarder. En nationell och internationell utblick.* Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. MSB-rapport. 2016.

Magnusson R, Hägglund, L, Gustafsson Å, Bergström U, Lejon C. *Identification and brief toxicological assessment of combustion products of the refrigerant HFO-1234yf.* FOI-rapport, Umeå, Juni 2016.

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. Säkerhet i vägtrafikmiljö – Vägledning. MSB-Rapport. Publikationsnummer MSB1078-februari 2017-
ISBN 978-91-7383-731-6. MSB Karlstad. 2017.

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. *Förändringar – omvärldsanalys personbilar.* MSB 991. ISBN 978-91-7383-655-5. MSB Karlstad. 2016 a.

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. *Räddningsinsatser med gasdrivna personbilar.* MSB-Rapport. Publikationsnummer MSB984 – 0321, ISBN 978-91-7383-648-7 Karlstad. 2016 b.

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. *Förmåga och begränsningar av förekommande släcksystem vid brand i byggnad. Focus på miljöarbete.* MSB 618. ISBN-nummer: 978-91-7383-390-5. MSB Karlstad. 2013.

National Fire Protection Association. NFPA 556 *Guide of methods for evaluating fire hazard to occupants of passenger road vehicles.* 2016 Edition. Quincy MA. 2016.

Kraftfahrt-Bundesamt. Projektbericht über Versuche mit Fahrzeugen zur Entflammung und HF-Exposition mit Fahrzeugklimaanlagen bei Verwendung von R1234yf. Kraftfahrt-Bundesamt – KBA 1-8 (2013). Flensburg 2013.

Söderholm T. Projekt el-hybridfordon. Enkät till 100 räddningstjänster. Sammanställning av inkomna svar. Dnr 2011-1687 MSB 2011-08-31.

Statens Haverikommission. Brand med två biogasbussar i stadstrafik i Helsingborg, Skåne län, den 14 februari 2012. Dnr O-03/12. Stockholm 2012.

Sturk D, Näsman Y, Hoffmann L, Gustafson H, Östrand L, Björnstig U. *E-Vehicle Safe Rescue. Investigation of risk factors and rescue tactics in a traffic incident event involving an E-Vehicle.* Proceedings from 3rd International Conference on Fires in Vehicles – FIVE 2014. Oct 2014 Berlin. Report SP 2014:44. SP Technical Research Institute of Sweden, Borås, Sweden. ISBN 978-91-87461-87-3. 2014.

Svenska Petroleum och Biodrivmedelsinstitutet. *Drivmedel*. [hämtad:2017-02-20] *http://spbi.se/blog/faktadatabas/kategorier/drivmedel*

Thors L ,Wingfors H, Fredman A, et al. *Nya risker för räddningspersonal vid bränder/gasning av batteripack hos e-fordon*. Publ nr MSB 1055. 2016. ISBN 978-91-7383-706-4. 2016.

U.S. Department of Transportation. *Laboratory test procedure for FMVSS 302. Flammability of Interior Materials.* National Highway Traffic Safety Administration. 1991.

Valentin G. *Taktikboken trafikolycka: en handbok i hur man på ett säkert och effektivt sätt genomför losstagning vid vägtrafikolycka med personbilar och tunga fordon*. Informationsbolaget. Malmö 2011.

Viklund Å, Björnstig J, Larsson M, Björnstig U. *Car crash fatalities associated with fire in Sweden.* Traffic Inj Prev. 2013; 14:823-7.

Wargclou D. *Räddning vid trafikolycka – personbil.* Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2010. https://www.msb.se/RibData/Filer/pdf/25818.pdf (hämtad: mars 2017).

Bilaga 1.

Förekomst av några ämnen i rökgaserna vid en brand i en Saab 9-5 (Tabell 2 i Lönnermark 2002).

Tabell 2 Utbyte av de tidsupplösta[a] komponenterna[b].

Ämne	Utbyte [g/kg]
CO_2	2436
CO	63,4
HCN	1,55
HCl	13,2
SO_2	4,98
PAH (partikelbunden, online)	0,093
THC (propan)	37,0
Stoft (online)	139,4[c]
Stoft (total)	63,8

a) Totalt stoftutbyte från traditionell provtagning med filter är inkluderad för jämförelse. Utbyten för övriga integrerade värden presenteras i tabellerna nedan.

b) Ammoniak (NH_3), väteflorid (HF), vätebromid (HBr), kväveoxid (NO) och kvävedioxid (NO_2) låg samtliga under respektive detektionsgräns (3 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm respektive 5 ppm).

c) Beräkningen av massan av stoft från den tidsupplösta mätningen är gjord med en antagen densitet på 1 g/cm^3. Denna tycks vara högre än den verkliga, jmfr "Stoft (total)".

Bilaga 2.
Datablad avseende olika drivmedels karaktäristika (Svenska Petroleum och Biodrivmedelsinstitutet 2017)

Drivmedels energiinnehåll						
Flytande drivmedel	**Energiinnehåll (kWh/kg)**	**Brännbara gränser i luft (%)**	**Explosiva gränser i luft (%)**	**Tändenergi (mJ)**	**Flamtemperatur i luft (°C)**	**Tryck (bar)**
Bensin	**9,1**	**1,4 - 7,6**	**1,1 - 3,3**	**0,2**	**2197**	**-**
Diesel	**9,1**	**-**	**-**	**-**		**-**
RME	**8,8***	**-**	**-**	**-**		**-**
E85 (85% bensin-15% etanol)	**7,4***	**1,4 - 7,6***	**1,1 - 3,3***	**0,2***	**2197***	**-**
M15	**8,5***	**1,4 - 7,6***	**1,1 - 3,3***	**0,2***	**2197***	**-**
Motorolja	**9,7**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
Gasformiga drivmedel						
LNG (flytande naturgas/metan)	**11,2**	**5,3 - 15**	**5,7 - 14**	**0,29**	**~1900**	**230 @ -160C**
CNG (komprimerad naturgas/metan)	**11,2**	**5,3 - 15**	**5,7 - 14**	**0,29**	**~1900**	**230 (260 max)**
DME (Di Metyl Eter)		**2,7 - 32**		**0,29***	**~2000**	**5,1 @ 20C**
LPG (flytande motorgas/gasol)	**12,8**	**5 - 15**		**0,29***	**2800**	**8 @ 20 C**
H_2 (Vätgas)	**29,1**	**4 - 77**	**18 - 59**	**0,02**	**2045**	**350 (700 max)**
E-fordon						
Hybridfordon (flytande drivmedel och ett elektriskt energilager t.ex. NiMH eller litium celler) gäller organisk elektrolyt.	**0,06 - 0,2**	**1,8 - 16**	**1,8 - 16**	**0,3**	**-**	**-**
Eldrift (vanligast med litiumceller) gäller organisk elektrolyt.	**0,2**	**1,8 - 16**	**1,8 - 16**	**0,3**	**-**	**-**
Bränslecellsfordon	**Se ovan**	**Se ovan**	**Se ovan**	**Se ovan**	**Se ovan**	**Se ovan**

* = Antagna värden då det ej hittats i facklitteratur

Bilaga 3.

Författare i bokstavsordning:

Ulf Björnstig är senior professor i kirurgi, vid Umeå universitet med inriktning på traumatologi, skadeprevention och katastrofmedicin. Ulf Björnstig har varit trafiksäkerhetsdirektör i Vägverket åren 1998-2000, programdirektör för Socialstyrelsens kunskapscentrum för katastrofmedicin vid Umeå universitet 2004-2012. I den verksamheten har en omfattande kursverksamhet avseende räddningsinsats vid stor busskrasch respektive stor tågkrasch utvecklats i samarbete med dåvarande Räddningsverket och nuvarande Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. Sammanlagt 350 instruktörer har utbildats inom dessa områden. Ulf Björnstig har varit handledare till 18 doktorander som disputerat, har publicerat 140 reviewerbedömda vetenskapliga artiklar och ett 70.tal rapporter, lärobokskapitel och liknande.

Lars Hoffmann är idag anställd på NEVS i Trollhättan, Lars är elingenjör och har en gedigen bakgrund inom el och elektronik då han började sin bana som instrumenttekniker på ett legeringsverk, där efter har han arbetat för ASEA/ABB, Elchef för pappersbruk, anläggningschef för processindustri och projektledare för SAAB Automobile AB/GME hybridutveckling med inriktning på batterier, kablage, kraftelektronik, elmaskin och elsäkerhet. Därefter jobbade Lars på SP Elektronik och SP Fire Research i Borås. I sin roll på SP jobbade Lars bl.a. med svenska fordonsindustrin att förstå framtidens elsystem för att uppnå en god elsäkerhetspraxis genom att hålla utbildningar som tillgodoser framtida krav på E-fordon. I denna rapport bistår Lars med sin expertkompetens gällande batterisystemets uppbyggnad, funktion samt riskanalys kring fordonskomponenter som arbetar med skadlig spänning såsom 400 volts drivbatterier i e-fordon. Idag ansvarar Lars för investeringar, underhåll och service för alla NEVS testlabb i Trollhättan. På sin fritid är Lars en av ett tjugotal besiktningsmän inom SFRO, där han besiktigar amatörbyggda E-fordon och bistår där med sina kunskaper för säkra elektriska lösningar även i dessa fordon.

Krister Palmkvist har varit anställd på Räddningstjänsten i Södra Älvsborg i olika befattningar under ett antal år. Dels som instruktör inom släckteknik och branddynamik, och med utveckling av nya släckmetoder. Krister har tjänstgjort som insatsledare och därigenom fått erfarenheter av nya metoders effektivitet i operativ verksamhet. En viktig utveckling inom räddningstjänsten är att samverka mellan olika metodval under insats i olika brandscenarios. Krister har deltagit i projekt med SP Fire Research gällande brandgasventilering samt förekommande släcksystems effektivitet. Även IR teknik vid brandbekämpning har omfattas i deltagande projekt. Krister har även lång erfarenhet som instruktör vid utbildningar i skärsläckning och brandsläckning med vattendimma. Har varit anställd av Räddningsverket och nuvarande MSB i projekt kring framtagning av utbildningsunderlag. Internationella projekt och utbildningar har även ingått i tidigare uppdrag.

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap
651 81 Karlstad Tel 0771-240 240 www.msb.se
Publ.nr MSBXXX - Månad År ISBN 978-91-7383-XXX-X