



BEREDSKABS
STYRELSEN

Temahæfte

Indsats ved brand i El- og hybridbiler

Lærebog

En lærebog indeholder en uddybende faglig gennemgang af et fagområde i redningsberedskabet.

Lærebogen henvender sig til alle, der har behov for en grundig viden om emnet.

Temahæfte

Et temahæfte er et supplement til øvrige læringsmaterialer.

Fokus i temahæftet er på et eller flere fagområder.

Som regel henvender et temahæfte sig til en specifik faggruppe fx teknisk ledere indsatsledere.

Metodehæfte

Metodehæftet har aktuel fokus på ajourført viden inden for et fagområde i Beredskabsstyrelsen.

Metodehæftet henvender sig til fx brandmænd og holdledere, der i det daglige har behov for opdateret viden om det gældende emne.

Elevhæfte

Elevhæfter er lokalt forankrede udgivelser udarbejdet efter retningslinjer fra Strategisk Uddannelse og Pædagogik.

Elevhæfter henvender sig til brandmandsni-veaue, og er et supplement til øvrige læringsmaterialer.

Det indeholder ofte lokalt forankrede cases.

Undervisningsvideo

Undervisningsvideoer er kortere eller længere videoer, der gennemgår et eller flere fagligt afgrænsede områder inden for de forskellige indsatsområder.

Videoerne kan ses af alle målgrupper.



Indhold

Forord	4
Temahæftes opbygning	5
Den grønne omstilling	6
Karakteristika ved el- og hybridbiler	7
Opbygning af elbiler	10
Ladning og ladestandere	14
Sikkerhed	15
Indsatstaktik	18
Værktøjer til anvendelse ved slukningsindsats	25
Borttransport af elbil	28
Den tekniske leders udfordringer	30
Miljø	32
Arbejds miljø	35
Actioncard	36
Kilder	42
Foto	44

Forord

En ny vejledning

Beredskabsstyrelsen udgav i 2011 den første vejledning om elbiler.

Denne vejledning blev siden udvidet til også at omfatte hybrid- og brintbiler.

Der er en hastig udvikling på området, hvilket har betydet, at anvendelsen af bl.a. lithium-ion (li-ion) batterier til lokal energilagring samt som energikilde/drivmiddel i køretøjer er i hastig vækst.

Dette temahæfte tager alene udgangspunkt i brand i el- og hybridbiler, men vil senere blive udvidet med relatere emner, herunder redning, samt i forhold til andre ”grønne transportformer”, herunder el-busser/- lastbiler, samt brint- og gasdrevne køretøjer.

Brand i elbiler kan bevirke en anderledes og mere kompleks indsats end ved traditionelle bilbrande, idet der foruden problemstillingen med høj spænding også kan udvikles et andet og mere voldsomt brandforløb med større koncentration af sundhedsskadelig brandrøg. Det er nødvendigt, at indsatsstyrken er bekendt med disse særlige forhold der gør sig gældende ved brande i elbiler, således at der kan foretages en korrekt taktisk prioritering af indsatsen.

I de følgende afsnit gives der en introduktion til karakteristika for en elbil og kendetegn for en brand i et li-ion batteri, indsatstaktik og de sikkerheds- og sundhedsmæssige forhold, der bør iagttages ved uheld eller brande, hvor en elbil har været involveret.

Dette temahæfte er udarbejdet i samarbejde med Danske Beredskaber og repræsentanter herfra. En særlig tak skal lyde til Nordjyllands Beredskab, Hovedstadens Beredskab og Beredskab Øst for deres bidrag.

Beredskabsstyrelsen, februar 2021

Temahæftets opbygning

Opbygning af vejledningen

Dette temahæfte er baseret på den eksisterende nationale og internationale viden på området samt erfaringer fra de kommunale redningsberedskaber.

Strukturen i temahæftet er opdelt i en række afsnit, der hver indeholder en række emner, som gradvist giver redningsberedskabet en sådan viden, at der kan gennemføres en sikkerheds-, sundheds- og arbejdsmiljømæssig forsvarlig indsats ved brand i elbiler.

Sidst i temahæftet er der være en række actioncards, der vil kunne anvendes som inspiration ved planlægning og forberedelse af de forskellige typer af indsatser.

Temahæftet er opbygget på en måde, så det kan anvendes helt eller delt som et opslagsværk i forbindelse med undervisning i de forskellige dele af redningsberedskabets uddannelser.

Temahæftet kan ikke stå alene, idet det tager udgangspunkt i nogle generelle principper. Det er desuden tiltænkt som inspiration til det enkelte redningsberedskabs egne operative forhold.

Den enkelte producents egen indsatsvejledning ved brand i den pågældende elbil skal altid følges.

Den grønne omstilling

Hvad betyder den grønne omstilling for redningsberedskabet?

Danmark har forpligtiget sig til en række ambitiøse målsætninger for en grøn omstilling af samfundet, herunder grøn energi både som drivmiddel i transportsektoren og inden for byggeri og teknologi.

Som en vigtig samfundsaktør ønsker redningsberedskabet at bidrage til, at der inden for egen sektor tages bedst mulig hånd om de udfordringer, som kan følge med denne omstilling.

De første masseproducerede elbiler i nyere tid blev introduceret i Danmark i starten af 2011. Siden da udgør en større andel af solgte biler elbiler og hybridbiler, og der var pr. 1. januar 2021 31.900 personbiler med el som drivmiddel og 29.700 hybrid personbiler i Danmark¹.

I 2019 blev der registreret fem brande i elbiler ud af i alt knap 1.500 bilbrande på landsplan².

Det må imidlertid forventes, at der i de kommende år, i forbindelse med den grønne omstilling, vil være en stigning i antallet af indsatser, hvad angår brande i elbiler. Men også antallet af andre transportmidler, som busser og færger, samt lagring af strøm fra vedvarende energikilder må forventes at stige. En sådan stigning forventes også i forhold til vindmøller og solcelleanlæg på bygninger.

Redningsberedskabet vil på den baggrund oftere stå over for at skulle slukke brande i elektriske komponenter med høj spænding, både inde i bygninger og i anlæg i det fri.

Viden om indsats ved elbiler

Det er nødvendigt, at indsatsmandskabet er bekendt med elbilers særlige egenskaber, så der kan gennemføres en forsvarlig indsats.

Målet med denne vejledning er bl.a. at belyse de indsatstaktiske muligheder og derved støtte den tekniske leder og mandskabet på skadestedet i deres håndtering af denne form for uheld, uanset om der er tale om en indsats i det fri eller i en bygning, som kan medføre en række særlige forhold.

En brand eller frigørelsesopgave, som omfatter et li-ion batteri, vil ofte stille anderledes krav til ledelse af indsatsen, personel og materiel end en traditionel indsatsopgave.



Den grønne omstilling har alene i 2020 betydet en fordobling af antallet af elbiler og en tredobling af hybridbiler i Danmark.

¹ Danmarks statistik, 12/01-21, nyt fra Danmarks statistik nr. 10.

² Beredskabsstyrelsen, 2020, udtræk af Redningsberedskabets statistikbank

Karakteristika ved el- og hybridbiler

Identifikation

Der findes en del forskellige typer køretøjer inden for kategorien af elbiler, som helt overordnet kan opdeles i:

- Elkøretøjer
- Hybridkøretøjer/plug-in hybridkøretøjer

Fælles for disse er, at der er strømførende komponenter som batterier og ledninger i køretøjet, som har væsentlig højere spændinger, end redningsmandskabet typisk er vant til i biler.

Dette temahæfte har fokus på elbiler og hybridbiler i personvognstørrelsen, hvor drivmidlet, helt eller delvist er batteri baseret på li-ion teknologi. Den samlede betegnelse 'elbil' dækker både elbiler med li-ion batteri som eneste drivmiddel og hybrid- og pluginbiler med en supplerende motor.

Særligt for 112 alarmcentraler m.v.

Visse lande, bl.a. Norge, har indført en simpel nummerpladegenkendelse, idet alle elbiler starter med "EL" i registreringsnummeret. Denne mulighed anvendes ikke i Danmark, men der findes andre muligheder for at identificere en elbil.

For redningsberedskabets indsats er det en vigtig information, at en konkret indsats omhandler en elbil. Alarmcentralerne har fra november 2020, indført to nye 112-pickliste meldinger, der hedder "Brand - elbil" og "Brand - lastbil, alternativ drivmiddel".

Disse skal, så vidt muligt, anvendes fra 112-alarmcentralen, hvis denne information er tilgængelig.

Alternativt bør der, så tidligt som muligt, videregives oplysning til redningsberedskabet om, at der er tale om en brand eller ulykke i en elbil. Dette giver den tekniske leder mulighed for at iværksætte de rette tiltag, herunder tilkaldelse af supplerende mandskab og materiel.

Hvis ikke det er muligt at identificere bilen, f.eks. grundet brandens omfang eller røgudvikling, bør der arbejdes ud fra et forsigtighedsprincip om, at der muligvis kan være tale om en el- eller hybridbil.

Systemer til genkendelse af elbiler

Føreren af bilen og andre personer på skadestedet kan f.eks. ved hjælp af bilmærket eller hele registreringsnummeret, bidrage til en tidlig identifikation af, om der er tale om en elbil.

Via hjemmesiden www.motorregister.skat.dk og fanebladet "Tekniske oplysninger" vil oplysninger om drivmidlet kunne hentes ved indtastning af registreringsnummeret. Der findes dog undtagelser herfor, da registreringsnumre for særlige køretøjer ikke er offentlig tilgængelige, f.eks. politi, forsvar og beredskab.

Den fælles europæiske organisation for sikkerhedsklassificering af køretøjer (Euro NCAP) har i samarbejde med CTIF (International Teknisk Komité for forebyggelse og slukning af Brand), udgivet en App – Euro Rescue. Denne kan downloades i App store og Google Play.

Programmet indeholder alle godkendte europæiske bilmærker og beskriver opbygning af køretøjer, herunder hvilke færemomenter der kan være. App'en er freeware.

Der findes flere former for informationssystemer, udarbejdet af private aktører.

Et af disse er Crash Recovery System. Programmet kan ved hjælp af registreringsnummeret på det enkelte køretøj give oplysninger om køretøjets data, placering af centrale komponenter m.v. i forhold til en indsats.

Adgang til systemet, sker via en abonnementsordning. Fælles for alle systemer er, at de bedst kan anvendes via en Ipad eller tilsvarende enhed. Dette kan gøres både online og off-line.

Særlige kendetegn ved elbiler

Elbiler ligner ofte til forveksling, en almindelig benzin- eller dieseldrevet bil. En række elbiler har særlige kendetegn ved køretøjet, hvilket henleder opmærksomheden på muligheden for disse betegnelser;

- EV, BEV eller ZEV for elbiler samt PHEV eller HEV for hybridbiler
- Nogle bilmærker, f.eks. Tesla, kan genkendes via logo eller navn, f.eks. teksten: Zero Emission, Electric, driveE eller bogstavet e eller E.



Kendemærke for visse Peugeot elbiler

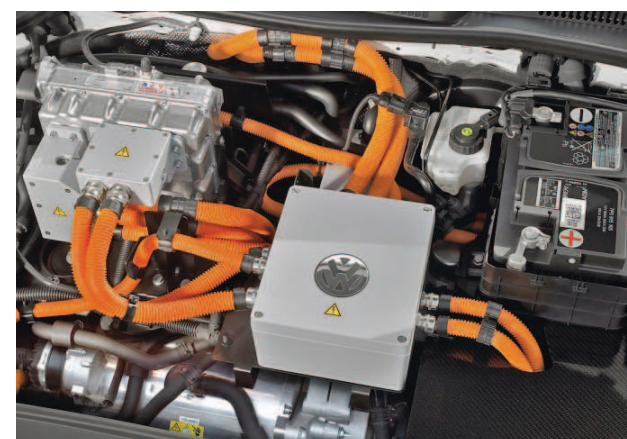
Tilstedeværelse af ladestik (evt. bag tankdæksel), indikator med lade-tilstand i instrumentbrættet, manglende motorstøj, manglende udstødning og manglende kølegitter.

Dette gør sig dog ikke gældende for hybridbiler, idet de både har en forbrændingsmotor og en elmotor.



Ladning af elbil ved brug af køretøjets nøgle

Højspændingsledninger er orangefarvet, og der vil normalt være placeret advarselsskilte på steder i bilen, hvor der kan være risiko for at komme i kontakt med høje spændinger fra batteriet.



Orange ledninger med høj spænding i "Motorrum"



Orange ledninger med høj spænding ved A-stolpe ved højre forhjul



Advarselsskilte med høj spænding i motorrum.

Opbygning af elbiler

Opbygning af forskellige typer af elbiler

En elbil benævnes ofte med en forkortelse, som fremgår af nedenstående skema.

EV	Electric Vehicle
PEV	Plug-in Electric Vehicle
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
HEV	Hybrid Electric Vehicle
BEV	Battery Electric Vehicle
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
ZEV	Zero Emission Vehicle
MHEV	MILD Hybrid Electric Vehicle

De tre mest gængse former for elbiler, er beskrevet i det følgende afsnit

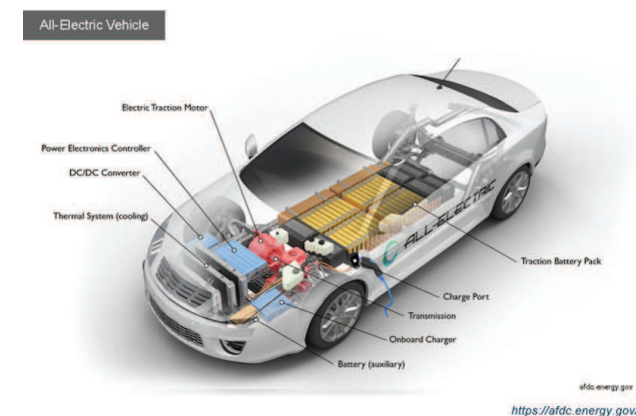
EV

En Electric Vehicle, forkortet EV, er kendetegnet ved at være udstyret med en eller flere elmotorer og et stort batteri, som kan lades op udefra via et ladestik eller gennem trådløs induktionsopladning. Der kan også ske en opladning af batteriet via regenerativ bremsning – dvs. at bilen genindvinder den energi, der ellers normalt ville gå tabt, når bilen bremses.

I forhold til en konventionel benzin- eller dieseldrevet bil er en moderne elbil generelt konstrueret med udgangspunkt i en central og lavt placeret batteripakke i bilens bund. Elbilens motorer er ofte placeret direkte ved hjulene, hvilket gør den traditionelle transmission overflødig.

De elbiler som findes på markedet i dag har generelt en kortere rækkevidde end en tilsvarende konventionel benzin- eller dieseldrevet bil. Rækkevidden afhænger hovedsageligt af størrelsen på den indbyggede batteripakke, samt faktorer som temperaturforhold og bilens hastighed.

Da elbilen ikke har en forbrændingsmotor, tages der i risikovurderingen højde for den større dimensionering af batteriet, de strømførende dele samt det supplerende 12V batteri.



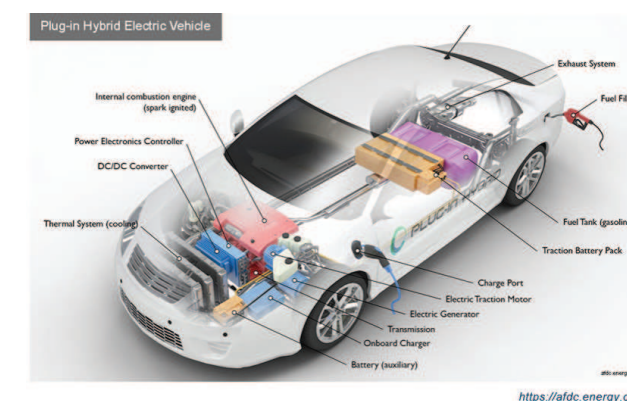
Princip opbygningen af EV

PHEV

En Plug-In Hybrid Electric Vehicle, forkortet PHEV, er kendetegnet ved at være udstyret med en forbrændingsmotor, en elmotor og et større batteri, som kan lades op udefra via et ladestik eller gennem trådløs induktionsopladning.

Opbygningen af en plug-in hybridbil er en blanding af en konventionel benzin- eller dieseldrevet og en elbil.

Elmotoren er beregnet til at kunne være bilens eneste drivmiddel i de fleste kørselsituationer. Som i andre typer elbiler kan batteriet oplades ved regenerativ bremsning. Pga. dimensioneringen af batterierne har de typisk en begrænset elektrisk rækkevidde, og ved en kørselshastighed på motorvej med 130 km/t vil den konventionelle forbrændingsmotor oftest fungere som drivmiddel. Dog må det forventes, at batteriet og de tilhørende strømførende kabler er "aktiveret"



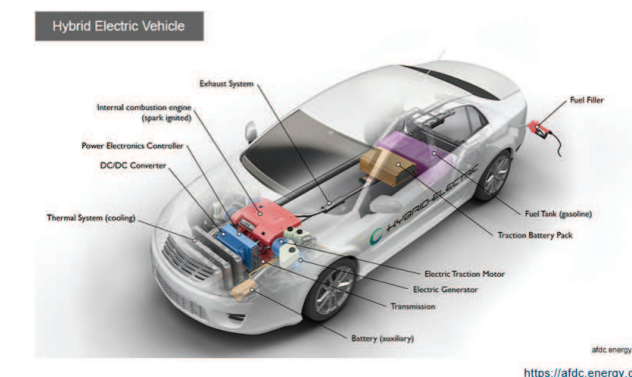
Princip opbygningen af PEV

Den mekaniske opbygning med to separate motor- og transmissionssystemer gør en plug-in hybridbil tungere og mere teknisk kompliceret end en konventionel benzin- eller dieseldrevet bil, hvilket der skal tages højde for i risikovurderingen, udover risikoen ved batteriet og de strømførende dele.

HEV

En Hybrid Electric Vehicle, forkortet HEV, kendetegnet ved at være udstyret med en forbrændingsmotor, en elmotor og et mindre batteri, som ikke kan oplades udefra via et ladestik. Opbygningen af en hybridbil er i store træk den samme som en konventionel bil med forbrændingsmotor. Hybridbilen er dog udstyret med en mindre elmotor, som er dimensioneret til primært at blive brugt som hjælpemotor, f.eks. ved lave hastigheder som bykørsel.

I en hybridbil bliver elmotoren drevet af energi fra et batteri, som bliver ladet op via regenerativ bremsning. Hybridbilen bliver ikke tilført anden energi end det fossile brændstof (benzin eller diesel), som bliver fyldt i tanken.



Princip opbygningen af HEV

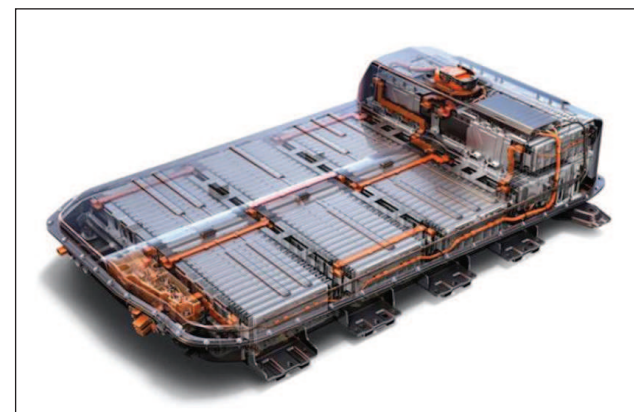
Batteriet har ofte en forholdsvis lav kapacitet, og det kan derfor kun levere strøm til elmotoren i en begrænset periode. Bilens forskellige motorsæt er i tråd med plugin hybridbilen, vigtige at have med i risikovurderingen.

Opbygningen af et litium-ion batteri

Li-ion batterier kendetegnes ved at være kompakte, lette batterier, der kan holde til mange afladninger og genopladningscyklus, samt har en stor opladningskapacitet.

Li-ion batterier er som udgangspunkt sikre, såfremt de er originale og bruges med det udstyr de er solgt sammen med eller godkendt til.

Et li-ion batteri fungerer ved, at der overføres en elektrisk ladning (ioner) fra en litium metal katode (afgang af strøm) gennem en elektrolyt bestående af et organisk opløsningsmiddel indeholdende litiumsalte over til en carbon anode (tilgang af strøm).



Opbygning af batterier i flere lag, integreret i karosseriet.

Batteriet indeholder normalt flere metalspøler med brændbar væske hvor i der er opløst et litium-salt.



Batteri opbygget i rækker. Tragten til luftkølingen af batteriet fremgår tydeligt nederst til højre.

Hvis et fragment punkterer den tynde skillevæg/membran, som holder komponenterne i batteriet adskilt, eller batteriet på anden vis punkteres, f.eks. ved penetrering, vil det kunne medføre en kortslutning.

I så fald kan det stærkt reaktive litium reagere med f.eks. vand i luften, hvilket kan medføre en høj varmeudvikling, da batteriet er under tryk. Påvirkningen af batteriet kan være så stor, at det udvikler en kraftig brand i batteriet.



Batteri til integrering i kabinen mellem sæder.

'Thermal runaway' er betegnelsen for en temperaturstigning i batteriet, hvor varmen i de interne komponenter medfører et tryk i batteriet, som igangsætter en proces med acceleration af øget temperatur og frigivelse af yderligere energi.

Processen kan 'føde' sig selv uden tilføring af ilt udefra, og er herudover exoterm. Dette kan give voldsomme temperaturstigninger på op til ca. 1.000°.



QR kode til video om thermal runaway

En hurtig brandudvikling i et li-ion batteri skyldes som regel de gasser, som batteriet udleder under enten indre eller ydre varmepåvirkning. Når gasserne når en bestemt koncentration ved en bestemt temperatur, vil de antænde.



QR kode til video med hændelse med thermal runaway

Ladning og ladestandere

Ladere

Elbiler oplades overodnet på tre forskellige måder med strøm fra el-nettet. Herudover fungerer nogle typer af elbil med et skift af batteriet. Normalladning gennemføres med én fase, 10-13 ampere og fungerer ved at tilslutte stikket i stikkontakten. Opladningstiden er typisk fire til otte timer afhængig af batterikapacitet og batteriets ladestand.

Hurtigladning gennemføres med tre faser, 16-63 ampere.

Varigheden af opladningen varer mellem en halv og tre timer, afhængig af batteriets størrelse og batteriets ladestand.

Lynladning er jævnspænding med 200-400 ampere.

Teknologien i dag giver dog ikke mulighed for at lade et batteri til fuld kapacitet ved brug af lynladning. En lynladning tager få minutter.

Batteriskiftestation er en lagerkapacitet med batterier. Disse er dog sjældent forekomne. Fælles for alle typer elbiler er, at de er udstyret med motor- og transmissionssystemer med spænding samt et 12V batteri, som anvendes konventionelle brandstofdrevne biler.

Ladestik

Der findes fem forskellige former for ladestik til opladning af elbiler.

I Danmark anvendes primært Combo, CHAdeMO og Type-2 stikket. Afhængigt af fabrikat, findes der en låseanordning, der holder ladestikket på plads under ledningen.

Der findes ingen overordnet standard for området, der beskriver hvilken form et ladestik skal have. Det er alene producenten i forhold til batterikapaciteten for det enkelte elbils batteri, der beslutter sig for hvilket type ladestik, der anvendes.

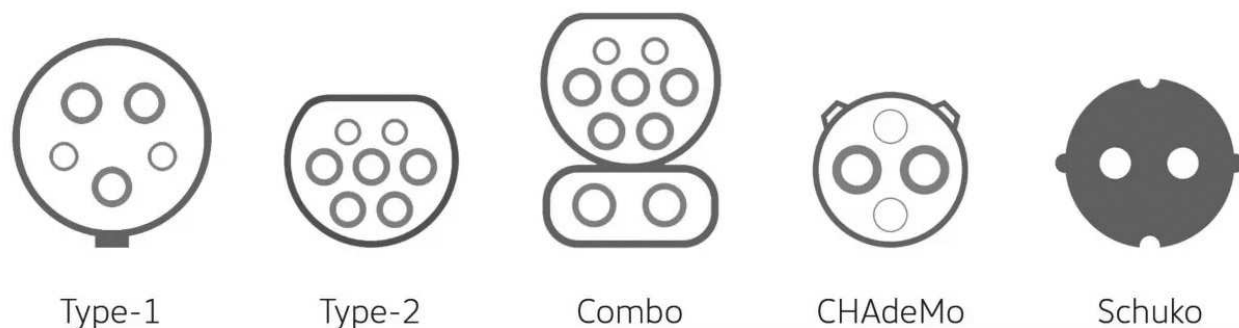
Ladere, ladestik og brand

Hvis en elbil står til ladning, og der udbryder brand, skal redningsmandskabet som det første sørge for, at frakoble køretøjets ladestik eller sikre, at spændingen til ladestanderen afbrydes – hvis muligt.

Hvis det er elbilen, der er i brand, er det tilstrækkeligt med at fjerne ladestikket. Ladestanderen vil derefter automatisk holde op med at lade, i det øjeblik ladestikket er fjernet fra elbilen.

Hvis dette ikke er muligt, findes der på visse typer af ladestandere et nødstop, der vil kunne aktiveres.

Hvis det er selve ladestanderen der er i brand, mens den er ved at oplade en elbil, skal ladestanderen i stedet frakobles ved dennes hovedafbryder.



De fem typer af ladestik, producenterne anvender i el- og hybridbiler

Sikkerhed

Generelt

Batterier i en elbil har høj elektrisk jævnspænding og indeholder væsentligt større energimængde end almindelige startbatterier i bil med brændstofmotor.

Hvis elbilen står til opladning kan der potentielt være en risiko for at få stød via slukningsvandet, såfremt batteri eller kabler er beskadigede. Grundet redningsberedskabets responstid vil der ofte være tale om en fremskreden brand, hvilket kan gøre det vanskeligt at vurdere brandårsagen. Identifikation af om det er en brand i selve bilen eller en brand i batteriet bør dog ske så tidligt som muligt. Det er vigtigt at være opmærksom på, at et umiddelbart simpelt brandforløb i en el-bil hurtigt kan ændre sig, såfremt den når at omfatte batteriet.

Sikkerhed

Li-ion batterier varierer i størrelse, spænding og kapacitet, men ligger typisk med en spænding fra 400 til 1.000 Volt. Højspændingsbatterier baseret på li-ion teknologi har energien lagret ved hjælp af kemikalier.

Forsøg har vist, at li-ion batterier i sig selv ikke er mere brandfarlige end andre batterier, såfremt batterierne ikke er beskadigede eller oplades med godkendt udstyr. Risikoen for skader på batteriet som slag, stød og penetrering af batteriets membraner samt overophedning af batteriet kan medføre voldsomme brande.

Typiske årsag til brand i elbil

Årsagerne til en brand i en elbils li-ion batteri kan overordnet opdeles i tre typer af forhold.

- Overophedning, hvor batteriet påvirkes udefra med en indirekte varmepåvirkning af batteriet, f.eks. ved ildspåsætelse af elbil eller brand i en bygning, hvor en elbil er parkeret.

- Elektrisk kortslutning, hvor der sker en intern fejl i batteriets celler, f.eks. pga. en overopladning.
- Mekanisk deformation, hvor f.eks. et voldsomt færdselsuheld påfører batteriet en defekt, som giver en kortslutning med brand til følge samt udledning af giftige gasser m.v.

Processen kan 'føde' sig selv uden tilføring af ilt udefra, og er herudover exoterm. Dette kan give voldsomme temperaturstigning på op til ca. 1.000°.

Et brandforløb ved brand i et elbils-batteri, udvikler sig hurtigt. Oftest er der mislyde fra batteriet. Dernæst udvikler batteriet røg, for til sidst at brande med små jetflammer samtidigt med små eksplosionsagtige udladninger, i takt med eksplosioner.

Såfremt der ikke iværksættes effektiv køling af det overophedede batteri, vil batteribranden fortsætte indtil der ikke er mere brandbart materiale til stede. Denne proces vare typisk fra 2 timer og op til et døgn.

Slukningsforsøg med kvælende slukningsmidler har vist sig ineffektive og forgæves, da li-ion batterier brænder ved en selv-oxiderende proces.

Særlige opmærksomhedspunkter!

Der er fire sikkerhedsmæssige forhold ved brandforløbet i elbiler, som indsatsmandskabet skal være opmærksom på:

- **Gasser/dampe/røg**
Nogle af kemikalierne i et li-ion batteri (ofte flygtige organiske opløsningsmidler) kan ved lækage udvikle antændelige dampe med et lavt flammepunkt.

Der kan udvikles hydrogenfluorid (HF) gas. HF er ikke brandfarlig, men er en meget giftig og farveløs gas med stikkende lugt. Gassen er let opløselig i vand og kan ende i slukningsvandet som flussyre.

- **Thermal runaway**

Ved høj temperaturpåvirkning kan li-ion batteriet indtræde i en kritisk tilstand, der starter en intern selvforstærkende dekompositionsproces (thermal runaway), som ender med, at hver battericelle opvarmes kraftigt indefra, når den lagrede kemiske energi udløses.

Thermal runaway kan udelukkende bremses ved køling af batteriets celler, som besværliggøres ved at batterierne, af sikkerhedsmæssige årsager, er pakket godt ind i beskyttende foranstaltninger og placeret sikre eller skjulte steder i bilen.

Der kan være risiko for tryksprængning af en lukket batterikasse uanset batteritype³.

- **Genantændelse af batteriet**

Af hensyn til mandskabets sikkerhed ved uheld med et li-ion batteri, skal den tekniske leder være opmærksom på, at en brand kan opstå spontant i batteriet grundet defekter.

Dette også selv om der forinden ingen identifikationer har været på, at en brand er under udvikling. Disse forhold, kan indtræffe op til flere timer, dage og uger, efter hændelsen er sket

- **Strandet energi**

Der kan være strandet energi tilbage i de battericeller, der ikke har været brand i eller på anden måde er påvir-

kede. Disse udgør en stor risiko for indsatsmandskabet, når elbilen håndteres under eller efter indsatsen. Strandet energi kan ikke "tappes" af en elbil.

Forsøg med thermal runaway

I 2016 blev der gennemført to fuldskalaforsøg med elbiler og brand i Norge⁴. RISE har udarbejdet en forsøgsrapport, som fremgår af nedenstående.

Forskningsrapporten indeholder bl.a. en beskrivelse af brandforløbet, herunder temperaturudvikling m.v.

Rapporten med en uddybende beskrivelse af testresultaterne kan findes i nedenstående QR kode.



Det første forsøg der er beskrevet i forsøgsrapporten, beskriver en thermal runaway, udløst pba. af en bagfra kollision af elbilen. Hastigheden svarer til påkørsel med 70 km/t.

I nedenstående QR kode – der viser forsøg 1, ses de typiske faser i et brandforløb med thermal runaway, udløst af et trafikuheld.



Den amerikanske National Transportation Safety Board (NTSB), har udgivet en undersøgelsesrapport med baggrund i tre ulykker med elbiler, der efterfølgende har afstedkommet redningsberedskabets indsats.

Rapportens konklusioner beskriver samme form for modus, ved ulykker med elbiler, der medfører thermal runaway.

I nedenstående QR kode forklarer NTSB om hændelserne og hvad man særligt skal være opmærksom på if. med indsatsen.



Link til selve NTSB rapporten fremgår af klippet.

³ Industriens Branchearbejdsmiljøråd, 2016, El- og hybridbiler. Sikkerhed ved reparation og vedligehold

⁴ SP Fire Research A/S, 20/02 2017, A17 20096:03-01

Indsatstaktik

Indsatstaktik

Ved risiko for eller konstateret brand/thermal runaway i en elbil, er der to former for indsatser, der kan anvendes. Hvilken metode der anvendes, vil være situationsbestemt.

- Brand i elbils-batteri med offensiv tilgang. Direkte slukning og køling af batteri
- Brand i elbils-batteri med defensiv tilgang. Lade elbilen udbrænde eller placere i elbilscontainer eller tilsvarende med køling

Ud over ovenstående vil der kunne gennemføres kombinationsindsatser, hvor der først anvendes en offensiv tilgang og siden hen defensiv tilgang, f.eks. ved brand i elbil i en bygning.

Opbygning af skadestedet og fareområde
Det er vigtigt, at den tekniske leder sikrer sig, at fareområdet er stor nok, således at indsatspersonale, der ikke har anlagt fuld åndedrætsbeskyttelse, ikke eksponeres for brandrøgen.

Det samme gælder for placering af materiel og køretøjer, uanset om bilen er placeret i det fri eller i en bygning.

Ved brand i elbil-batteri er der altid en række forhold som den tekniske leder - tidligt i indsatsforløbet, skal træffe beslutninger om:

- Behov for supplerende mandskab, idet indsatsen kan risikere at blive langvarig
- Fast eller kontinuerlig vandforsyning
- Logistik omkring branddragter, tryklufapparater m.v.

Ydermere skal den tekniske leder være opmærksomhed på risikoen for, at indsatsen udvikler sig, idet brandrøgen fra et elbils-batteri kan skabe store mængder HF-gas.

Disse elementer skal den tekniske leder have med i sine overvejelser, når den indre afspærring skal etableres og opbygningen af skadestedet med dets faciliteter skal placeres.

Forholdsregler ved brand i el-køretøj

Fælles for begge indsatsmetoder er, at der ved langt størstedelen af indsatserne, ikke umiddelbart er fare for, at mandskabet får elektrisk stød fra køretøjets højspændingssystem. Batteriet og de elektriske komponenter er et lukket system, som fungerer uafhængigt og er adskilt fra køretøjets øvrige konstruktion. Det er af væsentlig betydning, at hovedafbryderen i elbilen afbrydes, hvis dette ikke er sket automatisk.

Der opstår først en risiko for elektrisk stød, hvis der er sket en skade på de elektriske højspændingskomponenter eller der er opstået en brand i batteriet.

For at minimere risikoen for skader på personel og udstyr er det vigtigt, at det indsatte personale løbende vurderer situationen i forhold til en skadesudvikling samt de aktuelle risici.

Hovedafbryderen

Ved brand i en elbil er det væsentligt for indsatspersonalet at få afbrudt elbilens hovedafbryder og dermed få gjort hele elbilens højspændingssystem spændingsløs. Hovedafbryderen er placeret forskelligt, alt efter køretøjets mærke/model.



Placering af hovedafbryder i "motorrum"

Har en elbil været involveret i et trafikuheld og den efterfølgende er brudt i brand, vil hovedafbryderen med meget stor sandsynlighed være aktiveret. Det betyder, at der ikke vil være højspænding i elbilen, undtagen i selve elbil-batteriet.

Elbiler har typisk et eller flere 12 volts batterier, som skal afbrydes på vanlig vis. Der vil fortsat være spænding på 12 volts-delen, indtil en af batteripolerne er demonteret.



Ekstra mulighed for beredskabet til at sikre afbrydelse af spænding fra batteriet til motor i en ældre Tesla.

Der er en række indikatorer, der pr. definition indikere, at hovedafbryderen kan være aktiveret i forbindelse med et trafikuheld:

- Alle former for højenergiulykke
- Udløste airbags
- Bagfra kollision
- Frontal kollision
- Sidekollision
- Udløste selestrammer

Offensiv indsats ved brand i elbiler Før indsats

Hvis der er sket skader på elbilens batteri og spændingskabler med høj spænding er blevet blotlagte, vil der være en mindre risiko for, at der kan være høj spænding i elbilens karosseri.

Derfor er det vigtigt, at indsatspersonalet tager de fornødne forholdsregler. Ud over anvendelse af indsatsdragt og røgdykkerapparat, skal indsatspersonalet anvende handsker, der godkendt op til 1.000 V. Ydermere skal de stå på en isolerende måtte, under anvendelsen af spændingsviser, for at kunne foretage en måling uden risiko for dem selv.

Målingen skal foretages på et emne, der har mulighed for at være strømførende. Ved brand i et elbil-batteri, hvor hovedafbryderen ikke er aktiveret, er der en minimal risiko for at elbilen kører ved egen drift - hvis den står i gear. For at undgå dette, er det vigtigt, at elbilen sik-res. Elbiler har et stort moment, hvilket betyder, at sikringen skal være effektiv.

I processen med at sikre bilen, er det vigtigt, at der er fokus på personsikkerheden for indsatspersonalet og eventuelle tilskuere. Tændingsnøglen bør i denne situation opbevares mindst 10 m væk fra køretøjet.

Hvis hovedafbryderen er aktiveret, vil elbilen ikke selv kunne starte og køre. Såfremt elbilens 12 V batteri ikke er frakoblet, vil tændingsnøglen kunne opbevares tættere på end de 10 m eksempelvis for betjening af elbilens elruder, låsesystem m.v.

Ved de fleste typer af elbiler, er der ved hvert hjul, placeret kondensatorer. Disse har en hjælpefunktion ved igangsættelse og opbremsning og genererer strøm i den forbindelse. Denne strøm er afladet cirka 5 min. efter aktiveringen af hovedafbryderen.

Under indsats

Ved brand i elbiler skal der anvendes fuld åndedrætsbeskyttelse inden for sikkerhedsafstanden.

I de tilfælde hvor elbilen brænder i det fri, skal røgdykkerne indsættes med vinden i ryggen og i kortest mulig tid.

Røgdykkerne må ikke komme i kontakt med elektriske komponenter. Hvis dette ikke kan undgås, skal der anvendes godkendt beskyttelsesudstyr.

Hvis elbilen står til opladning og det ikke er muligt at afbryde for opladning, skal der være en sikkerhedsafstand på min. 5 m ved brug af samlet stråle og 1 m ved brug af spredt stråle. Dette gør sig også gældende ved brand i selve batteriet.

Disse afstande forudsætter, at der anvendes strålerør, der kan imødekomme denne sikkerhedsafstand.

Adgang til batteriet

For at skabe adgang til elbilens væsentlige komponenter, er det vigtigt, at der ikke skæres hul i motorhjelmene eller klippes i bilens vanger, da man risikerer at ramme komponenter med høj spænding, såfremt at hovedafbryderen ikke er aktiveret.

Køling eller slukning af en elbils batteri, kan være vanskelig, grundet placering af batteriet.

Afhængig af bilmærke, kan batteriet være placeret forskellige steder i køretøjet. Visse bilmodeller, har batterierne placeret det samme

sted, uanset model, hvorimod andre bilmærker, har placeret batteriet forskellige steder.

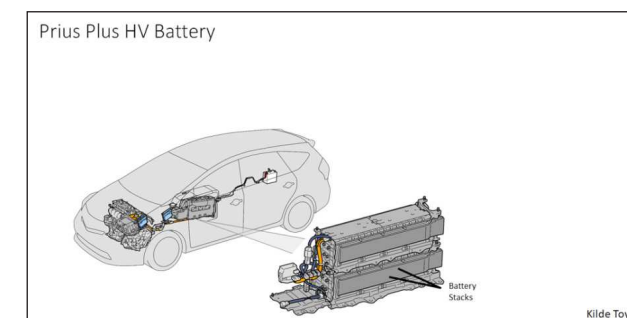


Batteriramme, der udgør hele undervognen på en Tesla Model S

Batteriet kan være placeret i bunden af bilen, bagagerummet, under kølerhjelmene inde midt i bilen eller mellem forsæderne. Dette har den betydning for slukningsindsatsen, at det kan være problematisk at køle eller slukke batteriet.

Placeringen af batteriet er vigtig at få fastlagt så tidligt som muligt, da det, har betydning for, hvilken indsatsmetode (teknik og taktik), som indsatsmandskabet skal anvende under indsatsen.

Overvågning og køling af batteriet Hvis Lili-ion batteriets kritiske temperatur overskrides (90 – 250C afhængig af type), vil der kunne indtræffe thermal runaway, der som kan ender med at det batteriet enten brænder eller tryksprænger. Derfor skal en evt. temperaturudvikling i enten batteriet eller bilbranden overvåges, hvilket med fordel kan ske Hvis det er muligt, skal en evt. temperaturudvikling overvåges med termisk kamera, hvis det er muligt. Køling og slukning, bør ske fra min. 45 graders vinkel, i forhold til køretøjets længderetning.



Batteri der er placeret i konsollen mellem de to forsæder i en Toyota Prius

Dette bør ske med 2 stk. C-tågestrålerør, med en samlet vandydelse op til 400 l/m⁵.

Hvis det er muligt, kan elbilen løftes i den ene side eller opklodses, for at opnå en bedre køling af batteriet, hvis det er placeret under bilen. Hvis der opnås en optimal køling af batteriet, vil der antageligt kunne anvendes mindre mængder vand.

Indsats ved elbiler i brand, i hele og delvist lukkede rum

Ved brand i elbiler i lukkede eller delvist lukkede rum f.eks. P-kældre, afhænger indsatsen af, hvorvidt batteriet er i brand og om der er personer i fare.

Hvis der er personer i fare, skal der anvendes en offensiv indsats.

Såfremt det alene er batteriet, der er i brand, er et særligt opmærksomhedspunkt brandrøgen, idet den indeholder en stor koncentration af sundhedsskadelige stoffer.

Den tekniske leder skal derfor vurdere på, om der skal gennemføres en relativ ressourcetung offensiv indsats, med de risici dette indebærer i forhold til røgspredning, store mængder vand på gulvet, kort indsatsstid for røgdykkerne m.v., eller om det er muligt at fjerne elbilen fra bygningen.

Dette kræver dog anvendelse af specialmateriel, for at denne form for indsats kan lade sig gøre.

Når elbilen er uden for bygningen, skal der på ny vurderes på, om der skal anvendes offensiv eller defensiv indsats taktik.



Batterier integreret under sæder i kabinen.



Batteri, placeret i bagagerummet. De to blæsere til køling af batteriet fremgår tydeligt



QR kode til video med med "Thermal runaway" i parkeringshus

Efter indsats

Efter at branden er slukket, skal mandskabet foretage løbende foretage en vurdering af en potentiel temperaturudvikling i batteriet, f.eks. i form af temperaturmålinger eller for at overvåge udvikling af røg, dampe eller mislyde, som kan være tegn på en evt. temperaturændring i batteriet.

Batteriet kan, på grund af den proces det har været igennem, generere varme og derved overskride den kritiske temperatur længe efter, at branden er slukket, og bilen synes afkølet.

Det kan normalt vare op til 24 timer efter antændelse, men der er set enkelte tilfælde, hvor der sker en antændelse af batteriet dage og uger efter den første antændelse.

Defensiv indsats ved brand i elbiler Indsats ved elbiler i brand i det fri

Ved brand i en elbil, skal der hurtigt træffes en beslutning om, hvorvidt branden i elbilen skal slukkes eller have lov til at brænde ud. Det beror på en vurdering i den konkrete situation.

Står elbilen eksempelvis og generer kritisk infrastruktur, vil det give god mening at gennemføre en hurtig og offensiv slukning og med efterfølgende køling, mens der foregår borttransport af elbilen fra skadestedet til et nyt skadested, hvor indsatsen ikke generer trafikken.

Det samme kunne gøre sig gældende i et tæt bebygget område, hvor røgen vil udgøre en fare for mennesker, såfremt at elbilen ikke flyttes. Til dette formål, bør der anvendes en slukningscontainer eller tilsvarende, således at elbilens batteri køles under transporten.

Står elbilen derimod på et ugeneret sted, kan indsatsen være, at lade elbilen udbrænde, under hensynstagen til den følgefurening der vil være, ved at slukke bilen på det pågældende sted.

Konstateres der en temperaturstigning i batteriet, må det antages, at der er startet en thermal runaway, , som skal håndteres på ny.

Særlige forhold ved elbiler i vand

Elbiler, der er under vand⁶, skal personer som udgangspunkt ikke være i forbindelse med, med mindre det kan gennemføres på en sikker og forsvarlig måde.

Hvis det er muligt, skal man forsøge at slukke for tændingen, så elbilen "Lukker ned", mens den er i vandet.

En elbil, som ikke har været involveret i et uheld eller på anden måde har fået ødelagt batteriet, udgør som udgangspunkt ikke en større risiko end andre elbiler, når den er fjernet fra vandet.

Mens elbilen er under vand, vil batteriet kunne afgive micro bobler, der vil kunne ses omkring elbilen. Disse kan indeholde CO og afhængig af koncentrationen, kan de udgøre en risiko for indsatspersonalet.

Når elbilen er bjærget, skal den håndteres på samme måde, som en indsats ved elbil på fast underlag.

I denne proces er der en risiko for, at der bliver frigivet CO og HCL dampe. Det samme gør sig også gældende, hvis batteriet er beskadiget inden elbilen er kørt i vandet.

Brand i elbil, hvor der ikke er brand i batteriet I langt de fleste tilfælde, når der er brand i en elbil, er det selve elbilen der brænder og ikke batteriet. Denne form for bilbrand, skal derfor betragtes som en "almindelig bilbrand" og håndteres som en sådan.

Det er dog væsentligt, at indsatsmandskabet er opmærksom på den eventuelle varmepåvirkning, som denne brand har på batteriet. Det må derfor påregnes vil være en længere indsatsstid ved disse bilbrände end ved konventionelle bilbrände, såfremt batteriet er varmepåvirket.

Arbejde med høj spænding

En indsats til et uheld med et el-køretøj medfører særlige risici i forhold til en normal indsats til brand i en bil eller en frigørelsesopgave. Som baggrundsviden gennemgås relevante forhold nedenfor.

Værktøj

Ifølge IEC 61140:2016 (International Electrotechnical Commission) ligger niveauet for højspænding over 1500 V jævnspænding (D.C.). Når spændingsniveauet er mindre end eller lig med 1500 V d.c., er der ifølge IEC ikke tale om høj-spænding men lavspænding.

For vekselstrøm ligger niveauet for højspænding over 1000 V A.C. Dette betyder, at der i teknisk forstand ikke er tale om højspænding i bilens elektriske system.

⁶ NFPA Bulletin, september 2017

Når udtrykket "høj spænding" bruges i denne vejledning, skal det ses i relation til den spænding, som normalt findes i biler med forbrændingsmotorer, dvs. de normale 12 volts systemer.

I elbiler anvendes der skiltning som advarer mandskabet mod faren for elektrisk stød. Denne skiltning er normalt synlig alle de steder i bilen, hvor der er fare for at komme i kontakt med høj spænding. Det skal dog i denne sammenhæng tages i betragtning, at skiltene er små og kan være svære at se, pga. f.eks. røg, sod eller dårlig belysning.



Elfareskilt der advarer mod elektriske høje spændinger.



Et eksempel på et sæt isoleret værktøj til venstre med kraftige gummihandsker og beskyttelseskærm til højre

Teknologisk Institut anbefaler, at hvis kontakt eller arbejde med de elektriske komponenter i situationen vurderes nødvendigt, så skal mandskabet bruge isoleret værktøj, der er godkendt til spændinger på op til 1000 volt, samt anvende personlige værnemidler.

Strandet energi



Ved brand i Tesla under opladning den 1. januar 2016 i Brokelandsheia - Norge, udbrød der brand i elbilens batteri. Branden varede 23 timer og hele bilen endte med at være helt udbrændt. Efter slukningsindsatsen var overstået, var der fortsat 400 V. højspænding i ca. ¼ af batteriet.



Værktøjer til anvendelse ved slukningsindsatsen

Vandforsyning til køling og slukning

Ved brand eller temperaturstigning i batteripakken, skal der foretages en effektiv køling af denne.

Det skal ske med rigelige mængder vand, ca. 400 l/m, og det er derfor vigtigt, at der sikres en stabil vandforsyning fra starten af indsatsen.

Med udgangspunkt af 112-meldingen bør der derfor sammensættes en førstegydkning, der afspejler det forventede vandforbrug.

Ved køling og slukning af et batteri, bør det sikres, at der anvendes et strålerør, der er beregnet til slukning af brande i el med den pågældende spænding.

Anvendelse af termisk kamera

Termisk kamera kan benyttes til kontrol af, om et batteri er temperaturpåvirket samt til at monitorere effekten af køling.

Hvis batteriet sidder i bunden af køretøjet, vil bilen med fordel kunne hæves for en mere effektiv køling samt for bedre at kunne måle temperaturen på batteriet.

Man skal dog være opmærksom på evt. beskyttelseskappe eller beklædning af batteriet, da det kan betyde væsentlige fejlmålinger.

Anvendelse af overtryksventilator

Overtryksventilatorer kan anvendes til flere formål. Udendørs kan den bruges til at bortventilere røgen fra et område, som ønskes beskyttet og derved "styre" røgen i en bestemt retning. Da ventilatorerne har forskellige og begrænsede kapaciteter, vil effekten være meget afhængig af den naturlige ventilation på stedet.

Indendørs, som eksempelvis i P-kældre, kan overtryksventilatorerne anvendes til at bort-

ventilere røg og derved forbedre arbejdsmiljøet, sigtbarheden og skader på omgivelser. Da fremrykningshastigheden desuden, i høj grad, afhænger af sigten, kan en effektiv røgventilering sikre en mere effektiv indsats.

Bemærk at tryksætning af blandt andet P-kældre ofte kan medføre røgspredning til trapper, og udgangsveje, hvorfor undertryk ved at suge røgen ofte kan være at foretrække.

Der findes en række specialfremstillede ventilatorer, som har en øget effekt sammenlignet med traditionelle ventilatorer. Et eksempel er LUF60, som har en max. ventileringseffekt på 90 m³/min.

Fjernelse af bil fra f.eks. parkeringskælder

Det bør, som en del af indsatsen, overvejes, om det er hensigtsmæssigt, at fjerne en - eller flere biler, enten forebyggende, for at forhindre at den antændes, eller som et direkte tiltag for at fjerne en brændende bil.

I begge tilfælde bør beslutningen om hvem der skal forestå opgaven baseres på grundige overvejelser om, hvorvidt fjernelsen kan medføre risiko for udførende personale og dermed om opgaven bør løses af andre end redningsberedskabet. Såfremt dette er tilfældet, har en række firmaer, som forestår autohjælp, løsninger som blandt andet kan anvendes i P-kældre.

Vurderes opgaven at skulle løses af redningsberedskabet, bør opgaven planlægges og koordineres under hensyntagen til eventuelt øvrigt indsat personale og kan eventuelt foretages ved anvendelse af "rulleskøjter" under hvert af bilens hjul. Er der tale om længere afstande eller kørsel op- eller ned ad ramper eller hældninger, kan trækkende køretøjer eventuelt anvendes. Et eksempel på trækkende køretøj er LUF60.



Anvendelse af LUF 60, til henholdsvis ventilering og bugsering af elbil fra P-hus eller P-kælder

Anvendelse af slukningscontainer til elbiler

Anvendelse af en brandslukningscontainer er et effektivt middel for køling af et batteri. Containeren er indrettet som et tætsluttende kar, hvor dyser i bunden og i siderne vil kunne skabe en effektiv køling af et batteri. Elbilen kan enten læsses med en kran eller trækkes ind fra bagenden af containeren med et spil.



Nedsænkning af elbil i Beredskab Øst 'elbilscontainer'

Under transport til oplagsplads m.v. vil der kunne ske en kontinuerlig køling af batteriet.

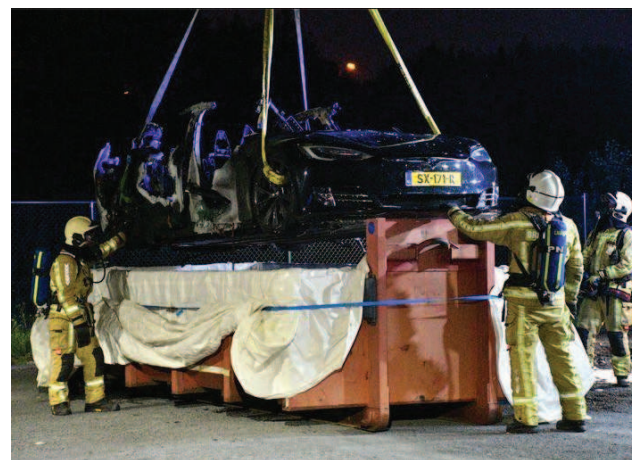
Når indsatsen er tilendebragt og elbilen udtaget af brandslukningscontaineren, skal kølevandet fra containeren, behandles på forsvarlig vis.

Nedsænkning i container med vand

Hvis ikke det er muligt at anvende en brandslukningscontainer, vil et alternativt hertil være en mere lavpraktisk løsning - en almindelig container med tætsluttende bund og siderforret med en armeret presenning.

Hvis denne løsning vælges, vil elbilen kunne sænkes ned i containeren. Kølingen vil kunne ske ved at fylde containeren op med vand, så batteriet er dækket af vand.

Læsning, borttransport og losning af elbilen i containeren kan være problematisk grundet vandet i containeren. Det vil ligeledes være forbundet med udfordringer at tømme containeren for slukningsvand.



Improviseret køling af elbils batteri i container



Køling af elbils batteri, ved fyldning af container med vand

Måling af farlige gasser

Der findes detektorer til påvisning af HF-gas, dels som armbånd, dels som håndholdte målere.

En HF detektor kan ikke skelne mellem HF-gas og HCl-gas (saltsyre dampe), og en positiv måling kan derfor enten skyldes et ene eller det andet stof - eller begge.

En negativ måling sandsynliggør, at der ikke er HF gas, hvor målingen er foretaget, men kan ikke udelukke HF gas andre steder eller på et andet tidspunkt.

Aktuelt vurderes, at anvendelse af HF detektorer primært vil være som et supplerende hjælpemiddel.

Et armbånd kan derimod skelne mellem de to gasser, men ikke påvise en koncentration.



Måleudstyr til detektering af varme og gasser, herunder HF, anvendt under indsatsøvelse ved brand i elbil

Borttransport af elbil

Flytning af elbil

Hvis elbilen står uhensigtsmæssig og ønskes flyttet, skal man være opmærksom på, om hovedafbryderen er aktiveret. Hvis den ikke er aktiveret, må elbilen kun flyttes, hvis den har monteret "rulleskøjter", idet hjulene, selv ved meget små hastigheder, producerer strøm, der lagres som højspænding i hjulenes kondensatorer.

Hvis hovedafbryderen er aktiveret, er der flere typer af elbiler, der går i nødprogram, hvilket betyder at hjulene ikke kan bevæge sig. Derfor skal der også benytte "rulleskøjter" ved flytning, idet elbilens automatik ellers kan blive ødelagt.



Borttransport af elbil efter at den er helt udbrændt

Hvornår slutter redningsberedskabets indsats

Efter brand i et elbils batteri, hvor temperaturen er normaliseret – afhængig af bilmærke, vil redningsberedskabet under normale omstændigheder kunne afslutte sin indsats.

Det forudsætter dog en observationsperiode på min. 1 time, med konstant temperatur. For de fleste batterier, betegnes temperaturen som normaliseret ved 60 til 80°.

Hvis det er muligt, bør den tekniske leder i samråd med transportøren vurdere på, hvorvidt der er risiko for en temperaturudvikling, mens elbilen borttransporteres fra skadestedet.

Hvis der er en reel risiko, bør redningsberedskabet vælge at følge med elbilen frem til dens slutdestination eller lade den forblive på skadestedet.

Hvis et batteri derimod er helt udbrændt og der ikke er strandet energi i det, er der ingen risiko for genantændelse. I den situation, kan bilen overlades til transportøren uden videre instruktion.

Redningsberedskabets indsats kan derfor afsluttes, når skadestedet er sikret.

Borttransport af elbil efter indsats

Efter at have foretaget en rednings- eller slukningsindsats i en elbil, er det vigtigt, at der gives en relevant instruktion til den transportør, der skal afhente elbilen. Det kan f.eks. være;

- Brand
- Varmeudvikling
- Lyd
- Røg
- Lugte

Transportøren skal gøres opmærksom på, at hvis der indtræffer en brand, skal der ringes 112. Det gør sig også gældende, såfremt der sker væsentlige ændringer.

Elbilens batteri kan, når elbilen bevæger sig og hvis det har været udsat for en penetrering eller deformation, udvikle varme, hvilket kan resultere i thermal runaway, hvis den endnu ikke er indtruffet. Der må derfor ikke komme unødige træk og vrid i elbilen.

Når elbilen skal transporteres bort fra skadestedet, skal det ske på et fejeblad.

Ved slutdestinationen for elbilen, skal den anbringes således, at hvis batteriet eller elbilen bryder i brand, at branden ikke kan brede sig til andre køretøjer, bygninger eller oplag i det fri.



Borttransport af elbil på fejeblad – fastspændt og i vandret position



QR kode til video med terminal Runaway under læsning på fejeblad.

Den tekniske leders udfordringer

Indsatsens udfordringer

Indsætser med brande i batterier afføder en række dilemmaer, der adskiller sig fra indsatsen mod almindelige bilbrande. I særdeleshed er indsatsen anderledes hvis denne foregår i et lukket miljø som f.eks. en P-kælder.

Forhold som stort vandforbrug, lang indsatsstid, giftig brandrøg og vanskelig reetablering vil ofte gøre indsatsen mere ressourcekrævende.

Samtidig bør den tekniske leder overveje hensynet til det omkringværende samfund, som infrastruktur og miljø og risikoen ved en eventuel genantændelse.

Forventet større ressource forbrug

Indsats ved brand i et elbils batteri, kræver generelt flere ressourcer end øvrige former for bilbrande. Der kræves til dels en større vandmængde til køling eller slukning af branden i batteriet – op til 400 l/m.

Er branden i batteriet inde i en bygning, må der ligeledes forventes et væsentlig større antal røgdykkere til indsatsen, idet der er en reel indsatsstid på 10 min.

Risikovurdering i forhold til brandrøg og røgdykning

Ved indsats med brand i elbiler, specielt i lukkede rum, bør røgdykningen udføres i kortest mulig tid. Årsagen til dette er, at normal indsatsbeklædning ikke yder optimal beskyttelse imod sundhedsskadelige stoffer som blandt andet frigives ved brand i li-ion batterier⁷.

Røgen bør betragtes som forurenede med sundhedsskadelige partikler, såfremt li-ion batterier fra elbiler, er omfattet af branden. Vurderingen bør blandt andet indeholde overvejelser om brandrøgens temperatur, koncentrationen af potentielt farlige stoffer (antallet af involverede elbiler/batterier), den samlede indsatsstid for versus antallet af røgdykkerture m.v.

Brandrøgen afføder desuden et behov for hurtigt at udpege et fareområde samt områder, som potentielt kan blive røgpåvirket. Dette gøre med henblik på tidligt at forebygge, at øvrige personer eksponeres for røg.

Det er ikke alle redningsberedskaber, der råder over udstyr til at spore for de gasser i brandrøgen, der frigives ved brand i et elbils batteri. Der bør derfor planlægges for, hvilke kommunale redningsberedskaber, HAZMAT team eller statslige beredskabscenter, der kan assistere med denne sporingsopgave.

Risikovurdering i forhold til røgdykning i store lukkede rum med få udgange

Røgdykning i store lukkede rum, som eksempelvis parkeringskældre medfører risiko for forlænget tilbagetrækningstid, idet afstandene er længere.



Med store rum findes også risikoen for at røgdykkerne ikke har overblik over brandforløbet i hele rummets udstrækning. Det bør overvejes at planlægge røgdykkerindsatsen således, at alt indsat personale har klare og sikre retræteveje og forståelse for eventuelle risici og restriktioner.

Logistik i forhold til afløsning og sanering

Der bør tidligt i indsatsen planlægges for, hvor længe de indsatte røgdykkere må opholde sig i røgen. Dette med henblik på graden af eksponering af sundhedsskadelige stoffer og for at bedømme ressourcebehovet.

Hvis den effektive indsatsstid er på 10 eller 15 min. inden mandskabet skal saneres, stiger forbruget af mandskab hastigt. Erfaringsmæssigt viser det sig, at brande i elbiler kan tage fra få til flere timer at håndtere, hvorfor det er nødvendigt, at supplerende ressourcer bør rekvireres så tidligt i forløbet.

For så vidt angår saneringsprocedurer for mandskab, dets udrustning samt materiel, bør der være fokus på redningsberedskabernes procedurer herfor. Det sidste røgdykkeren fjerner, skal være røgdykkermasken, påmonteret friskluftsforsyning.

Rekvirering af specialmateriel eller specialister for hurtig afhjælpning af hændelsen eller rådgivning, bør ligeledes indtænkes som en del af løsningen. Eksempelvis brandslukningscontainere for transport af elbil til sikker opbevaring, selvkørende ventilator eller gasdetekteringsudstyr.

Bortskaffelse af brandramt elbil og miljø

Som en del af den endelige indsats, bør det sikres, at bortskaffelsen af den eller de brandramte elbiler, ikke medfører risiko for brandspredning til andre bygninger og lignende såfremt batteriet genantænder.

Denne risiko kan håndteres på forskellig vis. Eksempelvis kan det overvejes, om bilen skal placeres på et egnet opmagasineringssted, i behørig afstand fra bygninger og andet brandbart. Såfremt bilen er placeret under tag bør det overvejes at den i alle brandtilfælde flyttes til det fri.

Hvis bilen flyttes bør modtageren oplyses om, at der kan være risiko for genantændelse. Endvidere bør den tekniske leder overveje, hvorvidt bilens forsikringssselskab orienteres via politiet, hvis bilen fjernes fra brandstedet.

Den kommunale miljømyndighed bør tillige inddrages og eventuelt indgå i planlægningen af bortskaffelse af slukningsvand, såfremt dette vurderes særligt forurenede.

Sikring af samfund og indsatstaktik

Da brand i en elbil kan tage lang tid at slukke, bør den tekniske leder vurdere om området omkring bilen bliver påvirket ved en langvarig slukningsindsats i en sådan grad, at en hurtig fjernelse af bilen er af afgørende betydning.

Eksempelvis hvis bilen er placeret på kritisk infrastruktur eller bymæssigt i et område hvor den potentielt meget giftige brandrøg giver et stort fareområde. Dette kan være med til at fastslå, hvorvidt taktikken er en langvarig slukning/kontrol af batteriet eller en omgående fjernelse under forhold som tillader dette.

Den tekniske leder bør endvidere beslutte sig for, hvorvidt der skal anvendes offensiv eller defensiv taktik ved slukning af en brand i elbilens batteri.

⁷ MSB, 2019, Brandskyddsklæders skyddskapacitetmaterialtester med kemikalier som bildas vid bränder och termisk rusning i Li-jon batterier i e-fordon.

Miljø

Kemi

Brand i elbiler med li-ion batterier udvikler brand-røggasser som f.eks. CO₂, CO og NO_x'er.

Studier af afbrænding af elbiler viser, at der afgasser mere HF end ved en normal bilbrand⁸, mens der bør være fokus på CO, hvis elbilen inklusiv batteri "druknes"⁹.

For at anskueliggøre udledningen af røggasser kan der foretages en sammenligning mellem en brand i et li-ion batteri og en brand i plastik, eller en brand i en bil med li-ion batteri og en i en bil med konventionelt brændstof.

Forskellen er, at f.eks. plastikbranden i gennemsnit over tid udleder mere HF end branden i li-ion batteriet, mens branden i li-ion batterierne har "peak" tidspunkter med meget højere mængder HF og f.eks. HCl, når cellerne i batteriet kollapser¹⁰.

*Intervallerne for udledningen af HF og HCl er givet for li-ion batterier med forskellig kemi

- "Peak" tidspunkt, udledning for li-ion batterier:
 - HF: 0-6000 ppm/kg materiale
 - HCl: 0-10.000 ppm/kg materiale
- "Peak" tidspunkt, udledning for en plastik brand:
 - HF: 0-1000 ppm/kg materiale
 - HCl: 0-1000 ppm/kg materiale
- Gennemsnitlig udledning for li-ion batterier:
 - HF: 0-1 ppm/kg materiale pr. min.
 - HCl: 0-1 ppm/kg materiale pr. min.
- Gennemsnitlig udledning for plastik brande:
 - HF: 0-45 ppm/kg materiale pr. min.
 - HCl: 0-50 ppm/kg materiale pr. min.

Ved fuldskalaforsøg med elbiler, og biler med konventionelt brændstof, blev røggasserne målt. Mange af gasserne var på sammenlignelige niveauer for bilerne med konventionelt brændstof og el-bilerne.

Forskellen i røggasserne lå i en større udledning af HF. Ud fra et af fuldskalaforsøgene er det estimeret, for disse typer biler med batterier på hhv. 16,5 kWh. og 23,5 kWh., at der udledes ca. 1,5 kg HF, mens der ved en normal bilbrand udledes lidt over 0,5 kg¹¹. Det svarer til at der udledes ca. 1 kg mere HF ved elbil-brand af denne type, hvilket er meget lidt.

Ved afbrændinger af forskellige batterier alene, dvs. forsøg uden afbrænding af en bil, hvor brandrøgen ikke kan opsluges af f.eks. hulrum i karrosseri og inventar, er der observeret afgasning på op til 20 kg HF¹². Det bemærkes, at de tilgængelige forsøg er udført på batterier, som i dag vil ligge i den lille ende af størrelsen på et batteri, og at det ikke har været muligt at finde forsøg på større batteripakker.

POF3 er et reaktivt intermediat, som særligt dannes ved enkelte typer af li-ion batterier. Dette stof kan være mere giftigt end HF-gas, men da det er meget reaktivt, vil det hurtigt reagere med vand og blive omdannet til HF¹³.

Forskellige kemiske forbindelser og deres egenskaber



QR kode til Indsatskort for hydrogenfluorid.

- HF-gas (Hydrogenfluorid): Farveløs gas eller rygende væske med stikkende lugt. Meget giftig.
- Flussyre, vandig opløsning af HF-gas. Mærkning ved forskellige koncentrationer kan ses i tabel 1 og tabel 2¹⁴.
- HCl (Hydrogenchlorid): Farveløs eller hvid gas/væske med stikkende lugt. Giftig, ætsende.

- Saltsyre, vandig opløsning af HCl-gas. Ætsende.
- POF3 (Phosphoryl fluorid): Farveløs gas, som dog er hurtigt opløst med vand. Giftigt, ætsende.

Indsatskortet og dets oplysninger gælder alene for en koncentration på 100 % fra udslip eller den på indsatskortet angivne koncentration. Kemisk Beredskab bør kontaktes i hvert enkelt situation, så fareområdet eventuelt kan ned-sættes.

Brand i et batteri

For at sikre mandskabets sikkerhed i slukningsarbejdet, skal der tages højde for potentielle kemiske forbindelser afhængigt af den valgte slukningsmetode.

Der gøres opmærksom på, at de kemiske forbindelser overordnet vil være de samme ved brande i det fri og brande inde i en bygning, hvor der dog skal tages højde for større koncentrationer pga. manglende naturlig ventilation:

- Udbrænding af batteriet: Dækker over en indsatsstaktik, hvor batteriet får lov til at brænde ud, uden anvendelse af vand eller skum direkte på batteriet.

Kemisk forbindelse	Koncentration			
	>7 %	1-7 %	0,1-1 %	<0.1 %
Flussyre på huden	Forårsager svære ætsninger af huden og øjenskader	Forårsager svære ætsninger af huden og øjenskader	Forårsager alvorlig øjenirritation	Ingen mærkning

Tabel 1. Mærkning af flussyre ved forskellige koncentrationer

⁸ Lecocq, 2014, Comparison of the fire consequences of an electric vehicle..

⁹ DNV•GL, 2017, Cosiderations for ESS Fire Safety

¹⁰ DNV•GL, 2017, Cosiderations for ESS Fire Safety

¹¹ Lecocq, 2014, Comparison of the fire consequences of an electric vehicle.

¹² Larsson, 2017, Toxic fluoride gas emmissions from lithium-ion battery.

¹³ Larsson, 2017, Toxic fluoride gas emmissions from lithium-ion battery.

¹⁴ ECHA, European Chemical Agency, "https://echa.europa.eu/da/home"

Arbejds miljø

Kemisk forbindelse	Koncentration				
	100-10%	10-2,5%	2,5-0,5%	0,5-0,25%	<0,25%
Konsekvens af flussyre på huden	Livsfarlig ved hudkontakt	Livsfarlig ved hudkontakt	Giftig ved hudkontakt	Farlig ved hudkontakt	Ingen mærkning

Tabel 2. Mærkning af flussyre ved forskellige koncentrationer

- Her vil brandrøgen potentielt kunne indeholde HF-gas i høje koncentrationer.
- Overdækning med sand:
Her vil brandrøgen potentielt kunne indeholde HF-gas i høje koncentrationer.
 - Slukning med skum:
Her vil brandrøgen potentielt kunne indeholde HF-gas i høje koncentrationer.
 - Slukning med vand:
Her vil brandrøgen potentielt kunne indeholde HF-gas i høje koncentrationer. Hvis der anvendes meget lidt vand til slukning af brand i et li-ion batteri bør der være opmærksomhed på slukningsvandet pga. dannelsen af flussyre.

Brug af vandtåge

Der er blevet testet forskellige slukningsmaterialer, og vand fremstår ofte stadig, som et af de bedste midler til at slukke/køle en brand i li-ion batterier¹⁵. Brandrøg med muligt indhold af HF gas kan slås ned med vandtåge, med mindst mulig partikelstørrelse, da HF gas er letopløselig i vand.

HF opløst i vand giver flussyre.

Der bør være opmærksomhed på dannelsen af flussyre, hvis der anvendes meget lidt vand til slukningen.

Slukningsvand fra brand i batteri

Slukningsvandet fra brande i elbiler og li-ion batterier skal betragtes som lige så forurenede som ved andre bilbrande¹⁶.

Der er foreløbigt ingen studier der viser, at vandet skal betragtes som ekstra sundhedsskadeligt, eller behandles anderledes end ved andre sammenlignelige brande. Koncentrationsintervallet for flussyre i slukningsvand er pt. ikke fuldstændigt afdækket, men vil forventeligt være i en så lav koncentration, at den sundhedsskadelige effekt af flussyren er minimal^{17/18/19}.

Der er i enkelte studier vist, at pH-værdien af slukningsvandet kan blive en smule surt, og i meget sjældne tilfælde basisk²⁰.

Mængden af litteratur omkring slukningsvandet fra brande i elbiler er dog begrænset.

Er det en brand eller kemiindsats?

Indsatsen ved en brand i en elbils batteri, skal betragtes som en brandslukningsindsats. Selv om der i visse perioder udledes større mængder HF ved en brand i et batteri end ved en normal bilbrand, ændrer indsatsen og taktikken ikke karakter til en kemiindsats.

Røgdykkernes indsatstid

Ved indsats skal røgdykkerne anvende fuldt dækkende indsatsbeklædning. Maksimalt ophold for røgdykkere i brandrøg fra el- og hybridbiler bør højst være 10 min. inde i en bygning og 15 min. i det fri.

Straks efter den afsluttede indsats (10 eller 15 min.) skal mundering og det anvendte udstyr håndteres som forurenede, hvilket betyder, at man ikke kan foretages sig andre handlinger, herunder drikke væske.

Ophold i røgen bør minimeres. Dette kan eventuelt opnås ved hjælp af overtryksventilatorer, udvendig slukning, at indsatspersonale altid opholder sig under røggaslaget og bagved vandtilførslen, således de beskyttes mod eksponering af slukningsvandet.

Ved indsats i små eller lukkede rum skal udvises særlig stort hensyn for at minimere eksponeringen af skadelige stoffer.

I ekstreme tilfælde kan en kemikalieindsatsdragt overvejes som et supplement til indsatsbeklædningen.

Ved eksponering af brandrøg

Ved tegn på forgiftning skal hurtig personrensning påbegyndes med rigelige mængder tempereret vand. Kontakt sundhedsmyndighederne for vejledning.

Dette gælder også for eventuelt tilskadekomne, der har været eksponeret for brandrøgen. De hyppigste symptomer på HF forgiftning er åndedrætsbesvær og irritation af øjne, kløe og irriteret hud samt smerter kan forekomme.

Rengøring af materiel og personel

Beredskabsenheden bør udarbejde en SOP for røgdykning i miljø med brandrøg fra elbilens batteri.

Ud over selve røgdykningen bør der være fokus på personlig hygiejne, idet HF optages igennem huden, og derfor skal der gennemføres en grundig afvaskning hurtigst muligt efter indsats.

Derfor skal alt indsatsbeklædning efter endt indsats, inklusiv underbeklædning, aftages. Da der ikke pt. findes eksakt viden om de reelle koncentrationers giftighed ved en indsats, bør der arbejdes ud fra et forsigtighedsprincip med mindst mulig eksponering af den enkelte medarbejder. Når munderingen aflægges, skal røgdykkermasken med friskluftforsyningen være det sidste der aflægges.

Der bør ligeledes udarbejdes en procedure for rengøring af materiellet, da det også er kontamineret.

¹⁵ DNV•GL, 2017, Cosiderations for ESS Fire Safety

¹⁶ RISE, 2020, Evaluering av brann i parkeringshus på Stavanger lufthavn

¹⁷ Kemisk beredskab, Sag 2020/000823, Analyse af slukningsvand fra elbil

¹⁸ Thomas Long Jr., 2013, Best Practices for Emergency Response to

¹⁹ RISE, 2020, Evaluering av brann i parkeringshus på Stavanger lufthavn

²⁰ DNV•GL, 2017, Cosiderations for ESS Fire Safety

Actioncards

I det følgende afsnit findes en række eksempler på forskellige actioncards.

De skal alene tjene som inspiration til beredskabsenhederne, når de udarbejder egne actioncard og vil kunne anvendes frit.

Der er actioncards for:

- Brand i elbils batteri – ingen personer i fare
- Brand i elbils batteri – personer i fare i bil/nærhed
- Brand i elbils batteri - bygning
- Brand i elbil – ikke batteri
- Alarm/Vagtcentral

Actioncard

Brand i elbils batteri – ingen personer i fare		
Mulighed for brandspredning	Offensiv indsats	
Ikke mulighed for brandspredning		Defensiv indsats
Kritisk infrastruktur	Offensiv indsats	Defensiv indsats
Til fare for borgerne (røg)	Offensiv indsats	Defensiv indsats

Taktiske prioriteringer
FØR
Risikovurdering
Afbryd strømforsyningen såfremt bilen står til opladning (evt. ved forsyningsskab til lade stationen)
Hvis det ikke er muligt skal branden betragtes som brand i højspændings installation
Sikre at der ikke er højspænding i elbilens karosseri
Anbring stopklodser ved hjulene
Afbryd bilens hovedafbryder hvis dette er muligt
Afbryd biles 12 v batteri
UNDER
Offensiv taktik Sluk eller køl elbils batteriet. Anbring evt. elbilen i brandslukningscontainer
Offensiv taktik Anvend eventuelt vandtåge til køling af omgivelser og nedvask farlige stoffer fra brandrøgen med store mængder vandtåge med så små dråber som muligt
Defensiv taktik Lad højspændingsbatteriet brænde ud. Dette kan tage mere end 120 minutter
Defensiv taktik Anvend eventuelt vandtåge til køling af omgivelser og nedvask farlige stoffer fra brandrøgen med store mængder vandtåge med så små dråber som muligt
Defensiv taktik Anvend eventuelt ventilator for kontrol af røgfanen
EFTER
Når batteriet er kølet tilstrækkeligt, kontrolleres det at batteriets temperatur er stabil eller faldende i minimum 60 minutter- til under 80C. Anvend termisk kamera
Transporter køretøjet til egnet opmagasinerings sted og placer det mindst 5 meter fra andet brandbart materiale, herunder bygninger
Oplys modtageren om at der er tale om en el- eller hybrid bil

Actioncard

Brand i elbils batteri – personer i fare i bil/nærhed	
Personer i fare	Offensiv indsats
Taktiske prioriteringer	
FØR	
Risikovurdering	
Afbryd strømforsyningen såfremt bilen står til opladning (evt. ved forsyningskab til lade stationen)	
Hvis det ikke er muligt skal branden betragtes som brand i højspændings installation	
Sikre at der ikke er højspænding i elbilens karosseri	
Anbring stopklodser ved hjulene	
Afbryd bilens hovedafbryder hvis dette er muligt	
Afbryd biles 12 v batteri	
UNDER	
Offensiv taktik. Sluk eller køl elbils batteriet med overlegen stråle og gennemfør personredning	
Efter personredning, anvendes efterfølgende actioncard for brand i elbils batteri – ingen personer i fare	
EFTER	
Efter personredning, anvendes efterfølgende actioncard for brand i elbils batteri – ingen personer i fare	

Actioncard

Brand i elbils batteri – bygning	
Mulighed for brandspredning	Offensiv indsats
Til fare for borgerne (røg)	Offensiv indsats
Taktiske prioriteringer	
FØR	
Risikovurdering	
Skab effektiv bortventilering af røggasser fra beredskabets indtrængningsveje	
Tagttag at røggasserne ikke ventileres til områder hvor personer eksponeres herfor	
Afspær eventuelle adgangsveje til rummet, således personer uden indsatsbeklædning forhindres adgang	
Træng frem mod branden således al kontakt med røg minimeres	
Afbryd strømforsyningen såfremt bilen står til opladning (evt. ved forsyningskab til lade stationen)	
Hvis det ikke er muligt skal branden betragtes som brand i højspændings installation	
Sikre at der ikke er højspænding i elbilens karosseri	
Anbring stopklodser ved hjulene	
Afbryd bilens hovedafbryder hvis dette er muligt	
Afbryd biles 12 v batteri	
UNDER	
Offensiv taktik Sluk eller køl batteriet. Anbring evt. elbilen i brandslukningscontainer	
Offensiv taktik Anvend vandtåge til køling af omgivelser og nedvask farlige stoffer fra brandrøgen med store mængder vandtåge med så små dråber som muligt	
Offensiv taktik Anvend ventilator for kontrol af røgfanen	
Vær opmærksom på bortledning og evt. opsamling af slukningsvand	
Defensiv taktik Elbilen skal bringes til det fri	
Defensiv taktik Efterfølgende anvendes actioncard for brand i elbils batteri – ingen personer i fare	
EFTER	
Når batteriet er kølet tilstrækkeligt, kontrolleres det at batteriets temperatur er stabil eller faldende i minimum 60 minutter- til under 80C. Anvend termisk kamera	
Efter personredning, anvendes actioncard for brand i elbils batteri – ingen personer i fare	

Actioncard

Brand i elbil - ikke batteri	
Mulighed for brandspredning	Offensiv indsats
Ikke mulighed for brandspredning	Offensiv indsats

Taktiske prioriteringer
FØR
Risikovurdering
Afbryd strømforsyningen såfremt bilen står til opladning (evt. ved forsyningsskab til lade stationen) Hvis det ikke er muligt skal branden betragtes som brand i højspændings installation
Sikre at der ikke er højspænding i elbilens karosseri
Anbring stopklodser ved hjulene
Afbryd bilens hovedafbryder hvis dette er muligt
Afbryd bilens 12 v batteri
UNDER
Offensiv taktik. Sluk branden i elbilens
Sikre at temperaturen fra branden ikke har påvirket elbilens batteri. Kontrolleres at batteriets temperatur er stabil og under 80C. Anvend termisk kamera
EFTER
Kontroller at batteriets temperatur er stabil under 80C. Anvend termisk kamera

Actioncard Alarm- og vagtcentral

Hvor er bilen placeret!
Parkeringshus
Parkeringskælder
Parkeringsplads i det fri
Parcelhus garage
Ladestander i bygning
Ladestander i det fri
Til ladning
Autoværksted
Offentlig vej – til gene
Offentlig vej – uden gene
Hvilken type bil er der tale om
El
Hybrid
Hvilke synlige kendetegn - logo og bogstaver
EV, BEV, PEV eller ZEV for elbiler
PHEV, MHEV eller HEV for hybridbiler
Elbils logo f.eks. Tesla
Står der Drive E, Zero emission, I-on, Electric, I, E
Synlige kendetegn i omgivelser
Lade stik
Lade stander
Lade station
Lade kabel
Hvilke fysiske kendetegn har bilen
Ingen udstødningsrør
Ingen kølegitter
Ingen motorstøj
Er der synlig brand eller røgudvikling fra bilen
Er der synlige flammer under bunden af bilen
”Hvæser branden”
Er der jetflamme 1 til 2 m. ud fra siden bilen
Hvilken farve har røgen
Lyder der små ”knald” hele tiden eller ind imellem

Kilder

- NFPA 2018: Emergency field guide – Hybrid, Electric, Fuel Cell and Gaseous Fuel Vehicles
- Allan Skovlund 2019: Master projekt - Køretøjer med ikke-fossile brandstoffer og deres påvirkninger af omgivelser – og beredskabet ved brand
- MSB 2018: Svar på hemstallen om risiker och agerande vis brand I batterier https://www.msb.se/sv/sok/?q=Svar+p%c3%a5+hemstallan+om+risiker+och+agerande+vis+brand+i+batterier&t_dtq=true
- NTSB 2020: Safety risks to emergency responders from lithium-ion battery fires in electric vehicles Safety Risks to Emergency Responders from Lithium-Ion Battery Fires in Electric Vehicles (ntsb.gov)
- Firerescue1.com Electric car batteries: What you need to know (firerescue1.com)
- DSB 2019: Fullskala brannntest av elbil <https://www.dsb.no/nyhetsarkiv/2017/hvor-brannfarlig-er-en-elbil/>
- RISE 2019: Brannrisiko ved lagring af ikke tilkoblede litium-ion og litiumbatterier <https://www.dsb.no/rapporter-og-evalueringer/brannrisiko-ved-lagring-av-ikke-tilkoblede-litium-ion-og-litiumbatterier/>
- RISE 2019: Fire Safety og Lithium-Ion Batteries in Road Vehicles – 2019: Part of project No. 45629-1 <https://www.researchgate.net/project/Fire-Safety-of-Lithium-Ion-Batteries-in-Road-Vehicles>
- OSHA 2019: Preventing fire and/or Explosion Injury from Smell and Wearable Lithium Battery Powered devices <https://www.osha.gov/dts/shib/shib011819.html>
- US Dept. of Energy: How does a Lithium-ion Battery Work? <https://www.energy.gov/eere/articles/how-does-lithium-ion-battery-work>
- NFPA 2016: Lithium ion batteries hazard and use assessment <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Data-research-and-tools/Hazardous-Materials/Lithium-ion-batteries-hazard-and-use-assessment>
- NFPA bulletin, September 2017 BulletinSubmergedHybridEV.pdf (nfpa.org)
- NFPA 2016: Hazard Assessment af Lithium Ion battery Energy Storage Systems <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Data-research-and-tools/Hazardous-Materials/Hazard-Assessment-of-Lithium-Ion-Battery-Energy-Storage-Systems>
- MSB 2019: Brandskyddskläders skyddskapacitet materialtester med kemikalier som bildas vid bränder och termisk rusning i Li-jon batterier i e-fordon Brandskyddskläders skyddskapacitet- materialtester med kemikalier som bildas vid bränder och termisk rusning i Li-jon batterier i e-fordon : studie (msb.se)
- Tysk standard for strålerør if. til brand og el <https://www.vde-verlag.de/standards/0100473/din-vde-0132-vde-0132-2018-07.html>
- AT: Støv, gasser og røg; Kemisk Risikovurdering; AT-Vejledninger-Arbejde med stoffer og materialer; Kemisk arbejdsmiljø <https://at.dk/arbejdsmiljoearbejdet/arbejdspladsvurdering/arbejdsmiljoejvisere/politi-beredskab-og-faengsler/> <https://at.dk/arbejdsmiljoe problemer/kemi/vurder-risikoen/> <https://at.dk/c-1-3> <https://at.dk/arbejdsmiljoe problemer/kemi/>
- Industriens Branchearbejdsmiljøråd 2016: El- og hybridbiler. Sikkerhed ved reparation og vedligehold <https://www.bfa-i.dk/media/aazlwuvr/el-og-hybridbiler.pdf>
- Lecocq 2014, Comparison of the fire consequences of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle <https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00973680/document>
- Nature 2017, Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires <https://www.nature.com/articles/s41598-017-09784-z>
- Kemisk beredskab 2020, Sag 2020/000823, Analyse af slukningsvand fra elbil
- NFPA 2013, Best Practices for Emergency Response to Incidents involving Electric Vehicle Battery Hazards https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/02/f8/final_report_nfpa.pdf
- ECHA, European Chemical Agency <https://echa.europa.eu/da/home>
- RISE 2020: Evaluering av brann i parkeringshus på Stavanger lufthavn Sola 7. januar 2020 <https://www.dsb.no/rapporter-og-evalueringer/evaluering-av-brann-i-parkeringshus--pa-stavanger-lufthavn-sola-7.-januar-2020/>
- DNV•GL 2017: Cosiderations for ESS Fire Safety <https://www.dnvgl.com/publications/considerations-for-energy-storage-systems-fire-safety-89415>
- Fire information exchange platform 2020: FIEP 20-007. Technical report on battery fires

Foto

Forside: Beredskabsstyrelsen	14 WV
2 Beredskabsstyrelsen	19 ø. Nordjyske.dk
3 ø. Motormagasinet	19 n. SKAD
3 mf. Beredskab Øst	20 Tesla
3 n. Shutterstock	21 ø. tv. Toyota
6 Dansk Elbils Alliance	21 ø. th. Torben Arent
8 Peugeot	21 n. Toyota
9 ø. tv Motormagasinet	24 tv. Beredskabsstyrelsen
9 øv. th. Motormagasinet	24 ø. th. Østre Adger Brannvesen
9 n. tv Bilmagasinet	26 ø. tv. Hovedstadens Beredskab
9 n. th SKAD	26 n. tv. Beredskab Øst
9 n. th Volkswagen	26 n. th. Marc De Roeck via HLN
10 Færdselsstyrelsen	27 tv. Marc De Roeck via HLN
11 tv. Færdselsstyrelsen	27 th. Beredskab Øst
11 th. Færdselsstyrelsen	28 Beredskab Øst
12 ø. Toyota	29 Shutterstock
12 m. GM	30 Avisen
12 n. Volvo Cars	

På Beredskabsstyrelsens hjemmeside www.brs.dk kan du orientere dig i øvrige udgivelser fx

Love og regler

Retningslinjer og vejledninger

Læringsmaterialer

Udtalelser og domme

Historisk materiale



Beredskabsstyrelsen

Strategisk Uddannelse og Pædagogik

Datavej 16

3460 Birkerød

Telefon: +45 7285 2000

E-mail: brs-ktp-sup@fiin.dk

www.beredskabsstyrelsen.dk

EAN: 5798000201705

CVR: 52990319