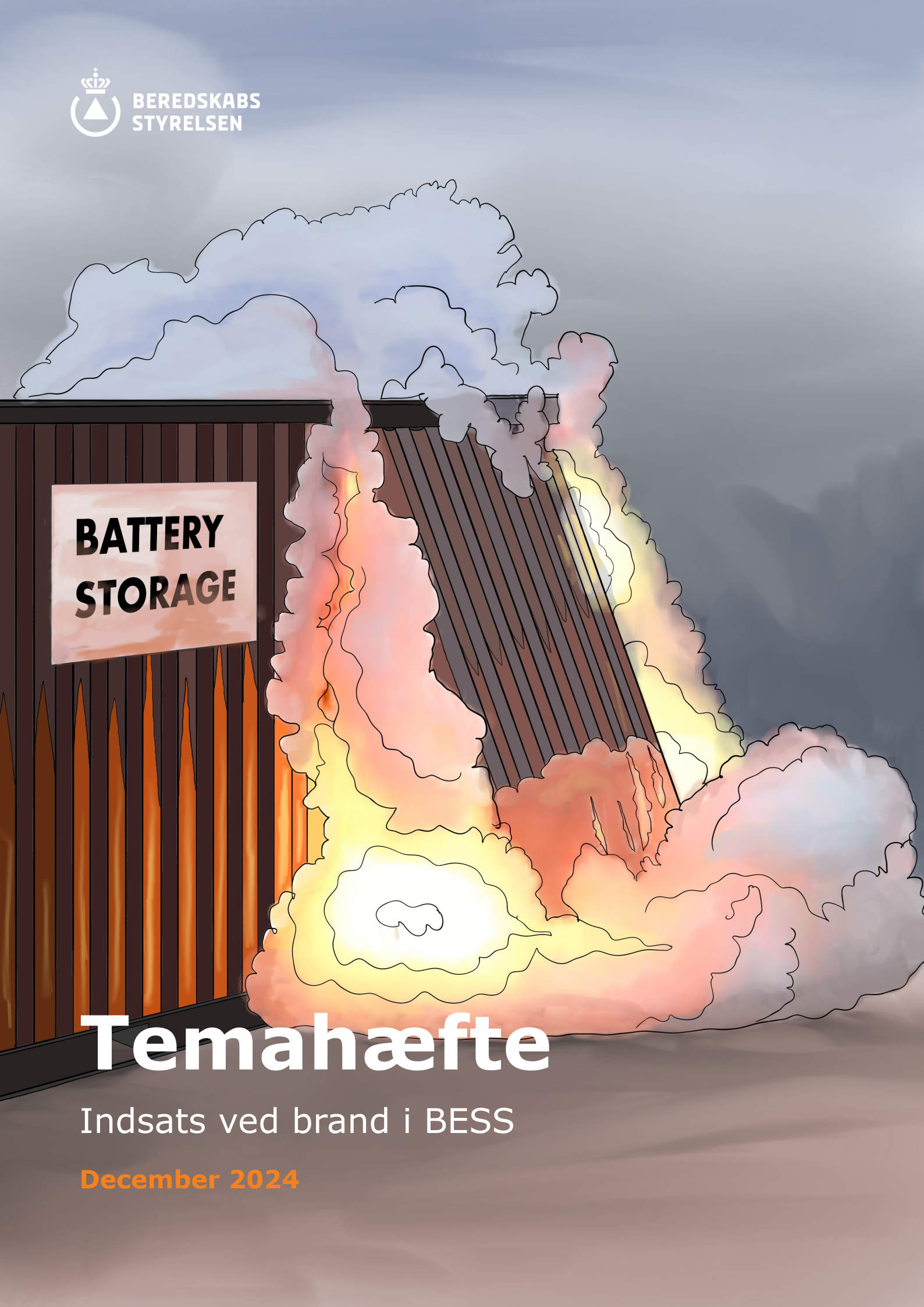




**BATTERY
STORAGE**

Temahæfte

Indsats ved brand i BESS

December 2024

Om Beredskabsstyrelsens læringsmaterialer

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 undervisning- og læringsmaterialer. Fokus i temahæftet er på et eller flere fagområder. Som regel henvender et temahæfte sig til en specifik faggruppe f.eks. den tekniske ledelse.

Metodehæfte

Metodehæftet har aktuell fokus på ajourført viden inden for et fagområde i Beredskabsstyrelsen. Metodehæftet henvender sig til f.eks. brandfolk 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 Beredskabsstyrelsens Center for Uddannelse. Elevhæfter henvender sig til brandmandsniveauet 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.



DANSKE BEREDSKABER

Temahæfte: Indsats ved brand i BESS

Forside: Illustrationen er inspireret af BESAFE projekt udført i samarbejde med DBI - Dansk Brand- og sikringsteknisk Institut

Illustration: Hovedstadens Beredskab

Indholdsfortegnelse

Indledning	4
Opsummering	5
Kapitel 1: Hvad er et BESS-anlæg?	6
Kapitel 2: Varmed udvikling i litiumionbatterier	8
Kapitel 3: Risikovurdering, herunder særlige farer	11
A. Fare for elektrisk stød	12
B. Fare for afgasning og eksplosion.....	13
C. Fare for en atypisk brand	14
Vurdering af risikoniveauer	15
Kapitel 4: Indsatstaktik	17
Førsteindsatsen	18
Relevante oplysninger	20
Et BESS-anlæg er en elektrisk installation	21
Brand- eller kemiindsats?	22
Placering i det fri eller i lukket rum?.....	22
Kapitel 5: Udfordringer for den tekniske ledelse	23
Generelle huskeregler "BESS"	24
Fastlæggelse af sikkerhedsafstande og fareområde.....	25
Anvendelse af CBRNE-procedurer	28
Kapitel 6: Scenarier og Action Cards, risikoniveau 2-4	29
Scenarie I: Privatbeboelse med BESS-anlæg i det fri (niveau 2)	31
Scenarie II: Privatbeboelse med indendørs BESS-anlæg (niveau 3)	37
Scenarie III: Mobilt BESS-anlæg i container på havn (niveau 3)	43
Scenarie IV: Brand i entreprenørmaskine på byggeplads (niveau 3).....	49
Scenarie V: Lagerhal med BESS-anlæg i containere og oplag i hal (niveau 4).....	55
Scenarie VI: Større BESS-anlæg som nødstrøm - koblet til solceller (niveau 4)	61
Bilag 1: Case: Brandslukning i et BESS-anlæg	66
Bilag 2: Tekniske forhold for BESS-anlæg.....	70
Bilag 3: Indsatskemi ved brand i BESS-anlæg	71
Bilag 4: Lukket rum/lukket miljø	75
Bilag 5: Brug af værnemidler	77
Bilag 6: Slukningsanlæg og -udstyr	80
Bilag 7: Tilgængelig basisinformation	82
Bilag 8: Skadestedets opbygning	83
Bilag 9: Andre batterityper til energilagring	85
Bilag 10: Begreber og definitioner	86
Referencer og kilder	87

Indledning

Forord

Med afsæt i bl.a. regeringens "Køreplan for et grønt Danmark" (2021) er den grønne omstilling accelereret de seneste par år. Beredskabsstyrelsen understøtter arbejdet med den grønne omstilling ved bl.a. at udgive vejledninger og temahæfter, der kan guide redningsberedskabet til en sikker indsats.

På den baggrund udgav Beredskabsstyrelsen i 2021 et temahæfte om "Indsats ved brand i el-/og hybridbil", der således skulle opdatere vidensniveauet og indsatsmulighederne ved den nye type af biler på de danske veje. En anden ny teknologi, der vinder frem i Danmark, er elektriske anlæg til lagring af energi – Battery Energy Storage Systems (BESS-anlæg). Disse anlæg etableres for at sikre en robust forsyningssikkerhed fra sol- og vindenergi samt sikre stabilitet i el-nettet.

Formålet med nærværende temahæfte er at belyse de risici, der er forbundet med indsats ved brand eller fare for brand i denne type af anlæg, samt an vise hvorledes redningsberedskabet kan anvende denne viden insatstaktisk.

Temahæftet har bl.a. hentet inspiration fra den norske vejledning "Risikovurdering og håndtering af brann i Lithium-ion batterier" udgivet af Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) samt anden international litteratur på området (se referenceliste).

Temahæftet er blevet til i samarbejde med Danske Beredskaber. En særlig tak skal lyde til Nordjyllands Beredskab, Beredskab Øst og Hovedstadens Beredskab for deres bidrag til arbejdet.

Beredskabsstyrelsen, december 2024

Overordnede definitioner

Temahæftet omhandler elektriske anlæg til oplagring af energi, kaldet 'BESS' (Battery Energy Storage Systems). Disse kan findes med eller uden tilslutning til el-nettet, ved solceller, i bygninger, kældre og containere eller i det fri. Betegnelsen 'BESS-anlæg' anvendes for at give en bredere forståelse for indsatser, der tager højde for en kompleks situation og den bygningsmæssige kontekst, herunder tilslutning til el-net, solceller og lignende. Litiumionbatterier er i skrivende stund den mest udbredte teknologi for genopladelige batterier i BESS-anlæg. Benævnelsen 'batterier' vil være litiumionbatterier, medmindre andet er nævnt.

Om temahæftet

Fokus for temahæftet er hændelser, hvor BESS-anlæg er involveret. Ved disse hændelser kan der opstå særlige farer i form af varmeudvikling i batterierne eller brand i bygninger omkring anlægget.

Temahæftet beskriver insatstaktikker til slukning af brand i BESS-anlæg, men vil også kunne anvendes til oplag af batterier med en tilsvarende batterikapacitet, hvor oplaget ikke er tilsluttet el-nettet, solceller og lign. Hæftet tager dog udgangspunkt i BESS-anlæg, som indeholder elektriske installationer, der sikrer op- og afladning af batterierne.

Kendskab til placering af BESS-anlæg og eventuelle brandforebyggende tiltag kan med fordel anvendes forebyggende. Beredskabsstyrelsen udgav i 2023 en vejledning om større oplag af litiumionbatterier og større BESS-anlæg med udgangspunkt i redningsberedskabets mulighed for at anvende beredskabslovens § 34, stk. 2 til at fastsætte brandforebyggende krav. I relevant omfang berøres vejledningens definitioner og skelnen mellem eksempelvis nye eller udtjente batterier.²

Temahæftets opbygning og anvendelse

Temahæftet belyser overordnede opmærksomhedspunkter og tiltag for redningsberedskabets gennemførelse af en sikkerheds-, sundheds- og arbejdsmiljømæssig forsvarlig indsats ved begrænsning eller slukning af en brand i et BESS-anlæg. Fokus er på insatstaktiske prioriteringer, primært under førsteindsatsen, som uddybes i scenarierne (Kapitel 6).

Temahæftet, særligt scenarierne, er tiltænkt som afsæt for de kommunale redningsberedskabers videre arbejde med lokale forhold omkring BESS-anlæg i et felt, som er under hastig udvikling. Temahæftet kan med fordel læses med baggrund i de generelle principper for indsatsledelse - Temahæfte for teknisk ledelse³, REFIL⁴ og samarbejde med andre beredskabsaktører på indsatsområdet.

Temahæftet kan derudover anvendes i forbindelse med redningsberedskabets forebyggende arbejde, samt i forbindelse med undervisning og træning af operative kompetencer i redningsberedskabet for at højne opmærksomheden på de potentielle risici på ledelsesniveau.

I bilag 10 uddybes begreber og definitioner, som er brugt i hæftet.

Opsummering

Temahæftet har fokus på indsats ved brand i elektriske anlæg til oplagring af energi (BESS-anlæg), som kan findes med eller uden tilslutning til el-nettet, solceller samt i bygninger, herunder nødstrømsanlæg.

Ved brand eller risiko for brand er det vigtigt, at der så tidligt som muligt indhentes informationer om BESS-anlæggets tekniske forhold, dets placering i bygningen mv. Det kan eksempelvis være i form af kontakt til en ressourceperson, der kender anlægget. Det er ikke forventeligt, at den tekniske ledelse i redningsberedskabet har kendskab til den konkrete batteritype, samt aktivering af eventuelle slukningsanlæg.

Forståelsen af 'thermal runaway' er central for indsigten i de særlige indsatsmæssige udfordringer i forhold til brand eller varmeudvikling i batterierne. En afgørende faktor ved BESS-anlæg er, at branden kan være selvforsynende både i forhold til brændbart materiale, varme og ilt, hvilket vil udfordre slukningsindsatsen.

En brand i et BESS-anlæg medfører desuden risiko for eksplosion i helt eller delvist lukkede rum. Indledningsvis kan sikkerhedsafstande sættes til 50-100 m ved mistanke om udsivning af gasser. Sikkerhedsafstande bør tage højde for både spænding i slukningsvand, røg, afgangning (tunge eller lette gasser) og eksplosion.

Hvorvidt der iværksættes en offensiv eller defensiv indsatstaktik vil afhænge af en lang række faktorer. Det bør tidligt afklares, om der er;

- personer i fare?
- tale om 'thermal runaway' eller brand?
- tilslutning til el-nettet, solceller og lign.?
- mulig antændelse eller spredning af afgangning?
- brandspredning til andre bygninger, rum mv.?

Risikovurderingen bør tage afsæt i de særlige farer, som kan opstå i forbindelse med en brand eller varmepåvirkning i batteriet:

A. Fare for elektrisk stød – i batterier, installationer, ladestation og solceller (sollys/anden lyskilde). Der bør være en særlig opmærksomhed på skader og spænding på battericeller og elektriske komponenter, som kan medføre risiko for elektrisk stød, herunder spænding i batterier og solcellepaneler, der ikke kan frakobles under indsatsen.

B. Fare for afgangning og eksplosion – særligt ved batterier i lukkede rum. Der bør være en særlig opmærksomhed på batteriernes afgangning, som kan være brændbar, brandnærende eller sundhedsskadelig. Herudover vil ophobning af brændbare gasser kunne medføre en eksplosion, hvis batterierne er placerede i et lukket rum eller en container. Mandskabets sikkerhed skal være forsvarligt afstemt i forhold til målet med indsatsen samt mulighed for ventilering og trykaflastning.

C. Fare for en atypisk brand – voldsom og hurtigudviklende brand. Der bør være en særlig opmærksomhed på lokalisering af varmeudvikling eller brand i batteriet og begrænsning af brandudbredelse til andre dele af batteriet, bygninger mv. Udvikling af branden vil bl.a. afhænge af batteritypen, og om batterierne eller BESS-anlægget er placeret i en container eller lukket rum eller "i det fri", hvor der vil være en fortynding af gasserne.

Der er udarbejdet en generel huskeregel "B-E-S-S" til håndtering af de forskellige risici under indsatsen. Denne beskriver bl.a. vigtigheden af at fjerne varmen fra branden samt begrænse brandspredning ved at påbegynde køling af batteriet.

B	E	S	S
Betragt situationen	Evaluer dine muligheder	Sluk for strømmen	Sænk temperaturen
Afgasning og brand i et lukket rum kan medføre en eksplosionsfare!	Adgang og nærhed til at slukke/køle kan være udfordret!	Batterier og tilsluttede dele (solcellepaneler) kan give stød!	Begræns branden, men undgå adgang til det lukkede rum!

1. Hvad er et BESS-anlæg?

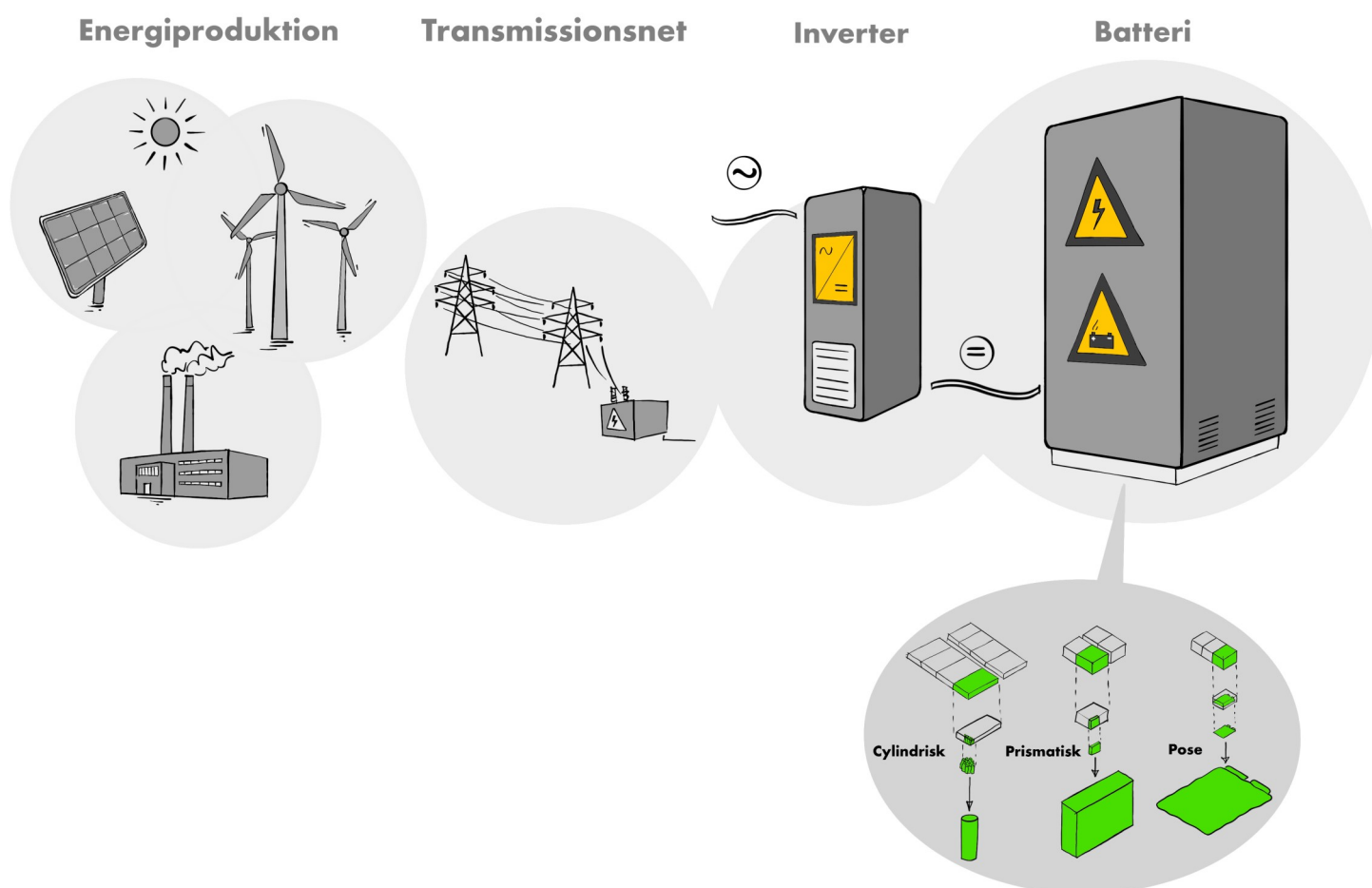
BESS-anlæg kan overordnet beskrives som et elektrisk anlæg, hvori energi lagres i batterier. Et BESS-anlæg vil typisk bestå af en samling battericeller, sammensat i større moduler og placeret i et lukket system, eksempelvis en container. Anlægget kan være stationært eller mobilt.

BESS-anlæg kan være tilsluttet el-nettet, eksempelvis til lagring og distribution af energi fra vindmøller og solceller eller til el-nettet, der anvendes af forbrugeren. Herved lagres overskud fra bæredygtige energikilder, når el-produktionen er høj, til brug i spidsbelastninger. BESS-anlægget kan også fungere som mobil strømkilde til koncerter eller lignende.

Der findes adskillige typer af BESS-anlæg, hvoraf den mest udbredte består af moduler af lithiumionbatterier. Fælles for dem er, at de er egnede til mange kontrollerede op- og afladninger. Størrelsen på et BESS-anlæg kan variere fra mindre enheder på 3-10 kW til store anlæg med op mod flere hundrede MW.

I industrielle sammenhænge kan BESS-anlæg adskille sig væsentligt fra hinanden både i effekt (kW) og kapacitet (kWh). I privat beboelse ses mindre anlæg, som kan være tilsluttet til solceller og til opladning af elbiler. Et BESS-anlæg inkluderer ikke den enkelte ladestation, el-cykler, el-løbehjul mv., som hyppigt ses på privat forbrugerniveau.

I bilag 2 uddybes tekniske forhold for BESS-anlæg.



Figur 1. Grøn energi fra f.eks. sol og vind kan lagres i BESS-anlæg før distribution til forbrugeren via el-nettet.

Illustration: Hovedstadens Beredskab

Fra litiumionbatteri til BESS-anlæg

Opladning af et litiumionbatteri sker ved, at ioner tvinges fra katoden til anoden ved hjælp af ekstern strøm og omvendt ved afladning. Enheden indkapsles, og danner en enkelt battericelle (figur 2).

En samling af flere celler kaldes for et modul, og i et BESS-anlæg vil der typisk findes adskillige moduler, der er koblet til et styresystem, også kaldet BMS (Battery Management System), ventilation, køling og en række sikkerhedsforanstaltninger. Via en 'inverter' i BESS-anlægget kan energien omdannes til enten jævnstrøm og vekselstrøm.

Litiumionbatterier anvendes ofte i BESS-anlæg, da disse batterier har en høj energitæthed, lang cykluslevetid og er stabile i forhold til de mange afladninger.

Energitætheden og opbygningen med membraner mellem celler og moduler bidrager dog også til, at batterierne kan brænde længe i tilfælde af en varmeudvikling i eller omkring batteriet.

I bilag 3 uddybes indsatskemi ved brand i BESS-anlæg.

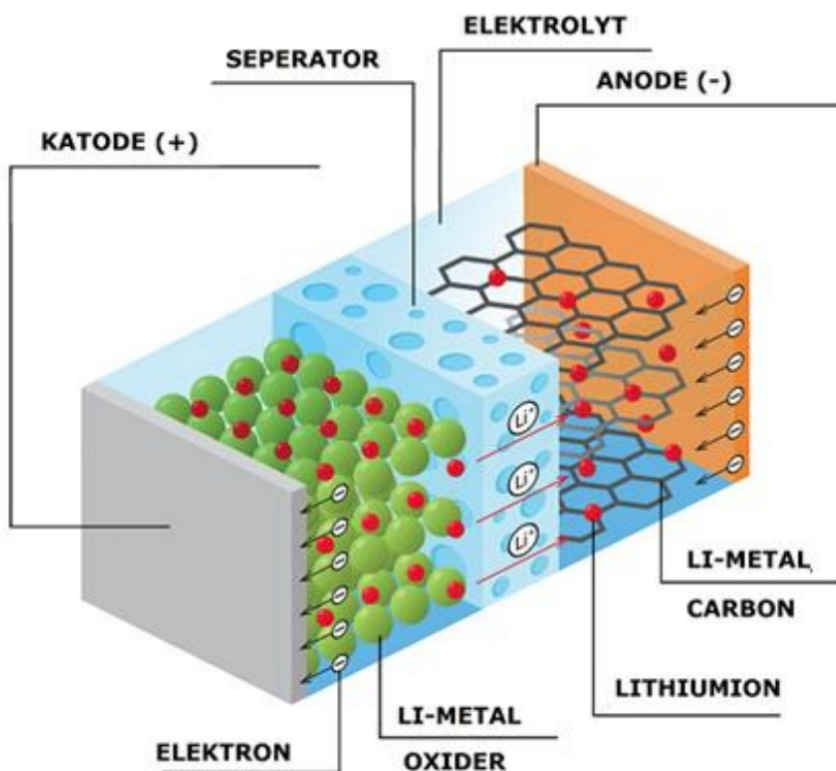
Vedrørende oplag af litiumionbatterier

I nærværende temahæfte refereres til oplag af litiumionbatterier, som på væsentlige punkter kan sidestilles med BESS-anlæg.

Et oplag af batterier kan betegnes som "passivt", da det ikke er tilsluttet et eksternt el-net, solceller og lign. Oplaget bør stadig håndteres med forsigtighed i forbindelse med varmeudvikling i batteriet eller brand.

Udfordringer med afgang fra batterierne forekommer både i forhold til BESS-anlæg og oplag af batterier. Ladningsniveauet i batterierne kan være mindre i et oplag, eftersom de ikke er eksternt tilsluttet el-nettet. Batterier opbevaret i oplag kan godt have aktive strømladninger, eftersom batterierne kan være opladte, før de sendes til forbruget.

Fremgangsmåden ved indsats til varmeudvikling i batterierne eller en brand omkring batterierne vil dog i et vist omfang være centreret om en tilsvarende risikovurdering ved ankomst, da afgangningen udgør en særlig fare, især hvis gasserne ikke er antændte.



Figur 2: Den mest almindelige opbygning af en litiumionbattericelle.

Et litiumionbatteri består overordnet af tre bestanddele, nemlig katode-materialet, anode-materialet og elektrolytten. Katode og anode forstås som den positive og negative pol, og elektrolytten (bestående af litium i litiumionbatterier) er materialet, der udfylder rummet mellem de to poler.

Illustration: Vejledning om brandsikring af større oplag af litiumionbatterier samt BESS.

2. Varmeudvikling i litiumionbatterier

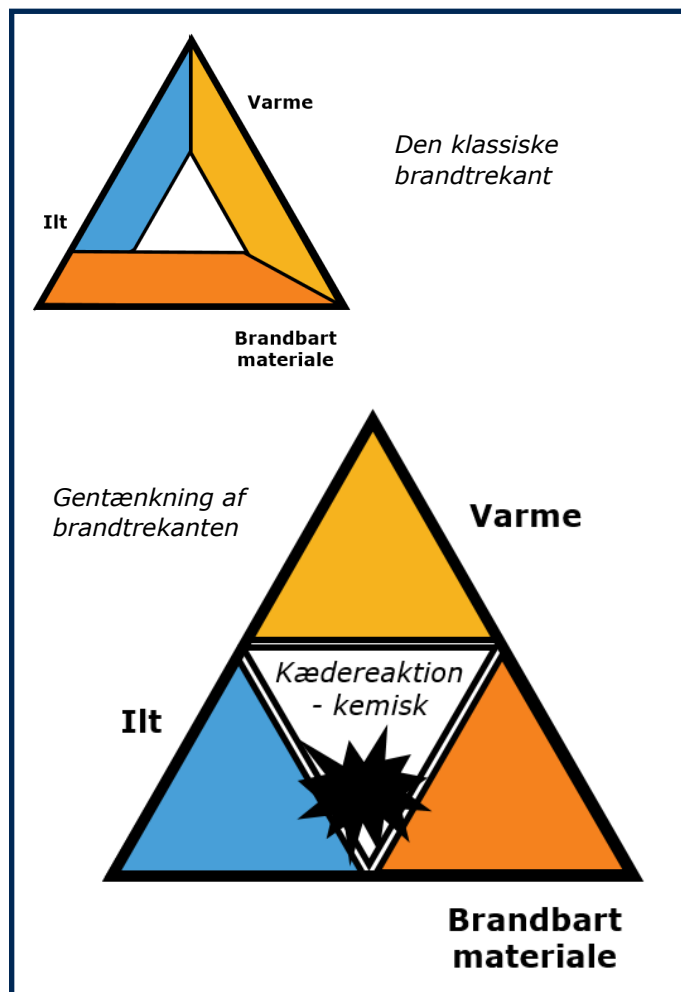
‘Thermal runaway’

‘Thermal runaway’ er en proces, som sker ved fejl i batteriet. Processen vil være selvnærende med ilt ved temperaturer helt ned til omkring 65-70 °C. ‘Thermal runaway’ er udtryk for en varmespredning internt i battericellen.

Som udgangspunkt vil det være en udfordring at slukke en brand grundet den vedvarende ‘thermal runaway’. Selve opbygningen af batteriet omfatter solide barrierer for at hindre en intern brandspredning, hvilket kan besværliggøre effektiv køling af de dele, der brænder eller er varmepåvirkede.

Da hverken det brændbare materiale eller ilt kan fjernes, vil køling af batteriet være en effektiv slukningstaktik, da det vil bidrage til at "fjerne varmen" fra branden.

Der bør tages højde for dels evnen til at køle og nedsætte varmeudviklingen i batteriet, dels hindre/forsinke spredning af flammer og brandspredning af brand fra et BESS-anlæg til andre brændbare materialer og øvrige rum. Herudover bør der være fokus på at fjerne risikoen for en eksplosiv atmosfære.



Figur 3. Den øverste klassiske brandtrekant sammenlignet med en "gentænkning" af brandtrekanten, hvor den interne proces 'thermal runaway' i et litiumionbatteri bidrager til afgasning og udvikling af branden.⁵

En afgørende faktor, som skal forstås ved en brand eller varmeudvikling i battericellen er, at branden er kendetegnet ved at elementerne i brandtrekanten ikke kan isoleres, da branden i batteriet er selvforsynende med brændbart materiale, varme og ilt.

‘Thermal runaway’ er central for forståelsen af de særlige indsatsmæssige udfordringer i forhold til batterier. En afgørende faktor er, at den er kendetegnet ved en stærkt forbundet brandtrekant (se figur 3), hvor branden i batteriet er selvforsynende både i forhold til brændbart materiale, varme og ilt.

Den tekniske ledelse bør så vidt muligt afklare, hvorvidt den aktuelle hændelse mest sandsynligt er startet med en intern ‘thermal runaway’ eller på grund af en ekstern brand, som har igangsat ‘thermal runaway’ i batterierne. Grunden til denne skelnen skyldes, at redningsberedskabet kan blive kaldt ud til et BESS-anlæg, som har udledt gasser grundet ‘thermal runaway’, men som ikke er antændt endnu.

Batterierne vil være med spænding, og eventuelle solcellepaneler vil være med spænding (sollys/anden lyskilde) ud over det tilsluttede BESS-anlæg. Der gøres opmærksom på, at batterierne ikke kan gøres spændingsløse.

Batterier og BESS-anlæg af den størrelse, som temahæftet omhandler kan være udstyret med sikkerhedssystemer som BMS (Battery Management System), og monitorering af varmeudvikling og gasudvikling.

Detektering af 'thermal runaway'

Forskellige fejl, enten på grund af interne kemiske processer, elektrisk kortslutning, en udefrakommende påvirkning eller ekstern varmepåvirkning kan medføre en temperaturstigning i batteriet.

'Thermal runaway' kan medføre en gradvis overophedning af batteriet bestående af fire trin (se figur 4). Temperaturstigning i batteriets celle kan ligeledes medføre en trykstigning, som får cellens indbyggede sikkerhedsventil til at åbne og aflaste cellens tryk.

Såfremt sikkerhedsventilen ikke kan følge med, kan battericellerne briste på grund af trykstigning ved varmepåvirkningen. Det kan opleves som mindre "smæld/brag", der kan lyde som et fyrværkeribatteri, der skydes af.

Da en stor temperaturforøgelse i en battericelle kan sprede sig til omkringliggende celler, er der ikke alene tale om en intern proces/'thermal runaway' i en enkelt celle, men ligeledes risiko for en ydre proces med 'temperatursmitte' fra celle til celle.

Dermed er der risiko for, at udledningen af gasser accelererer, da det samtidig sker fra et voksende antal celler. Tiden mellem trin 2 og trin 3 kan være få sekunder eller adskillige minutter alt afhængigt af hvilken type fejl, der starter processen.

Hvis der sker et fysisk brud eller punktering af batterierne, kan skaden på battericellerne forårsage en intern kortslutning i cellen, som kan føre direkte til en brand, hvilket er bekræftet i trin 4.

Der er ikke nødvendigvis etableret detektering i BESS-anlægget, men hvis der er, kan det medvirke til, at der tidligt i et hændelsesforløb kan ske alarmering om, at der er afvigelse fra normalbilledet. Detektering har betydning for, hvor hurtigt redningsberedskabet kan påbegynde sin indsats (idet branden konstateres tidligere i forløbet).

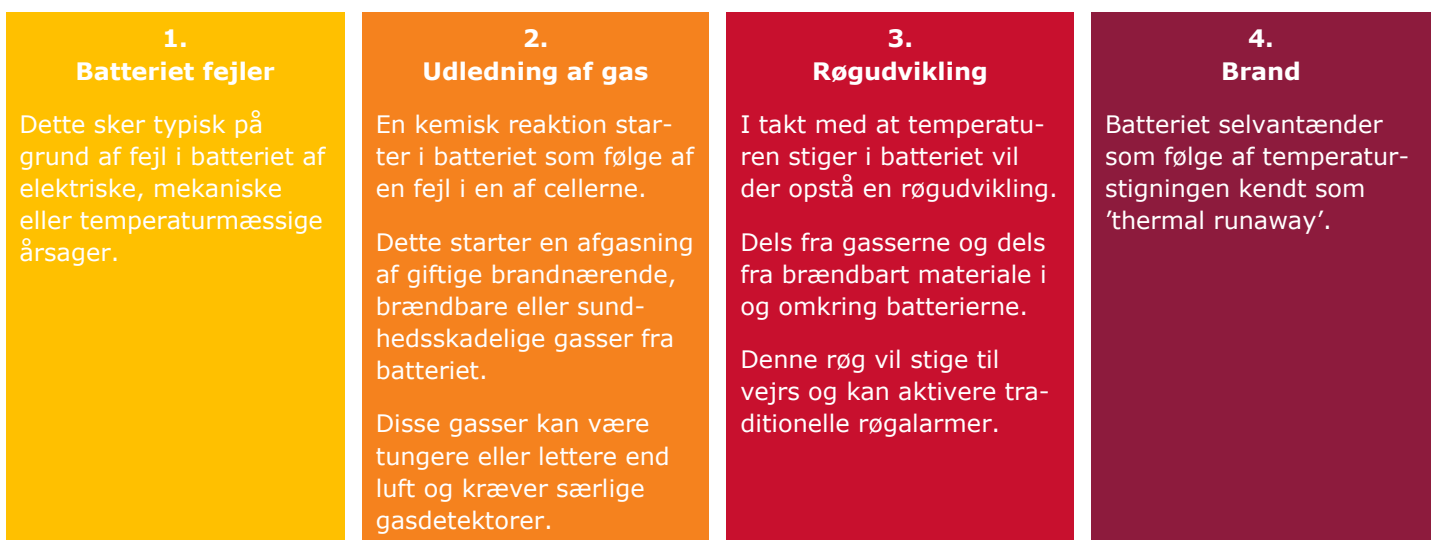
Det vil ikke være hensigtsmæssigt at detektere på et enkelt stof. Men gasserne kan være tungere end den omsluttende luft, hvorfor der også bør detekteres ved gulv.

Afhængigt af typen af detektering (optisk mv.) vil denne kunne aktiveres på de forskellige trin. Detektering kan medføre, at der etableres en plan for korigerende handlinger ved alarm fra detekteringen, som aktivering af ventilationsanlæg, alarmering til redningsberedskabet og/eller leverandør (service).

De gasser, der produceres i cellen og som dermed bliver lukket ud af sikkerhedsventilen, består af mange forskellige gasser, herunder bl.a. hydrogen (brint) og oxygen, som kan være brændbare, brandnærende eller sundhedsskadelige. I praksis vil gasserne være sammenblandede, hvilket gør det svært at identificere og eksempelvis måle for koncentrationer.

På alle trin vil der inden en egentlig og synlig brand være risiko for, at afgangningen fra batteriet ophobes og medfører en eksplosiv atmosfære i BESS-anlægget.

Figur 4. Trin i udvikling af 'thermal runaway'.



Slukningsanlæg

Fastinstallerede slukningsanlæg i BESS-anlægget eller teknikrum kan have forskellig effekt på brande i litiumionbatterier. Her vil forudgående kendskab til slukningsanlægget i rummet være en fordel.

Som tidligere beskrevet har redningsberedskabet ikke nødvendigvis viden om, hvilke krav der kan være stillet til anlægget. Men følgende information kan være relevant, hvis den kan fremskaffes fra producent eller ejer af anlægget:

- Om der er et automatisk overrislingsanlæg (sprinkleranlæg)
- Om anlægget aktiveres automatisk
- Om beredskabet kan aktivere anlægget udefra
- Anlæggets evne til at opretholde en effektiv slukning eller køling over en længere indsats pga. den særlige udfordring med 'thermal runaway'

Det bemærkes, at fastinstallerede slukningsanlæg kan have begrænset effekt på slukningsindsatsen, og disse anlæg vil ikke nødvendigvis ændre på de risici, som skal håndteres af mandskabet. Aktivisering af et initierende anlæg (hvis det fungerer som slukningsanlæg) bør have indflydelse på risici og indsatstaktiske overvejelser.

Det kan desuden være svært for mandskabet under indsats at afklare, om anlægget er aktiveret eller ej, såfremt det ikke er muligt at komme tæt på anlægget, og der ikke er afgang til aflæsning af oplysninger på afstand, f.eks. på tablet eller et panel, som er placeret væk fra BESS-anlægget.

Fastinstallerede slukningsanlæg kan ikke nødvendigvis opretholde tilstrækkelig køling over længere tid til slukning af batterierne, men anlægget kan have en positiv effekt på, at undgå eller forsinke brandspredning samt minimere risiko for en eksplosiv atmosfære.

En velkendt og effektiv metode til brandslukning er vand, hvilket også gør sig gældende ved brande i BESS-anlæg. Vand tilføres enten ved sprinkleranlæg installeret i anlægget, eller som led i mandskabets slukningsindsats. Eftersom branden er selvfor-synende med ilt, er det vandets kølende egenskaber, som har betydning for køling eller slukning af branden.

Ventilering vil ikke nødvendigvis have en direkte slukningseffekt, men har til hensigt at fjerne potentielle brændbare og sundhedsskadelige gasser.

I bilag 6 uddybes slukningsanlæg og -udstyr.

Det er vigtigt, at der tidligt tages kontakt til en resourceperson, som kender BESS-anlægget, da det ikke kan forventes, at den tekniske ledelse har indsigt i, hvordan fastinstallerede slukningsanlæg aktiveres.

Der er en række udfordringer ved brug af vand til brandslukning i BESS-anlæg. Brugen af vand kan have betydning for, hvorvidt ikke-berørte dele af BESS-anlæg, dvs. moduler som ikke er varmepåvirkede, også bliver vandskadede. Bygningen og andre bærende konstruktioner vil på samme vis kunne tage skade af de store mængder af vand. Herudover medfører brugen af vand en fare for elektrisk stød gennem slukningsvandet. Derfor arbejdes der med sikkerhedsafstande.

Mulighed for ventilering bør vurderes sammen med mulighed for trykaflastning i rummet/containeren, da trykket fra afgangningen hurtigt kan blive så stort, at der er brug for hurtigere aflastning, end hvad ventilering kan give.

3. Risikovurdering, herunder særlige farer

Redningsberedskabet vil sandsynligvis via anmeldelse til 112 blive kaldt ud til hændelser med 'thermal runaway' enten pga. melding om røg eller gaslugt.

Ved en brand eller tegn på en varmeudvikling i batterierne i et BESS-anlæg er der en række faremomenter, der bør rettes opmærksomhed mod. Det gælder særligt den elektriske spænding og risikoen for eksplosion i lukkede rum. Indsatsen vil desuden på forskellige punkter være at sammenligne med hhv. en brand- og kemiindsats.

I temahæftet forstås 'eksplosion' som en hurtig frigivelse af energi f.eks. ved varmeudvikling, et hurtigt øget tryk eller en antændelse af gasser. Det kan være både i batteriet eller det lukkede rum.⁶

Risikovurdering bør tage højde for alle aspekterne og løbende revurderes under indsatsen for de særlige farer:

A. Fare for elektrisk stød – i batterier, installationer, ladestation og solceller (sollys/anden lyskilde)

B. Fare for afgang og eksplosion – særligt ved batterier i lukkede rum

C. Fare for en atypisk brand – voldsom og hurtigudviklende brand

ISL BRAND har ansvaret for den tekniske ledelse af indsatsen på skadestedet, herunder bl.a.:

- Udførelse af de direkte skadeafhjælpende tiltag på skadestedet
- Udførelse af indsatsen på en sikkerheds- og sundhedsmæssigt forsvarlig måde
- Den overordnede ledelse af indsatte enheder inden for den indre afspærring for så vidt angår disse enheders færden på skadestedet og varetagelse af tekniske opgaver
- Vurdering af om personer på skadestedet kan være eksponerede f.eks. ved CBRNE-hændelser i en grad, der kræver rensning

I tilfælde, hvor ISL BRAND eksempelvis ikke er ankommet til skadestedet, vil den tekniske ledelse af indsatsen blive varetaget af HL BRAND fra førsteudrykningen. Det forudsættes, at ISL BRAND er tilkaldt og ankommet inden eller samtidig med, at næste udrykningsenhed ankommer på skadestedet.

ISL BRAND vurderer på baggrund af risikovurderingen, om indsættelse af mandskabet på skadestedet kan foretages sikkert og forsvarligt.

Overordnet bør risikovurderingen have fokus på sikkerhedsafstande, som kan være svære at beregne, da der bør tages højde for både spænding i slukningsvand, røg, afgang (tunge eller lette gasser) og eksplosion.

Følgende bør afklares så tidligt som muligt:

- Er der personer i fare?
- Er der tale om 'thermal runaway' eller brand, og hvilke konsekvenser har det for personer eller indsatstaktik?
- Er der tilslutning til el-nettet, solceller og lign.? Det bemærkes, at solcellepaneler inkl. kabler, er strømførende når systemet eksponeres for alle typer af lyskilder og ikke udelukkende sollys.
- Er batterier eller BESS anlæg omfattet eller truet af brand?
- Er der udstrømning af væske fra batterierne, som udgør en risiko?

Giver placering i det fri eller i bygning/container risiko for:

- Antændelse af gasser og eksplosion i lukkede rum?
- Ligger rummet langt inde i bygningen eller med lette adgangsforhold udefra?
- Hvordan vil gasser kunne spredes i bygningen, konstruktionen eller terræn?
- Brandspredning til andre bygninger, rum mv.?

Ophobning af brændbare gasser fra batteriet kan medføre en eksplosion. Ved denne risiko indsættes der ikke i lukkede rum!

A. Fare for elektrisk stød

Fare for elektrisk stød fra batterier, installationer, ladestation og solceller (sollys/anden lyskilde).

Der kan være risiko for elektrisk stød, hvis der er sket skade på de elektriske komponenter i batteriet eller modulet og ved slukning af en brand i et eller flere batterier.

Der bør udvises særlig opmærksomhed ved BESS-anlæg, hvor der kan være tilslutning af BESS-anlægget til el-nettet, da disse ofte vil være tilsluttet ved 400 V eller 10 kV. Der kan være risiko for elektrisk stød, hvis der er sket skade på de elektriske højspændingskomponenter, eller der er opstået en brand i batteriet i et BESS-anlæg.

Det bemærkes desuden, at virksomheder så som energiproducenter kan have større oplag af farlige stoffer, f.eks. tanke med ammoniak, hydrogen og metanol, som kan have en indvirkning på indsatsen. Det betyder, at det skal sikres, at der sker en frakobling af evt. tilslutning til el-nettet, inden indsatsen kan iværksættes. Dette gælder særligt ved:⁷

- Brandfarlige virksomheder og oplag
- Forsyningsvirksomheder
- Energiproducenter og virksomheder med PtX-anlæg (Power-to-X-anlæg)

Ved arbejde på eller nær en idriftsat installation, skal arbejdet udføres efter bestemmelserne i kapitel 712 i standardsamlingen for elektriske installationer, DS/EN 60364 serien. Hvis det er muligt at afbryde for forsyningen, så gøres det for at kunne udføre arbejdet sikkert i spændingsløs tilstand. Ellers vurderes de risici, der er ved at arbejde på en installation under spænding, inden arbejdet sættes igang.⁸

'Stranded energy' kan være et faremoment i forbindelse med en brand. Begrebet dækker over den elektriske spænding, der fortsat er til stede i et batteri, efter batteriet har været involveret i en brand. Energi kan være svær at aflade fra et batteri, fordi systemet kan være beskadiget eller udgøre en fare for dem, der skal aflade et batteri efter en brand.

'Stranded energy' kan forårsage en genantændelse af branden flere timer og dage efter, at branden i første omgang har været slukket uagtet en effektiv slukningsindsats.

'State of Charge' (SoC) indikerer, hvilket opladningsniveau batterierne er på i forbindelse med en indsættelse. SoC kan sige noget om, dels hvor meget energi, der er tilbage i batteriet, der potentielt kan bidrage til varmeudvikling og branden, dels en indikation af hvor længe en brand vil kunne vare.

SoC har ikke nødvendigvis stor indflydelse set ud fra et beredskabsperspektiv, da afladte batterier også vil være brandfarlige pga. de materialer, som udgør batteriet. I praksis vil SoC i batteriet ikke være relevant at basere indsatsen på, da SoC kan være svært at fastsætte både pga., hvad opladningsgraden var før branden, samt hvor meget der allerede er afbrændt ved redningsberedskabets ankomst.

Skader på battericellerne eller i anlæggets elektriske komponenter kan medføre risiko for elektrisk stød af høj spænding.

Selve batterierne vil - uagtet om de er i et BESS-anlæg, er tilsluttet el-nettet eller er en del af et oplag - være med spænding. På samme vis bør der være opmærksomhed ved en indsats i solcelleanlæg, hvor selve panelerne vil være med spænding (sollys/anden lyskilde) ud over det tilsluttede BESS-anlæg.

Virksomheder, der er karakteriseret som kritisk infrastruktur bør have en særlig opmærksomhed, da de kan være uhensigtsmæssige at lukke ned:

- Hvilke konsekvenser vil en nedlukning have for det omgivende samfund – og hvilket tidsperspektiv har en nedlukning?
- Hvordan håndteres en hel eller delvis nedlukning af systemerne i praksis?
- Hvilken betydning vil en nedlukning eller mangel på mulighed for en fuld nedlukning have for risikovurderingen, og vil det medføre en anden indsatstaktik?

Risikovurderingen bør have fokus på de forhold, som kan udsætte mandskabet for elektrisk stød både før, under og efter indsatsen.

B. Fare for afgangning og eksplosion

Fare for afgangning og eksplosion - særligt ved batterier i lukkede rum.

Batteriet kan, før det bryder i brand, afgive brændbare (og giftige) gasser, som kan danne en brændbar eller eksplosiv atmosfære. Dette kan ofte ses som en hvidlig afgangning. De brændbare gasser kan være både tungere eller lettere end atmosfærisk luft. Når batteriet bryder i brand, vil koncentrationen af giftige stoffer i brandrøgen være højere end ved en traditionel brand grundet et begrænset volumen i rummet.

Generelt vil et BESS-anlæg med stor kapacitet i et mindre rum (volumen) medføre, at antændelsesgrænsen nås hurtigere, end når et mindre BESS-anlæg er placeret i et stort rum. Det bør ud fra et forsigtighedsprincip antages, at en eksplosiv atmosfære er mulig. Såfremt processer ved 'thermal runaway' foregår i et lukket rum vil følgende være afgørende for dannelsen af en eksplosiv atmosfære:

- Rummet (volumen) og battericeller (kapacitet)
- Afgangningshastigheden
- Den kemiske sammensætning i batteriet

Står der eksempelvis et større batteri, som udleder gasser i kælderens på en ejendom, kan det potentielt være på loftet, at antændelsen af brint finder sted, da brint er flygtig og det letteste molekyle i det periodiske system. Omvendt kan der ved placering af batterier på tagetagen være en afgangning, som er tungere end luft, hvorved det potentielt kan være i lavereliggende rum, at den initiale antændelse sker.

Hvis der sker en ophobning af brandfarlig gas, kan der være risiko for, at der er eksplosiv atmosfære, hvis batterierne er placeret i en container, en bygning eller i tilstødende rum. Svage punkter, hvor der kan ske en ukontrolleret trykaflastning kan være åbninger med døre, ventilationshætter mv.

Risikovurderingen bør tage højde for, hvorvidt der er behov for at anvende udstyr og værktøj, som er ATEX-godkendt. ATEX er en forkortelse for 'ATmosphère Éxplosive', som på dansk oversættes til eksplosive atmosfærer. I forbindelse med indsatser i BESS-anlæg betyder der, at der kan være behov for at anvendelse af udstyr og værktøj ikke udgør en risiko for antændelse (gnister) i farlige områder.

Der kan være behov for, at en person i mandskab udpeges som sikkerhedsmand. Under en indsats betyder det, at sikkerhedsmanden har et særligt fokus på de specifikke risici og på at følge brandens udvikling.

Lukkede rum

'Lukkede rum' forstås som et helt eller delvist indelukket rum eller et indesluttet miljø, hvor der kun er få adgange til rummet, der som udgangspunkt ikke er indrettet til personophold. Et lukket rum er således ikke nødvendigvis et lille rum. Grundet rummets indretning vil der være risiko for dannelse af en eksplosiv atmosfære.⁹

- Indelukket rum, isoleret og iltfattigt miljø
- Begrænsede åbninger for ind- og udgange
- Pladsen er ikke tiltænkt længerevarende ophold
- Pladsen er ikke nødvendigvis stor nok til, at en person kan træde ind i rummet og udføre et arbejde

I bilag 4 uddybes forhold omkring sikkerhed ved arbejde i lukkede rum eller et lukket miljø.

Kendskab til ophobning af de brandfarlige gasser er vigtig, såfremt der eksempelvis indsættes til eftersøgning eller redning af Klasse 1 personer i rum over eller under batterirummet, samt hvor der er risiko for ophobning af gasser, som potentielt kan antænde.

Ud over ventilering af rummet, vil det være vigtigt at vide, om der er en form for eksplosionsaflastning i rummet/containeren, som kan håndtere tryk eller røgudvikling.

Hvorvidt der iværksættes en offensiv eller defensiv indsatstaktik i forbindelse med personredning vil afhænge af en lang række faktorer. Der kan evt. indsættes mere offensivt med udgangspunkt i de indsatstaktiske forhold, som gør sig gældende for indsatser med sammen-

lignelige dilemmaer:

- Brand i højspændingsanlæg
- Kemiindsatser og indsættelse med personredningsreglen (Vinden i ryggen, Fuld åndedræt, Undgå direkte kontakt, Sikringsslange, Kortest mulig tid), såfremt de tilskadekomne er frit tilgængelige
- Håndtering af fyrværkerioplæg i containere, varmpåvirkede gasflasker mv.

Risikovurderingen bør have fokus på forhold omkring ophobning af afgangningen, da det kan medføre en eksplosion i et lukket rum. Desuden bør mulighed for ventilering og trykaflastning i rummet adresseres.

C. Fare for en atypisk brand

Fare for en atypisk brand med et voldsomt og hurtigudviklende brandforløb.

Litiumionbatterier kan opdeles i forskellige typer på baggrund af de kemikalier, som anvendes i batteriet. Her er det vigtigt, at der tidligt tages kontakt til en ressourceperson, som kender anlægget, da det ikke er forventeligt, at den tekniske ledelse har viden om batteritypen.

Gasserne vil kunne forveksles med en røg, og visse gasser kan brænde, uden der er synlige flammer. De fleste batterier vil dog generere store mængder giftige og brandfarlige gasser, hvis der sker 'thermal runaway'. Der kan f.eks. blive produceret kuldioxid (CO₂), kvælstofoxider (NO_x), hydrogen-cyanid (HCN), hydrogenchlorid (HCl), kulmonoxid (CO) og hydrogenfluorid (HF).

Opbygning af batterierne (membraner, indpakninger mv.) vil kunne bidrage til en voldsom brand, som hurtigt kan brede sig til nærliggende, brændbare materialer eller bygningskonstruktioner. Den hurtige varmeudvikling i batteriet vil kunne skabe et voldsomt overtryk, der vil kunne medføre spredning af fragmenter fra anlæg, hvis de ikke er skærmet af en container eller bygning.

Såfremt batterierne eller BESS-anlægget ikke er placeret i en container eller lukket rum, men "i det fri" vil der kunne ske en fortynding af gasserne. Dette afhænger dog af vejr- og vindforhold, lette og tunge gasser mv.

Tilstedeværelsen af gasser (metan, brint (hydrogen) mv.) kan om muligt detekteres ved hjælp af termisk kamera, hvis de brænder. Et termisk kamera kan også anvendes til at konstatere, om varmeudviklingen i batteriet er stabil eller ustabil. Der vil dog være risiko for fejlmålinger både på gassen og på varmeudviklingen grund af det isolerende materiale til beskyttelse af batterierne.

Udstrømning af elektrolytvæske fra batteriet er en teoretisk mulighed, som vil afhænge af batteriets og battericellernes størrelse, opbygning og kemiske sammensætning. Elektrolytten kan være en brandfarlig væske i form af f.eks. et opløsningsmiddel.

I de fleste tilfælde vil der ikke ske en egentlig udstrømning af opløsningsmidlet, fordi der kun er små mængder i hver enkelt celle. Hvis der er synlige mængder af væske fra batteriet, bør denne identificeres og håndteres i indsatsen.

I tilfælde af brand i batterierne eller i BESS-anlægget vil batteriets opbygning, kemiske og elektriske karakteristika, indpakning, sammensætning mv. kunne bidrage til branden sammenlignet med en tilsvarende traditionel brand, og det bør derfor ses som en ekstra brandbelastning.

Hvor stor brandbelastningen er, afhænger især af batteriets kemiske sammensætning. Der findes p.t. ingen litteratur, der endeligt og entydigt fastslår batteriets eksakte brændværdi.

Vand kan både anvendes til at slå gasserne ned og køle branden, og der vil være forskellige behov i førsteindsatsen samt senere i indsatsen. Vandforsyningen bør kunne understøtte dette.

Ventilation kan anvendes som et umiddelbart tiltag til at minimere mængden af brændbare gasser. Da batteriet selv vil producere ilt, bør der være en nøje afvejning af, hvordan der ventileres i forhold til mandskabets sikkerhed under aktivering af fastinstalleret ventilering eller opsætning af overtryksventilator.

Ved indsættelse bør der også være opmærksomhed på, at der vil være forskel på, om det er afgang af tunge eller lette gasser fra batteriet, og bl.a. hvordan de vil fordele sig i bygninger og andre lukkede rum i modsætning til i det fri i forhold til automatisk eller manuel ventilation.

Risikovurderingen bør have fokus på så vidt muligt at lokalisere, hvilke batterier der er varmepåvirkede, eventuel afgang af gas med henblik på køling af varmepåvirkede batterier og begrænsning af brandudbredelse.

Vurdering af risikoniveauer

Litiumionbatterier findes i en lang række forskellige produkter, former og placeringer. Risikovurderingen kan overordnet opdeles i risikoniveauer baseret på størrelse (effekt og kapacitet) og placering af batterierne.

Figur 6 (næste side) omhandler inddeling og vurdering af brande i litiumionbatterier. Kategoriseringen af batterier i risikoniveau 1-4 kan læses som en række generelle forhold, der i væsentlig grad modsvarer den risiko, der er forbundet med en indsats.

Temahæftet omhandler primært indsatser på niveau 3 og 4, hvor udvikling af en brand vil adskille sig fra almindelige indsatsprincipper og bl.a. medfører et andet fokus på at udvise tilbageholdenhed, og prioritere kapacitetsopbygning på indsatsen.

Som tidligere beskrevet vil branden afhænge af størrelsen på batteripakken, samt hvorvidt batteriet er placeret i det fri eller i helt eller delvist lukkede rum. De forskellige risikoniveauer adskiller sig fra hinanden ved bl.a.:

- Størrelsen på batteriet (forstået som den energikapacitet batteriet har)
- Graden af indesluttethed, dvs. størrelsen/volumen på rummet, hvori det brændende batteri befinder sig, samt hvor åbent eller lukket rummet er

Der kan således være tale om mindre BESS-anlæg, som grundet placering kan udgøre en relativt stor risiko og betydning for den samlede indsats. Den primære forskel på risikoniveau 2 og 3 er, at batterierne i risikoniveau 3 er placeret i helt eller delvist lukkede rum eller en container. Her er en potentiel risiko for, at de brændbare gasser bliver ophobet, og at der kan indtræde en eksplosion.

Risikoniveauerne er defineret for at tydeliggøre de risici, der kan være forbundet med en indsats, herunder et særligt fokus på mængden af brændbar gas, som kan udledes fra en batterienhed. Dernæst er det også en forklaring på graden af indesluttethed, dvs. batteriernes placering og hvor lukket en konstruktion, som de befinder sig i. Ved indesluttet forstås helt eller delvist lukkede rum.

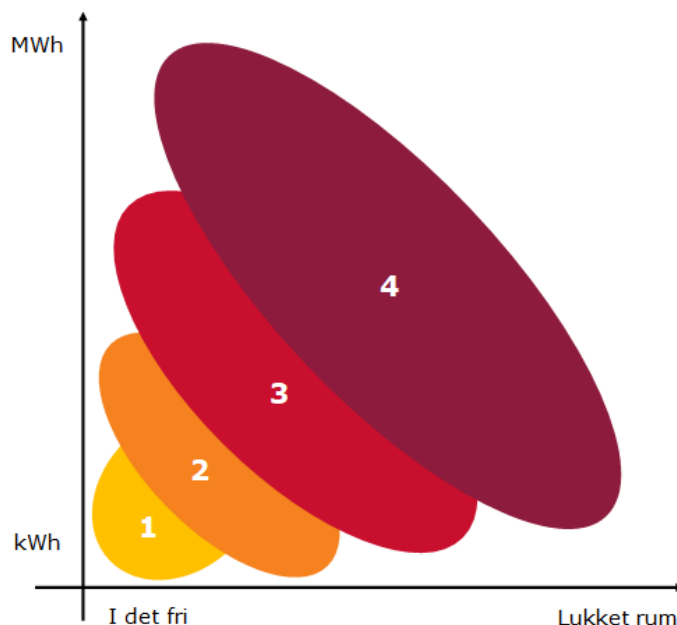
Ved brand i batterier i lukkede rum er der mindre mulighed for at bortventilere gasserne. Indsats er her forbundet med en væsentlig risiko – deraf behovet for i større grad at udvise tilbageholdenhed og sikre kapacitetsopbygning til at håndtere lang slukningsindsats, sikre vandforsyning, eftersøgning mv.

I den konkrete situationsbedømmelse ved en indsats kan andre forhold vægte højere, eksempelvis hvis der er personer i livsfare. De fire risikoniveauer afspejler denne sondring og kan være et værktøj til den tekniske ledelse i forbindelse risikovurderingen.

Det er vanskeligt at opstille konkrete parametre for batteristørrelsen og derved brandbelastningen. Derfor bør risikovurderingen så vidt muligt tage udgangspunkt i en samlet vurdering af rummets størrelse (volumen) og batteriets størrelse (kapacitet).

Der vil naturligt være afvigelser. Eksempelvis omtales niveau 1 som 'lav risiko' og drejer sig om mobiltelefoner, pc'er, batterier i el-cykel eller el-løbehjul. Men den lave risiko kan ændre sig markant afhængigt af den konkrete situation. Afgasning fra en pc's batteri ombord på et fly kan ændre 'lav risiko' til 'katastrofal' på få minutter.

Batterier (el-cykler) i New York kostede i 2023 menneskeliv - formentligt pga. brandens aggressive forløb og hurtig spredning til omkringliggende brændbare elementer, f.eks. jakker i en entré.



Figur 5. Illustration af, hvorledes risikovurderingen, på trods af, at der ikke kan opsættes konkrete parametre, så vidt muligt bør tage udgangspunkt i en samlet vurdering af rummets størrelse (volumen) og batteriets størrelse (kapacitet).

Illustration: Beredskabsstyrelsen

Risikoniveau	Anvendelse af batteri	Indsats
Niveau 1 Brand i enkelte, mindre batterier i det fri eller i et produkt.	Lav risiko – Mobiltelefoner, pc'er, tablets – El-værktøj, ladere – El-cykel, el-løbehjul, el-kørestole (i det fri)	Almindelige indsatsprincipper – køling på afstand Mængden af brændbar gas er begrænset. Det betyder, at en potentiel brand/eksplosion er begrænset og risiko forbundet med indsats er lav. Slukning kan foretages med udstyr fra slukningsenheden.
Niveau 2 Brand i batterier i køretøjer eller oplag – i det fri.	Lav til middel risiko – El-cykel, el-løbehjul, el-kørestole (under tag) – El-køretøjer i det fri, evt. i åbne carporte uden risiko for brandspredning – Mindre fritstående oplag i det fri uden risiko for brandspredning	Almindelige indsatsprincipper – køling på afstand Grundlæggende det samme som i niveau 1, men mængden af brændbar gas kan være større og batterierne indeholder større mængder energi og derved potentielt mere brændbar gas. Objekter er placeret i det fri, hvilket betyder at risikoen er lavere, da ophobning af brændbar gas er begrænset. Der findes desuden en række værktøjer, som muliggør slukning også på afstand. Køling/begrænsning kan foretages med almindelige slukningsværktøjer.
Niveau 3 Brand i større batterier og oplag af batterier og mindre/private BESS-enheder placeret i bygning eller et lukket rum (container).	Middel til høj risiko – Større el-køretøjer i P-hus, tunnel mv. uden ventilation – Batteribank (BESS, container) i hus, etageboliger eller industri uden risiko for brandspredning – Større elektriske maskiner og evt. batteribanke til opladning – Mindre oplag (under tag) – BESS-anlæg placeret i container i det fri	Udvis tilbageholdenhed, prioriter kapacitetsopbygning Fælles for batterier i risikoniveau 3 er, at de befinder sig i helt eller delvist lukkede rum. Herved er risikoen for eksplosion under en indsats væsentlig større end ved risikoniveau 1-2. Placering i et lukket rum udgør en væsentlig andel i fastlæggelse af risici, eksplosionsfare og brandforløb. Risikoen vil være særlig stor, såfremt der ikke er sket antændelse af gasser. Forudsætningerne for en indsats varierer væsentligt fra anlæg til anlæg, og kræver en grundig situationsbedømmelse. Der er større risiko for, at en indsats består i evakuering og person eftersøgning, samtidigt med risikoen for eksplosion kan indtræde i et batteri/røggasser og en hurtig udvikling af brand.
Niveau 4 Brand i BESS-anlæg, større tekniske anlæg og installationer, eks. offentlig tilgængelige bygninger, herunder el-færger og lignende.	Høj risiko – Elektriske fartøjer eller hybridfartøjer – Bygninger eller containere med store batteribanke (BESS-anlæg) eller anlæg med opdeling i flere enheder/containere (BESS) – Større oplag af brugte/udtjente batterier (genanvendelse)	Udvis tilbageholdenhed, prioriter kapacitetsopbygning Grundlæggende det samme som i niveau 3, men slukning kan kræve yderligere planlægning og kapacitetsopbygning. Anlæg kan være opført som selvstændige bygninger med særlig indretning og afstandskrav til andre bygninger, bl.a. af hensyn til at sikre/beskytte de store værdier, således at en hændelse ikke medfører et tab af det samlede anlæg. Indsatsen vil kunne være understøttet af anlæggets tekniske installationer og vil være defensiv, hvis ikke anlægget understøtter en indsats. Indsats vil forventeligt være længerevarende. Det bør prioriteres at tilkalde ressourcepersoner og nedsætte en stab.

Figur 6: Inddeling og vurdering af risiko for indsats og mandskab ved brand i litiumionbatterier for niveau 1-4.

4. Indsatstaktik

I dette kapitel beskrives en række informationer, vurderinger og tiltag, som kan give den tekniske ledelse de bedste forudsætninger for at iværksætte og lede en effektiv og forsvarlig indsats ved tilstedeværelsen af BESS-anlæg.

Årsager til brand i batterier

En brand i et litiumionbatteri vil ofte være forårsaget af en fejl inde i battericellen eller en forkert håndtering af batteriet, som kan lede til en kortslutning, der forårsager varmestigning i cellen. Der kan også være tale om en varmepåvirkning fra en ekstern brand. Forståelsen af dette vil være vigtig af hensyn til valg af indsatstaktik.

Brand, røg og afgangning samt synlige skader eller deformationer kan være med til at indikere en risiko for et beskadiget batteri. Det kan være i form af varmeudvikling, 'thermal runaway', lyde, røgudvikling, aktivering af gasdetektion, eksempelvis metan og hydrogen (brint), unaturlige lugte (stikkende) eller væske, der løber ud af batteriet.

En intern kortslutning i battericellerne kan medføre en temperaturstigning ('thermal runaway') som, hvis den ikke bliver håndteret af et indbygget/internt sikkerhedssystem eller afkøles, kan accelerere, opvarme andre battericeller og slutteligt medføre brand.

Påvirkninger, der kan medføre fejl:¹⁰

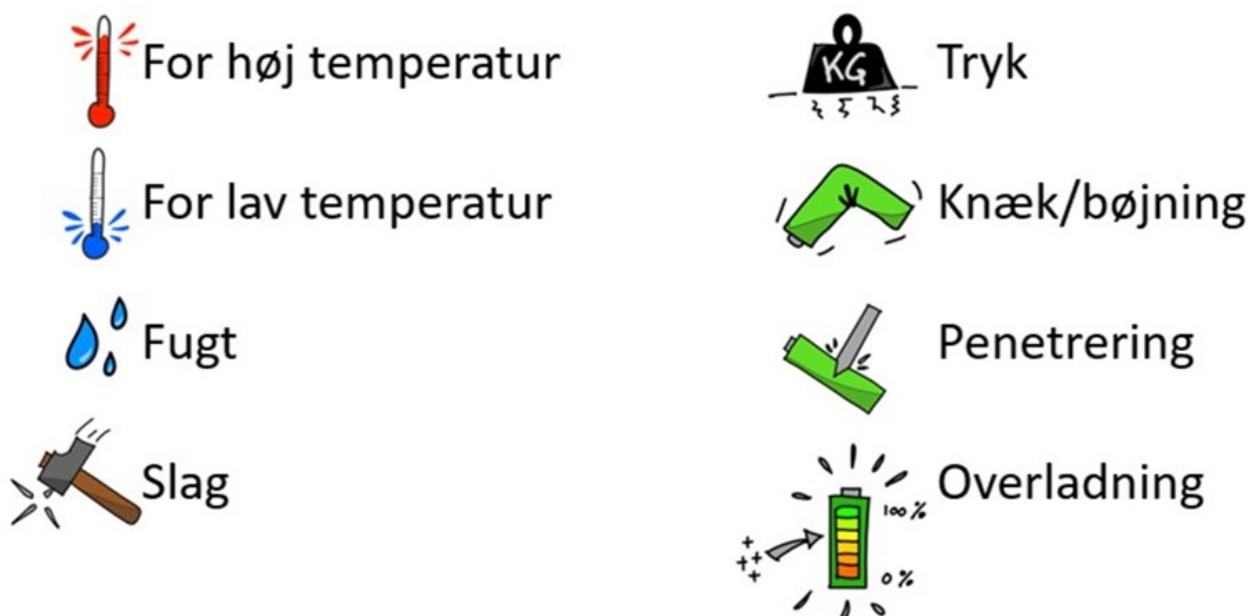
Elektrisk kortslutning: Internt i battericellen eller i det elektriske system/kredsløb, som battericellen er tilsluttet.

Mekanisk deformation: Eksempelvis ved tab af batteriet fra stor højde, kollision (ved elektriske køretøjer), påkørsel af batteripakker osv.

Varmepåvirkning: Eksempelvis ved kraftig, direkte sollys i varme rum, ved ekstern brandpåvirkning og lignende. Den kritiske temperatur er afhængig af flere faktorer, såsom hvilke kemiske stoffer, der er anvendt i det enkelte batteri samt batteriets indbyggede sikkerhedssystemer.

Generelt kan det forventes/antages, at den kritiske temperatur, hvor 'thermal runaway' kan starte, ligger på cirka 65-70 °C.

Uautoriseret/forkert håndtering af batteriets funktionalitet: En årsag til brande i litiumionbatterier er forkert håndtering f.eks. ved opladning eller forsøg på tilvirkning af batteriets funktionalitet. Dette kunne være hjemmelavede batterisystemer i forbindelse med solceller, anvendelse af uoriginale ladesystemer og lign.



Figur 7: En række eksempler på påvirkninger, som temperaturændringer og fysiske skader, der kan medføre fejl i battericellen.

Illustration: Hovedstadens Beredskab

Førsteindsatsen

En indsats i et BESS-anlæg vil ofte have elementer fra både en brand- og en kemiindsats. Hvilken, der vejer tungest, kan dog være svært at afgøre ved ankomst.

Generelt kan tydelighed om, hvilke sikkerhedsafstande, der er sat for risikovurderingen og de særlige farer, samt kriterier for hvornår disse kan lempes, være nyttige for at kunne indsætte mandskabet mere offensivt. De særlige farer er:

- A. Fare for elektrisk stød
- B. Fare for afgangning og eksplosion
- C. Fare for en atypisk brand

Det er vigtigt, at der tages højde for alle de nævnte risici under A-C, både i de taktiske prioriteringer i indsatsen og ved anvendelse af det rette materiale, udstyr og overholdelse af sikkerhedsafstande, så indsatsen kan gennemføres forsvarligt, særligt ved f.eks.:

- Komponenter, som ikke kan gøres spændingsløse
- Tilskadekomne inden for den fastsatte sikkerhedsafstand samt behov for evakuering eller information til naboer (beredskabsmeddelelse)
- Svære adgangsforhold til anlægget (f.eks. i en lagerbygning)
- Manglende mulighed for at overholde sikkerhedsafstande

Sikkerhedsafstande kan også være svære at fastlægge, da der bør tages højde for de nævnte farer A-C (se kapitel 3 om risikovurdering).

Der kan være risiko for, at varmepåvirkning af batterier i nærliggende enheder medfører en hurtig udbredelse af branden. Køling og begrænsning af brandudbredelse bør have fokus.

A. Fare for elektrisk stød

Sikkerhedsafstanden bør tage højde for spænding fra batterier, installationer, ladestation og solceller (sollys/anden lyskilde) mv., såfremt der indsættes med slukning som en del af førsteindsatsen.

Viden om spændingsniveau i battericellen (SoC) og evt. tilslutning af BESS-anlægget til el-nettet, solceller og lign. samt behov for sikkerhedsafstande i forhold til slukning i elinstallation være svære at få information om, hvorfor en konservativ tilgang i førsteindsatsen kan være nødvendig.

B. Fare for afgangning og eksplosion

Sikkerhedsafstanden bør afspejle risikoen for eksplosion, som primært er en risiko ved en ikke antændt 'thermal runaway' eller efter slukningsarbejdet i førsteindsatsen, hvis 'thermal runaway' fortsætter, særligt fra batterier i lukkede rum.

Hvor voldsom en eksplosion vil blive afhænger også af placering af batterierne, af konstruktionen, og hvor god den (bygning eller container) er til at modstå trykket eller trykaflaste. Det vil kræve viden om den bygningstype, hvor BESS-anlægget er placeret.

En tidlig kontakt til ressourceperson eller producenten af batteriet med viden om opbygning af anlægget kan bidrage til risikovurderingen.

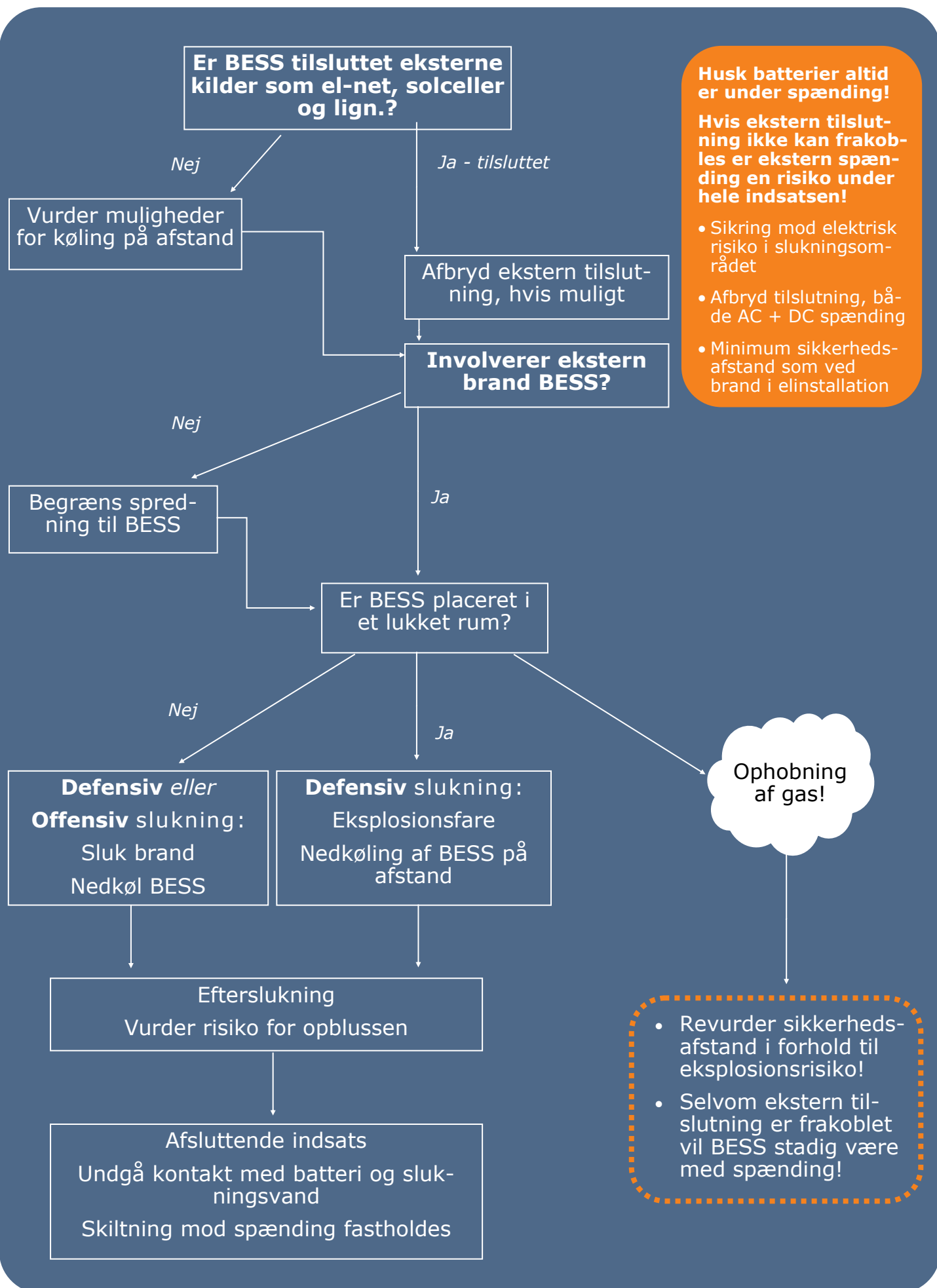
C. Fare for en atypisk brand

Sikkerhedsafstanden bør tage højde for en potentiel voldsom og hurtigudviklende brand, hvor ændringer i vindforhold og vindretning kan være afgørende for førsteindsatsen.

Afhængigt af placeringen af BESS-anlæg og indretningen af BESS-anlægget kan adgang til batterierne med henblik på køling samt forsyning fra flere sider være udfordrede.

Herudover vil BESS-anlæg ofte være placeret i containere eller bygninger (med forskellige muligheder for trykaflastning), hvorfor der også bør tages højde for eksplosionsfaren, herunder risikoen for et bygningskollaps.

Figur 8. Beslutningstræet på næste side viser en generel tilgang, som kan anvendes i førsteindsatsen, hvor der endnu ikke er andre anvisninger fra producenten.



Relevante oplysninger

Indsatsen bør ses som en kombination af flere kendte brandmæssige udfordringer, f.eks. slukning af brand i en elinstallation, afgangning og eksplosion i lukkede rum. Det er afgørende at indsamle så mange oplysninger som muligt i relation til nedenstående punkter. Hvornår i indsatsen oplysningerne er relevante, vil være en konkret vurdering.

1. Situationsbedømmelse

- Visuelt (evt. fra anmelder, ressourceperson)
- Formodning om 'thermal runaway' og gasser, som ikke er antændt
- Redning Klasse 1 personer
- Mandskabets sikkerhed

2. Risikovurdering, herunder særlige farer

- Er der fare for:
 - A; elektrisk stød?
 - B; afgangning og eksplosion?
 - C; en voldsom eller atypisk brand?
 - Andre?

3. Tidlig kontakt til ressourcepersoner

- Kan der tages kontakt til:
 - Ressourceperson, tekniker eller installatør med kendskab til anlægget?
 - Kollega/sagsbehandler med kendskab til anlægget?
 - Kontakt til beboer/brugere af anlægget?

4. Undersøgelse af bygningen

- Er der nogen oplysninger om BESS-anlæg eller andre batterioplæg i bygningen?
- Er der solceller på bygningen? Hvor mange og hvor er BESS-anlæg placeret?
- Er der helt eller delvist lukkede rum omkring anlæg og batterierne eller tilstødende rum, hvor ophobning af gasser er mulig?

5. Muligheder for sikker afbrydelse

- Er der mulighed for at afbryde strømforsyningen til og fra BESS-anlægget?
- Selve batterierne og solcellepaneler kan ved sollys) kan ikke gøres spændingsløse!

6. Undersøgelse af afgangning fra BESS-anlæg eller batterier

- Er der nogen mislyde, lugte, synlig damp eller røg? Synlige flammer?

- Er der afgangning, som kan medføre eksplosion i helt eller delvist lukkede rum? Hvor vil der kunne være spredning af tunge og lette gasser?
- Er lokalisering af temperaturer og varmeudvikling mulig? Er BESS-anlægget/batterierne omfattet eller truet af brand?

7. Ventilations- og sikkerhedsforanstaltninger

- Er der mulighed for at ventilere rummet?
- Findes der fastinstallerede sprinkleranlæg, køleanlæg, gasslukningsanlæg mv. i rummet?
- Gives der andre sikkerhedsafstande i forhold til spænding, røg, gasser (tung/let), eksplosion?

8. Anden vigtig infrastruktur

- Er der tilgængelig vandforsyning og er den tilstrækkelig til køling af branden under hele indsatsen?
- Hvad er adgangsvejene til BESS-anlægget eller batterioplægget?

9. Taktiske muligheder - brand/risiko for brand

- Er der behov for en offensiv taktik, og er den mulig og forsvarlig?
- Vil køling være effektivt?
- Er der behov for indvendig slukning?
- Kan producentens anvisninger for håndtering af en brand følges?
- Er der behov for kapacitetsopbygning, støtteværktøjer, ledelsesstøtte eller assistance?
- Hvordan placeres udrykningskøretøjerne, sikkerhedsafstande mv. ift. en effektiv indsats samt risikoen for en kraftig udvikling af branden?

Videregivelse af relevant information

- Er der relevante oplysninger, som bør videregives ved afslutning af indsatsen?
- Oplysninger om hvornår skadestedet kan frigives?
- Personer der har været eksponeret for afgangning eller brandrøg?
- Hvad er den anslåede resterende brandbelastning fra anlæg/batterier og temperatur i batterierne?
- Hvordan sikres minimering af følgeskader på BESS-anlæg og mulighed for fortsatte drift efter indsats?
- Kan der gives handleanvisninger for genopblussen af brand i batterierne til øvrige aktører?

Et BESS-anlæg er en elektrisk installation

Et BESS-anlæg kan sidestilles med en elektrisk installation, og bør derfor tilgås som en brand i enhver elektrisk installation i forhold til forsyning fra flere sider, høj elektrisk spænding og sikkerhedsafstande ved slukning af brand i installation. Der henvises til elsikkerhedslovens § 3, som omhandler sikkerhedskrav mv.

Der indsættes ud fra en risiko for, at der kan være spænding på visse dele af anlægget, da batterierne er ikke-afbrydelige energiforsyninger. Eksempelvis vil BESS-anlæg, som er tilsluttet et solcelleanlæg være med spænding både i BESS-anlægget og i selve solpanellet (sollys/anden lyskilde).

Brandfolk er instruerede i at bemærke risici og undgå farer, men ikke uddannet i at afgøre, om der er spænding i en komponent, medmindre de kan betegnes som sagkyndige personer og har en uddannelse som f.eks. elinstallatører, elektroingenører og elektroteknikere mv.

Det kan være vanskeligt for personer uden indgående teknisk indsigt at vurdere elektriske spændinger og kapaciteter for et BESS-anlæg. Ovenstående tiltag kan eventuelt anvendes ved hændelser, der omfatter andre typer og størrelser af lithiumbatterier, og kan formentlig også benyttes under indsatser ved brand, som omfatter el-løbehjul, el-cykler, el-biler osv.

Eksempelvis har et el-løbehjulsbatteri en forholdsvis lav effekt og spænding, som ikke umiddelbart udgør en risiko for mennesker, imens forsyningskilden vil være tilsluttet el-nettet, som med sine 230V, udgør en risiko for det indsatte mandskab.

Tilsluttet eller ikke tilsluttet BESS-anlæg?

Håndtering af en brand i et BESS-anlæg, som er tilsluttet el-nettet, solceller og lign., kræver en del af det indsatte mandskab, da de både skal håndtere selve branden i batterierne samt risikoen for høj spænding, jf. reglerne for arbejde med spænding.⁸

Desuden bør der tages hensyn til den elektriske energi ('stranded energy'), der er indeholdt i selve batteriet. Det er derfor væsentligt at konstatere, hvorvidt anlægget er tilsluttet en forsyningskilde, samt hvilke spændinger denne leverer.

Et fejlbehæftet batteri, der får tilført energi i form af elektrisk spænding, har større risiko for, at skaderne, som ofte består af elektrisk kortslutning, bliver forværret/accelereret.

Som udgangspunkt vil det være hensigtsmæssigt under indsatsen at afbryde forsyningen, uagtet om BESS-anlæg er direkte påvirket, dvs. fejlbehæftet eller er indirekte påvirket og dermed i risiko for at blive truet af varmeudvikling eller en brand.

Der bør så vidt muligt ske en frakobling mellem spændingsførende dele og de dele af BESS-anlægget, hvor der er behov for en slukningsindsats. Spændingsførende dele vil være selve batteriet, men dækker også over komponenter og tilslutning til el-net, solceller mv.

Indsatsen bør derfor gennemføres med den antagelse, at der kan være spænding på alle dele af anlægget, indtil en kvalificeret person kan afgøre andet med sikkerhed. Herefter kan der iværksættes målrettet slukning eller køling.

Indsatstaktikken kan baseres på en grundlæggende tilgang, som forventeligt kan anvendes ved de fleste typer af indsatser, hvor der ikke foreligger relevante sikkerhedsprocedurer fra producenten. Styrken herved er, at indsatsmandskabet indsættes på velkendte taktikker uagtet størrelsen på BESS-anlægget.

Brand- eller kemiindsats?

Batterierne er kemiske energilagere, hvor reaktionerne er meget temperaturafhængige, og hvor slukning af den igangværende 'thermal runaway' kan være kompleks. Det skyldes, at branden ikke som vanlig kan slukkes, jf. brandtrekanten, med fjernelse af ilt og brændbart materiale. Gasserne vil desuden kunne brænde uden en synlig flamme, og selve afgasningen vil kunne forveksles med en brandrøg.

Der foreligger for nuværende ikke eksakt fastlæggelse af værdier for giftigheden eller brandfarligheden af afgasning eller brandrøg fra batterierne, idet dette afhænger af en lang række faktorer og varierer fra batterityper og -anlæg.

Man har i en årrække haft fokus på tilstedeværelsen af hydrogenfluorid (HF-gas) ved brande, der omfatter litiumionbatterier, herunder relativt stor bevågenhed omkring, hvilke risici stoffet medførte for indsatsmandskabet. Forgiftning med flussyre ses dog relativt sjældent.¹¹

Svenske studier har vist en indsatstid (i brandrøg fra litiumionbatterier) på op til cirka 60 minutter, hvor røgdykkerens sikkerhed ikke kompromitteres mod den tidligere mere konservative tilgang med en begrænsning af røgdykning i røg fra litiumionbatterier til cirka 10-15 minutter.¹²

Dette var dog forudsat, at mandskabet var iført en beskyttende indsatsmundering (isolerende og svedtransporterende underbeklædning), fuld ånde- drætsbeskyttelse, samt blev afrenset korrekt og ud fra en generel betragtning om, at de skulle mindst muligt i kontakt med forurenede partikler fra deres under- og indsatsmundering.

I bilag 5 uddybes brugen af værnemidler.

En kraftig varmepåvirkning af litiumionbatterier f.eks. ved en brand i eller omkring batterierne, kan ikke kun betragtes som en traditionel brand. Risikoen for afgasning fra batteriet, herunder brændbare og giftige gasser, må nødvendigvis medtages i risikovurderingen tidligt i indsatsen og være med til at definere mål og strategier for indsatsen og indsatstiden.

Det kan være vanskeligt at opstille eksakte anvisninger for røgdykkernes indsatstid i kontakt med brandrøg eller afgasning fra batterierne. Ved behov for indsættelse længere tid end ca. 2 flasker luft bør der dog være en revurdering af hensigten med at sende samme røgdykker ind.

Placering i det fri eller lukket rum?

Det kan være afgørende for kvalitet i indsatsen tidligt at konstatere, hvorvidt der er tale om BESS-anlæg i det fri eller i lukkede rum.

Såfremt der er tale om et BESS-anlæg i det fri, er der større mulighed for at indsatsen kan begrænses til alene at omfatte BESS-anlægget og de risici anlægget i sig selv medfører, herunder risiko for elektrisk stød, særlig giftig brandrøg, langvarig indsats mv.

De fire risikoniveauer afspejler denne sondring og kan være et værktøj til den tekniske ledelse i forbindelse med dennes risikovurdering. Generelt vil det være graden af indesluttethed og rummet størrelse som er afgørende, jf. tidligere beskrivelse.

Det er vigtigt at holde sig for øje, at et batterioplæg eller BESS-anlæg, som er placeret i det fri, og som umiddelbart ikke udgør en trussel imod bygninger eller andet, faktisk kan udgøre en væsentlig risiko for mandskabet, såfremt det er placeret i en lukket enhed, som eksempelvis i en lukket container, skur, installationsskakt, maskinrum eller lignende. Dette skyldes risikoen for ophobning af brændbare gasser, som kan antændes og medføre tilskadekomst i løbet af indsatsen.

Der bør generelt udvises 'forsigtighed', når tidsrammer og restriktioner for røgdykning fastlægges. Der bør bl.a. være fokus på risikoen for ophobning af brændbare gasser (eksplosionsfare), hvilket kan forekomme forud for en synlig brand i BESS-anlæg, hvor batterierne er fejlramte, opvarmes af en ekstern brand eller før konstatering af brand.

Er anlægget placeret indendørs i bygninger eller andre steder, hvor brandrøg eller andre giftige- eller brændbare gasser ikke umiddelbart, eller vanskeligt kan bortventileres, eller hvor brandsmitte udgør en trussel, vil dette kunne komplicere indsatsen nævneværdigt. Dette bør medføre en væsentlig forøget risikovurdering samt behov for allokering af markant flere ressourcer og anden indsatsstrategi.

Når begrebet 'i det fri' eller 'i et lukket rum' anvendes operativt, må betydningen være tydelig for mandskabet, således, at 'i det fri' alene anvendes når der er tale om et BESS-anlæg, hvor ophobning af brændbare gasser i et lukket eller delvist lukket rum ikke kan forekomme.

5. Udfordringer for den tekniske ledelse

Nedenstående beskriver udfordringer, som den tekniske ledelse kan afklare i forbindelse med de taktiske mål for den samlede indsats. De udføres efter behov og revurderes efter førsteindsatsen.

I bilag 7 uddybes den tilgængelige basisinformation, som kan om muligt findes på skadestedet.

Situationsbedømmelse og Skadestedsopbygning

Hurtig vurdering af situationen ved ankomst, herunder opbygning af skadestedet og fastlæggelse af konservative sikkerhedsafstande, som tager højde for indsatsens udfordringer. Kontakt til ressourceperson.

Ressourceforbrug og Kapacitetsopbygning

Forventning om øget ressourceforbrug, kapacitetsopbygning, herunder vandforsyning, andre aktører og anvendelse af teknologi som droner, robotter og termisk kamera.

Indsatsens udfordringer

Analyse af brandens udvikling, fejl i BMS (Battery Management System), batteriets bidrag til en brand (f.eks. State of Charge (SoC), 'stranded energy'). Tilslutning af BESS-anlægget til el-nettet, solceller og lign. samt mulighed for at frakoble. Nærmere afdækning af udsivende gasser (afhængigt af batteritype), og hvorvidt det er tunge eller lette gasser.

Risikovurdering

Afdækning af elektriske komponenter, evaluering af bygningsforhold, risiko for en eksplosiv atmosfære i lukkede rum og tilstødende hulrum, afvejning af både brandmæssige og kemiske risici. Overvejelse af overordnet flow-diagram for indsats.

Håndtering af højspænding

Sikker frakobling fra el-nettet. Anvendelse af udstyr og værktøj som er godkendt til arbejde op til 1.000 V. Sikker slukning for at undgå spænding i slukningsvand.

Indsatstaktik

Valg af passende indsatsstrategi (defensiv eller offensiv) og udvikling af taktisk plan. Prioritering af indsatsen og fastsættelse af mål. Teknik – penetrering af batteriet, metoder til køling af batteripakken, muligheder for udluftning/ventilering.

Teknisk viden

Forståelse af brandmæssige krav til oplag eller BESS-anlæg samt brug af ressourcepersoner. Kompetence til teknisk ekspertise ved penetrering af batteriet og håndtering af eventuelle tekniske udfordringer, som afbrydning af strøm.

Detektering og Eksponering

Identifikation og håndtering af brandrøg eller farlige gasser fra batteriet. Evt. kontakt til Kemisk Beredskab.

Samarbejde og Kommunikation

Effektiv koordinering med indsatsledelsen, politi, sundhedsberedskabet og evt. evakuering af borgere. Opnåelse af basisinformationer som kontakt til ressourcepersoner og producenter samt korrekt afmærkning og skiltning. røg- eller gasudvikling, behov for varsling.

Personligt sikkerhedsudstyr (PPE)

Mandskab og røgdykkere, som arbejder i fareområdet bør anvende passende PPE (indsatsmundering og værnemidler) til beskyttelse mod elektrisk stød, gasser og brand. PPE bør være godkendt til arbejde op til 1.000 V. Procedurer for 'Ren Brandmand' og mandskabets sundhed kan have en skærpet opmærksomhed.

Vandanvendelse og Skadeforværring

Brug af vand til brandslukning i BESS-anlæg kan medføre totalødelæggelse af anlægget samt øget risiko for elektrisk stød. Derfor er det vigtigt at planlægge og være opmærksom på sikkerhedsafstande.

Håndtering af slukningsvand og Sanering

Sikker håndtering af slukningsvand samt efterfølgende sanering og rensning af mandskab og materiel. Kontakt til miljømyndigheder, skadesservice m.fl.

Forudgående Planlægning og Informationsindsamling

Forberedelse af teknisk indsats med fokus på bygningsforhold og lukkede rum. Sikring af adgang til basisinformationer og indsatsplaner. Sammenspil med ressourcepersoner og producenter, især i tilfælde af fjernstyrede anlæg uden personale til stede.

Generelle huskeregler "BESS"

Der er udarbejdet en generel huskeregel til håndtering af de forskellige risici under indsatsen (Figur 10), som bl.a. viser vigtigheden af at fjerne varmen fra branden, begrænse brandspredning ved at påbegyn- de køling af batteriet. Herudover vil batterierne og alle tilsluttede dele kunne give stød. Batterier udleder giftige og brandfarlige gasser, når de fejler, hvilket kan medføre eksplosionsrisiko ved ophobning af gas- ser.

1. Fjern varme, begræns spredning, påbegynd køling
2. Antag altid, at batterierne er fuldt opladte og tilsluttet el-netværket
3. Batterier og alle tilsluttede dele kan give stød
4. Ifør dig altid rette værnemidler (PPE, Personal Protective Equipment)
5. Batterier udleder giftige og brandfarlige gasser, når de fejler
6. Ophobning af gas kan eksplodere afhængig af nedre og øvre antændelsesgrænse i atmosfæren
7. Gå derfor aldrig ind i lukkede eller delvist rum inden bortventilering af gasserne
8. Ventilering og monitorering foretages på afstand
9. Hvis der er brand og antændelse, vil gasser forventeligt være et mindre problem
10. Lokaliser ressourcepersoner (tekniker/producent, bygningsejer, beboere m.fl.)

B	E	S	S
Betragt situationen	Evaluer dine muligheder	Sluk for strømmen	Sænk temperaturen
Afgasning og brand i et lukket rum kan medføre en eksplosionsfare!	Adgang og nærhed til at slukke/køle kan være ud- fordret!	Batterier og tilsluttede dele (solcellepaneler) kan give stød!	Begræns branden, men undgå adgang til det luk- kede rum!
• En bygning - eller i det fri? • Et lukket miljø - fare for eksplosion? • Er der behov for per- sonredning, evakue- ring? • Er der flammer? • Er der røg eller gasud- vikling? • Mislyde eller lugte fra batterierne? • Er der farlige objekter tæt på (tanke, oplag, trykflasker)? • Adgangsforhold? • Sikker afstand for ind- sættelse?	• Vurder adgangsforhold, retræte • Lokaliser hoved- afbryder, afbryd efter producents anvisninger • Adgang til kontrolsy- stemer tilgås uden for fareområdet • Inddragelse af ressour- ceperson og indhent- ning af eventuel infor- mation på skadestedet • Ventilering af batteri- rum og eventuelle til- stødende hulrum (efter anvisninger)	• I praksis kan dette væ- re svært, men minimer så vidt muligt risiko for stød ved at afbryde strømførende dele, dvs. ladestrøm, hovedafbry- der m.v. inden køling og slukning startes • Selve batteriet kan ikke gøres spændingsløs, ligeledes gælder solcel- lepaneler (sollys/anden lyskilde) • Om muligt vurder eller kontrollér risiko for 'stranded energy' og State of Charge (SoC)	• Stop om muligt bran- den i/ved batteri, men på afstand, undgå brandspredning • Brande i batteri kan 'håndteres' ved køling og ventilering over tid. • Defensiv taktik med kontrol af batteribran- den med fokus på kø- ling eller kontrolleret nedbrænding • Monitorering af skade- stedet. Batterier kan selvantænde efter sluk- ningsarbejdet • Stabil og tilstrækkelig vandforsyning

Figur 10. Denne generelle huskeregel 'BESS' kan anvendes, og den eksemplificeres under det enkelte scenarie. Inspiration fra NFPA Energy Storage Systems Training Program.¹³

Fastlæggelse af sikkerhedsafstande og fareområde

Der vil ofte være behov for store mængder vand for at undgå at branden spreder sig, dvs. en defensiv tilgang med køling af enheden kan være mindre effektiv, når mandskabet ikke kan komme tæt på batterierne på grund af sikkerhedsafstanden. Sikkerhedsafstande afspejler de særlige farer A-C, som beskrives i kapitel 3.

	Før brand	Brand	Efter brand
Situation	Afgasning, evt. røg, men ikke synlige flammer	Tydelige flammer	Ingen røg
Risiko i forhold til brændbare gasser	- Opbygning af røggasser med risiko for antændelse af brændbare gasser - Der kan være fragmenter fra batteri (særligt små og ikke fastholdte batterier) - Underventileret/ ufuldstændig brand med risiko for eksplosion - Fareområde sættes i forhold til batteriets størrelse (risikoniveau 1-4, se figur 13), bygningsgeometri/ mulighed for dækning af mandskabet	Risikoen for mandskabet kan ved antændelse af de brændbare gasser anses for lavere end før en antændelse	- Risiko for at batteri genantænder (brændbare gasser) og afgiver røggasser/ dampe - Batteriet bør om muligt flyttes til et sikkert sted/ karantæneplads - Begræns adgang til området med batteriet - Overvåg batteriet og temperaturudviklingen
Risiko i forhold til røggasser (giftighed)	- Særlig opmærksomhed på, at røggasser kan være stærkt koncentrerede - Der benyttes fuld ånde- drætsbeskyttelse	- Fareområdet er direkte relateret til røgfanen og rummet med brand - Der benyttes fuld ånde- drætsbeskyttelse	- Risiko for afdampning af gasser - Begræns adgang til området med batteriet - Overvåg batteriet og temperaturudviklingen - Særlig opmærksomhed på brug af værnemidler - Der benyttes fuld ånde- drætsbeskyttelse

Figur 11. Opmærksomhed på risici (røg og gasser) før, under og efter branden.

Sikkerhedsafstande, risiko A

Følgende anbefalinger for sikkerhedsafstande til elektriske brande tager udgangspunkt i ferskvand, som slukningsvand. Der arbejdes med en sikkerhedsafstand svarende til vandydelse, strålebillede og slukningsudstyr, som anvendes til andre typer af brande i elektriske installationer.

	Højspænding (ukendt)	380 kV (kendt)	230 kV (kendt)	30 kV (kendt)	Lavspænding (ukendt) 1 kV
Samlet stråle	10 m	8 m	7 m	5 m	5 m
Spredt stråle	5 m	5 m	4 m	3 m	1 m

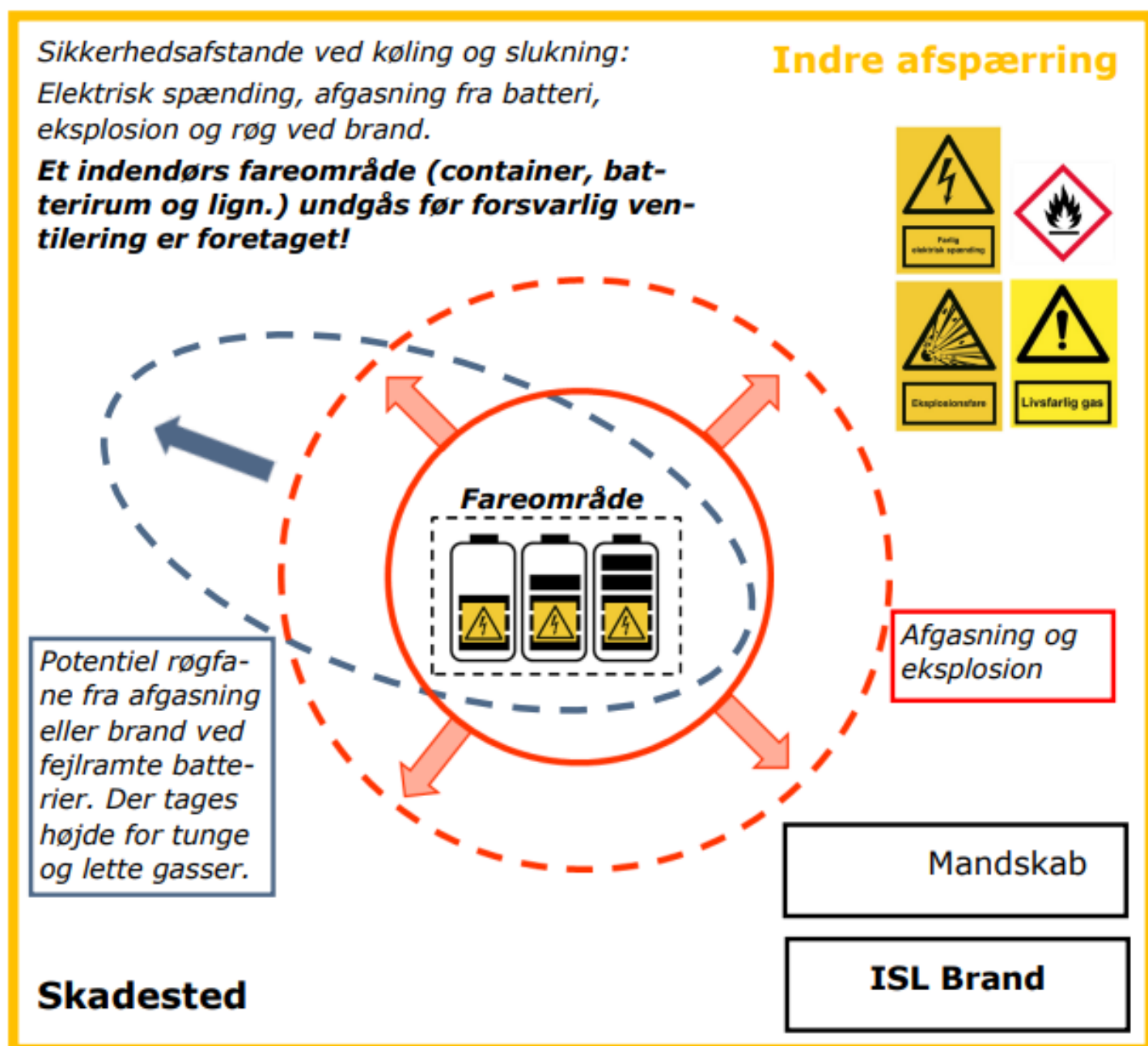
Figur 12. De nævnte sikkerhedsafstande for hhv. ukendt og kendt spænding (VDE 0132). Udstyr vil ofte være godkendt jf. VDE 0132, og i mange installationer vil spændingen være lavspænding.¹⁴

Sikkerhedsafstande, risiko B og C

Følgende afstande kan anvendes under fremkørsel, situationsbedømmelse førsteindsatsen.

Risikoniveau	Batteritype	Sikkerhedsafstand	Begrundelse
Niveau 1	Enkelte, mindre batterier i det fri eller i et produkt.	10 m	Sikkerhedsafstand relaterer sig primært til spredning af batterier eller dele af batterier (fragmenter).
Niveau 2	Batterier i køretøjer eller oplag – i det fri.	25 - 50 m	Sikkerhedsafstand sættes for at sikre et passende arbejdsområde omkring et elektrisk køretøj. Sikkerhedsafstand kan reduceres ved dækning af faste konstruktioner eller bygninger, baseret på en konkret vurdering.
Niveau 3	Større batterier og oplag placeret i bygning eller et lukket rum.	50 m	Sikkerhedsafstand sættes for at sikre et passende arbejdsområde. Situation samt bygningen eller konstruktionen, hvor batteriet er placeret, kan være afgørende for, at der arbejdes med større eller mindre sikkerhedsafstand.
Niveau 4	BESS-anlæg, større tekniske anlæg og installationer.	50 - 100 m	Sikkerhedsafstanden sættes for at sikre mod ukontrolleret trykaflastning fra adgangsdøre til rum med batteri, containerdøre, samt evt. ventilationsåbninger. Som udgangspunkt vil faste konstruktioner yde sikkerhed, og sikkerhedsafstand vil kunne reduceres.
Den tekniske ledelse	Alle batterier under fremkørsel og situationsbedømmelsen.	Niveau 1: 50 m Niveau 2-4: 100 m	Da situationen, herunder afgangningen fra batteriet formentlig vil være ukendt kan der under situationsbedømmelsen som udgangspunkt køres frem til hhv. 50 og 100 m, hvorefter sikkerhedsafstanden efter en konkret vurdering af f.eks. vindretning, reduceres med henblik på indsættelse med fuld åndedrætsbeskyttelse.

Figur 13. Sikkerhedsafstande i relation til risikoniveau 1-4.



Figur 14. Opbygning af skadestedet og mandskabets muligheder for at foretage køling af batterier eller slukning af brand skal på baggrund af sikkerhedsafstande afspejle de risici, der er ved arbejde nær en elektrisk installation, afgasning fra batterier, eksplosion i et indesluttet miljø og røgudvikling ved brand. Desuden bør der afspærres og skiltes ikke mindst ved overdragelse af skadestedet til andre aktører. Sikkerhedsafstande vil derfor kræve en revurdering af en afstand på 50-100 m ved fremkørsel og den tekniske ledelses situationsbedømmelse til en afstand på ned til 10 m, jf. de relevante sikkerhedsafstande som vist i figur 12 og 13.

I bilag 8 uddybes skadestedets opbygning.

Anvendelse af CBRNE-procedurer

På mange punkter kan en indsats ved en brand i et BESS-anlæg kategoriseres som en slukningsopgave, afhængigt af varmeudvikling eller brand i batterierne. Der kan dog være forhold, som kan ansues med udgangspunkt i procedurer fra en CBRNE-hændelse.

- A. Ved CBRNE-hændelser skelnes mellem, hvorvidt der er tale om en kendt eller ukendt stoftype (C, B, R, N eller E). På den baggrund kan det relevante ekspertberedskab aktiveres.

Bemærk under A, at det i forbindelse med indsats i BESS-anlæg forventeligt vil være C – altså Beredskabsstyrelsens Kemisk Beredskab – der om nødvendigt kan kontaktes eller aktiveres. Trods risikoen for eksplosion, er det ikke en detonation i den forstand, at aktivering af EOD vil være relevant i relation til batteribranden.

- B. Der kan endvidere skelnes mellem, om der er afgasning i lukket rum eller i det fri. Hvis gassen er indelukket kan der være behov for en særlig indsats, hvis der er mistanke om en eksplosiv atmosfære eller der foreligger en fare for udslip, der kan medføre skader på personer, ejendom eller miljø.

Bemærk under B, at der potentielt vil være afgasning af brændbare gasser fra et eller flere batterier, hvorfor der er behov for en akut redningsindsats. I et lukket rum vil der hurtigt kunne dannes en eksplosiv atmosfære pga. afgasning fra batteriet. Ved behov for en livreddende indsats bør adgang til et lukket rum og indsættelse i nærhed af BESS-anlægget overvejes nøje af hensyn til mandskabets sikkerhed.

- C. Personer, som er blevet eksponeret for visse CBRNE-stoffer, vil i nogle tilfælde meget hurtigt udvikle sygdomstegn, og i den situation aktiveres sundhedsberedskabet. Dette gælder især ved eksponering for en række kemiske stoffer.

Bemærk under C, at indsatsmundering og udstyr potentielt vil være kontamineret med gasser og stoffer fra batterierne. Det kan ikke udelukkes, at der kan være aflejring af metaller på overflader m.m. Slukningsvand vil potentielt kunne indeholde sundhedsskadelige og miljøskadelige stoffer samt have en ændret pH værdi. Der er tale om en potentiel fare, hvor der bør være særlig opmærksomhed rettet mod personer med symptomer på forgiftning.

Ved kontakt til et ekspertberedskab som Kemisk Beredskab er det vigtigt, at der er fremskaffet så mange fakta om hændelsen som muligt, herunder eksempelvis:

- Beskrivelse af lokalitet og hændelse
- Fysisk-kemiske kendetegn for det eller de involverede stoffer:
 - Datablade og/eller mærkning på emballage
 - Tilstandsform
 - Mængde, farve, lugt og udseende
- Evt. antal eksponerede eller tilskadekomne personer samt deres symptombillede

I bilag 3 uddybes forhold omkring indsatskemi ved brand i BESS-anlæg.

6. Scenarier og Action Cards, risikoniveau 2-4

De beskrevne scenarier gennemgår en række opmærksomhedspunkter i forhold til risikovurdering og taktiske overvejelser. Der er særligt fokus på risikoniveau 2-4, som beskriver risikoen afhængig af størrelse og placering af BESS-anlægget.

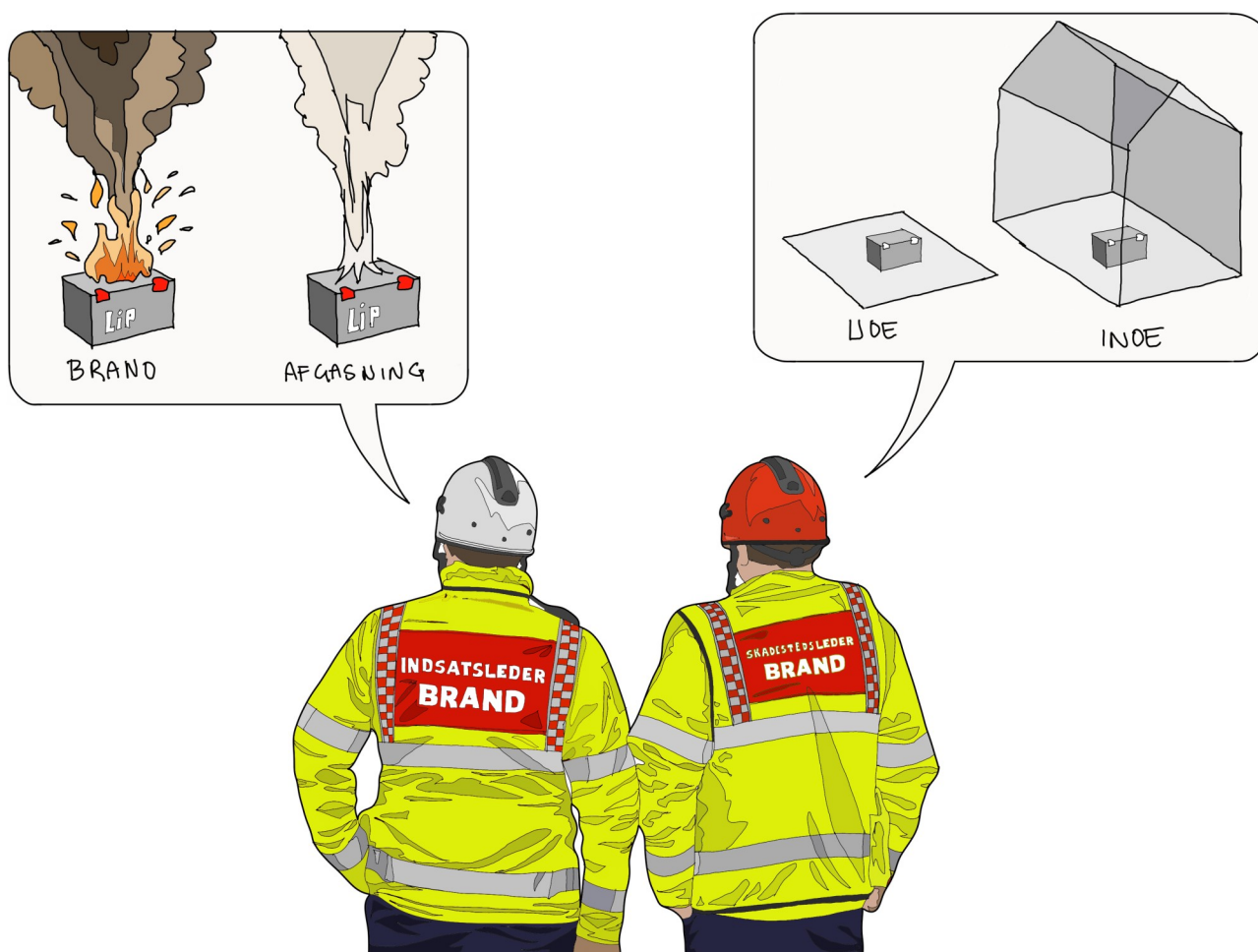
Scenarierne er naturligvis ikke dækkende for alle tænkelige hændelser, men kan underbygge forståelsen af de særlige farer og risikoniveauer, som er beskrevet i temahæftet.

I bilag 1 uddybes brandslukning i et BESS-anlæg yderligere i en case.

Scenarier

- I. Privatbeboelse med BESS-anlæg i det fri
- II. Privatbeboelse med indendørs BESS-anlæg
- III. Mobilt BESS-anlæg i container på havn
- IV. Brand i entreprenørmaskine på byggeplads
- V. Lagerhal med BESS-anlæg i containere og oplag i hal
- VI. Større BESS-anlæg som nødstrøm - koblet til solceller

Det enkelte scenarie er opbygget i to dele: I første del præsenteres selve scenariet med en beskrivelse af:	– Hændelse og melding: Førstemeldings ordlyd og supplerende melding – Tidspunkt, vind- og vejrforhold – Førsteudrykningen – Situation ved ankomst – Ressourceperson
I anden del gennemgås en række forslag til taktiske overvejelser mv., der kan betragtes som inspiration og refleksion over, hvorledes det givne scenarie kan løses med de specifikke ressourcer, værktøjer mv. der rådes over. Udrykningssammensætningen vil variere fra beredskab til beredskab, men vil formentlig bestå af en autosprøjte og evt. en indsatsleder afhængig af den pågældende førstemeldings ordlyd. Der er i de fleste af scenarierne beskrevet overvejelser i forbindelse med kapacitetsopbygning, når eller før ISL og udrykningsenheden ankommer.	– Situationsbedømmelse og mulig sikkerhedsafstand – Forslag til førsteindsats – Taktiske overvejelser - huskeregel BESS (action card) – Indsatstaktik (action card) - MMI – Mål Med Indsatsen: Udgangspunkt i "SMART" (<u>S</u>pecifikt; <u>M</u>ålbart; <u>A</u>mbitiøst; <u>R</u>ealistisk; <u>T</u>idsbestemt) - Taktisk Plan: Udgangspunkt i "IDA" (<u>I</u>ndledningsvist; <u>D</u>ernæst; <u>A</u>fslutningsvist) - Kapacitetsopbygning: Hvilke ressourcer skal vi have klar, hvis hændelsen udvikler sig uventet? - Kompetenceopbygning: Hvilke kompetencer får vi behov for, hvis hændelsen udvikler sig uventet, eller vi vil sikre, at vi ikke overser noget? - Plan B: Hvad er vores taktik, hvis hændelsen udvikler sig uventet? - Erkendelse og Evaluering: Har vores indsats/tiltag den forventede effekt? Er "kurven knækket"? Eller skal vi iværksætte noget andet/andre tiltag/anden taktik/plan B? Er det indledningsvise MMI fortsat relevant, fyldestgørende, optimalt, eller skal det revideres/sættes et nyt? - Overdragelse af skadestedet: Hvem overdrages skadestedet til? Er de "klædt på" til at overtage? Er de bekendt med de risici, der er forbundet med et beskadiget BESS-anlæg - eksempelvis risikoen for genantændelse i op til 48 timer samt risiko for udsivende gasser?



Illustrationen viser den basale forståelse af, om der er tale om brand eller 'thermal runaway' i batterierne, og hvorvidt BESS-anlægget er placeret ude eller inde. Disse forhold bør være en del af situationsbedømmelsen og bidrager til de taktiske overvejelser og håndtering af indsatsen.

Illustration: Hovedstadens Beredskab

Scenarie I: Privatbeboelse med BESS-anlæg i det fri (niveau 2)

Hændelsen:

Udrykning til et villaområde, hvor der er observeret røg fra en etplans familiebolig. Der holder en elbil i en carport ud til vejen. Et 13 kWh BESS-anlæg, som er placeret i et kabinet/el-skab op af boligen men i det fri, er tilkoblet til ladestander i carporten samt beboelsen. Der er solceller på et fladt tag, som ligeledes er beplantet (grønt tag).

Scenariebeskrivelse	
Tidspunkt: 15. juni 2023, kl. 13.30	Vejr: Skyfrit, høj sol, 25 °C, 6 m/s fra vest
Hændelse og melding Første meldings ordlyd: Røg fra Villa/Rækkehus Supplerende melding: Røg fra el-skab ved villa med risiko for røg- og brandspredning til bygning og carport. Anmelder er nabo, som tager imod på adressen. Der er solceller på taget. Førsteudrykning ISL - ankommer 4 min efter udrykningsenheden MR1 (Motorredningssprøjte) + V1 (Vandtankvogn) HL + 5. Situation ved ankomst Hvidlig røg/afgasning fra BESS-anlæg placeret på terræn, op af gavlen på en cirka 180 m² etplans murstensvilla med fladt 'grønt' (beplantet) tag, hvor der ligeledes findes solceller. Der er ikke umiddelbart synlige flammer fra kabinet. Ressourceperson Naboen kan oplyse, at kabinettet/el-skabet, hvorfra det ryger/afgasser, rummer et BESS-anlæg, som oplades af solcellerne på taget. Han ved ikke, om der er nogen hjemme.	

Situationsbedømmelse		
Delelement	Vurdering	Noter
Mennesker el. dyr i fare?	KL 1 – Nej	Huset skal dog eftersøges for en sikkerheds skyld i tilfælde af afgasning og røgspredning.
Hvor?	BESS-anlægget er placeret i et kabinet op af boligen, men i det fri.	Fareområdet er foreløbigt baseret på afgasningen. Niveau 2 grundet batteriets størrelse og placering i det fri.
Hvad?	Elektrisk brand i batterier/BESS-anlæg (13 kWh á 2x 6,5).	Muligvis forårsaget af kortslutning, overladning, overophedning, fysisk defekt eller lignende i batterierne eller kabinettet.
Hvorhen?	Røg/gas kan muligvis trænge ind i huset. Spredning af en evt. brand til vegetation, husets tag eller til carport?	Ved ankomst brænder det ikke med synlige flammer, men det kan ikke udelukkes, at der kan ske en pludselig og voldsom antændelse, såfremt der har været en afgasning i kabinettet.
Risikovurdering/ særlige farer	<u>Risikovurdering:</u> Solceller på taget som leverer strøm, muligvis kun som supplerende strømkilde i bygningen. <u>Særlige farer:</u> Det fejlramte 13 kWh anlæg med elektrisk kapacitet og spænding. Afgasning i kabinet.	Der vil sandsynligvis være spænding i solpaneler og derved strømføring i kabler mv. Indtil solcellepanelerne er frakoblet BESS-anlægget og øvrige elektriske komponenter, vil de bidrage med spænding. Batterierne i BESS-anlæg kan ikke aflades og bør betragtes som en elektrisk installation med stor spænding, herunder 'stranded energy'. Solcellepaneler vil være med strøm pga. sollys eller andre lyskilder. Da elbilen ikke er under opladning, vil den ikke være en umiddelbar risiko, men kan evt. flyttes væk fra kabinettet eller carport.
Adgangsveje	Fra det fri fra flere retninger.	Der vil være uhindret adgang til at komme tæt nok på til at foretage køling af BESS-anlægget.
Mulig sikkerhedsafstand	Konservativ betragtning: 25-50 m som opstart, da afgasning fra BESS-anlægget udgør en risiko for mulig antændelse. Når afgasning er under kontrol, og der er foretaget kontrolmåling af temperaturudviklingen kan afstanden reduceres.	Afstanden sikrer røgdykkere, samt mandskab og øvrige personer uden apparat mod påvirkning af gas/røg og udslyngning af fragmenter. Der arbejdes primært med en sikkerhedsafstand ift. spænding i el-skab/kabinet. Revurdering af sikkerhedsafstand, hvis der bl.a. kan anvendes termisk kamera – Varmepåvirkning af BESS-anlæg? – Afgasning i området— eller er den blæst væk? – Hvor meget røg? – Adgangsvej til området? Er det gennem carporten, skal elbilen evt. flyttes mv.? – Andre kilder i f.eks. carporten, der kan forårsage antændelser i fareområdet? – Er der sket en afgasning til boligen eller carporten?

Dilemmaer:

Køling/slukning af BESS-anlægget vanskeliggøres af det forhold, at anlægget forsynes af strøm fra solcellerne, som udgør en fare for mandskabet. Der skal håndteres minimum to strømkilder fra hhv. solceller og BESS-anlægget.

Anlæggets battericeller er beskyttet af et antal lag af plast og metal, som udgøres af membraner, indpakning i kabinettet mv. Dermed kan en effektiv køling af de fejlramte celler være vanskelig. Mulighederne er derfor umiddelbart reduceret til at køle/sikre omgivelserne, dvs. kabinet og facaden.

Da afgangningen formentlig vil være naturligt ventileret væk (vind 6 m/s), kan sikkerhedsafstanden muligvis reduceres. Der bør dog være opmærksomhed på, at der fortsat vil være afgangning inde i kabinettet, hvor der kan opbygges et overtryk. Der fastholdes en effektiv køling.

Umiddelbare tiltag/tekniske hjælpemidler:

Om muligt vil et umiddelbart tiltag være at **afbryde strømmen** fra boligen og solcellepaneler til BESS-anlægget, så de fejlramte battericeller ikke 'stresses' yderligere ved opladning. Dette vil desuden afhjælpe/mindske risikoen for elektrisk stød, når BESS-anlægget skal håndteres.

Afbrydelsen bør kunne foretages via husets elektriske installationer. Ellers opfordres der til, at der tages kontakt til en **kompetent ressourceperson** såsom en el-installatør, fabrikant af BESS-anlægget eller anden teknisk assistance.

Såfremt det ikke er muligt at afbryde tilkobling til BESS-anlægget via dertil indrettede installationer, kan det blive nødvendigt at overklippe strømførende ledninger/kabler. I den forbindelse henvises til brug **af udstyr og værktøj, som er godkendt til arbejde med 1000 V.**

Et andet umiddelbart tiltag kunne være at pakke BESS-anlægget ind i eller overdække det med et brandtæppe, således at omgivelserne er beskyttede, hvis anlægget antænder. **Vær opmærksom på, at indpakningen/overdækningen ikke må slutte helt tæt, da afgangningen af brændbare gasser fra anlægget skal kunne slippe ud.**

Et andet alternativt tiltag kan være at **overdække solcellerne med farvet presenning** og derved afbryde produktionen af strøm. Tiltaget vil ikke fjerne spændingen i BESS-anlægget. Desuden vil tiltaget i praksis formentlig være ressourcetungt at gennemføre, bl.a. fordi det kræver adgang til taget og vil være påvirket af vindforholdene.

Der henvises i øvrigt til monitorering af BESS-anlæggets temperatur med **termisk kamera**. Aflæsningen vil ikke give et retvisende billede af den reelle celletemperatur, men kan være en indikator for, om batteriets temperatur er stigende eller faldende.

B – betragt situationen

- Indikation af 'thermal runaway', da der ikke er flammer, men en hvidlig røg/afgasning
- El-skab/kabinet (BESS-anlæg) er placeret i det fri
- Potentielt vil der - hvis batterierne ikke kan køles - være en risiko for eksplosion i kabinettet pga. afgang, samt risiko for, at der opstår en brand med potentiel spredning af brand til bygning

E – evaluer dine muligheder

- Lokaliser afbryderen til strømmen – hensyn både til solceller og BESS-anlæg
- Umiddelbar tilgængelig adgang for køling/slukning
- Ressourceperson (nabo) tilstede
- Der vil ikke være krav om information, skiltning mv. på skadestedet til hhv. solceller, BESS-anlæg og lader til elbilen

S – sluk for strømmen

- BESS-anlæg/batterier, solceller og alle tilsluttede dele kan give stød
- Der vil altid være spænding på batteriet, samt solcellepaneler (ved sollys/anden lyskilde), såfremt de ikke af-dækkes
- Inden køling af el-skab/kabinet afbrydes strøm mellem hhv. solceller, BESS-anlæg og lader til elbilen
- Risiko for 'stranded energy' i BESS-anlæg

S – sænk temperaturen

- Da der ikke er brand, vil køling med vand være en effektiv taktik for at undgå en brand
- Husk sikkerhedsafstand, da der køles direkte på elinstallation
- Monitorer fareområdet, dvs. batterier og el-skab/kabinet
- Batterierne kan selvantænde efter slukning

Risikoniveau 2: Defensiv, kølende med vand i og omkring BESS-anlæg. Der skal arbejdes med sikkerhedsafstand ift. spænding i el-skab/kabinet og solceller pga. sollys eller anden lyskilde.

MMI – Mål med indsats

Et ambitiøst MMI kunne være at undgå, at BESS-anlægget bryder i brand (ved ankomst ses røg/afgasning).

Et mere realistisk MMI kunne være at undgå potentiel brandspredning til omgivelserne, herunder huset og carporten.

Taktisk Plan

I: Afbryde forsyningen til BESS-anlæg og fastgøre et brandtæppe omkring BESS-anlæg.

D: Væde udsatte bygningsdele og omgivelser med vand.

A: Køle BESS-anlægget indenfor relevante sikkerhedsafstande, mens temperaturen monitoreres.

Kapacitetsopbygning

- Potentielt langvarig indsats. Afløsning/forskydning af mandskab, hvis branden spreder sig
- Behov for fast vandforsyning. Taktisk reserve (sprøjte, tankvogn el.lign.), hvis branden spreder sig til bygning
- CO₂ til køling af BESS-anlæg som alternativ til vand

Kompetenceopbygning

- Teknisk kompetent ressourceperson med kendskab til BESS-anlægget og solceller, særligt hvis branden spreder sig
- Ledelses- og stabsstøtte (second opinion). Anden fagspecialist, Kemisk Beredskab eller lignende?

Plan B

Hvis kølingen ikke har den forventede effekt, og en pludselig trykstigning i battericellerne i BESS-anlæg medfører spredning af brændende fragmenter/battericeller, der antænder vegetation eller bygningsdele.

Hvis der er sket uventet ophobning af brændbare gasser i bygningsdele/afsnit (skunk, hulmur, kælderrum eller lign.), og at disse pludselig antændes med eksplosionsagtige hastigheder.

Erkendelse og evaluering

Det kunne være, hvis MMI har været lidt for ambitiøs, og der rent faktisk er sket røg/gasspredning til bygningen.

En del af erkendelsen kan være, at det for nuværende i indsatsen, ikke er muligt at reducere/forhindre temperaturstigning ('thermal runaway') i BESS-anlæg, ej heller spredning af røg/gas til villaen med den taktik, der anvendes.

Overdragelse af skadested

Der kan være tale om et skadeservicefirma, som overtager skadestedet og forsegler/indpakker BESS-anlægget for at beskytte det imod vejrlig på en sådan måde, at forseglingen slutter helt tæt. Dermed opstår en fornyet risiko for, at ny afgasning af brændbare gasser kan ophobes omkring anlægget. Dette medfører risiko for antændelse af ophobede brændbare gasser, som kan udgøre risiko for personer og omgivelser.

Scenarie II: Privatbeboelse med indendørs BESS-anlæg (niveau 3)

Hændelsen:

Udrykning til et villaområde, hvor der er observeret røg fra en to-plans familiebolig (kælder og stueeta-ge). I garagen holder en elbil, som er under opladning. Et 20 kWh BESS-anlæg er placeret i et teknikrum i kælderen. Der er solceller på et fladt tag, som ligeledes er beplantet (grønt tag), hvilket dog ikke kan ses ved ankomst, da det er mørkt. Der er melding om røg fra BESS-anlægget, som er koblet til solceller og ladestander. Der er ved ankomst behov for redning af Klasse 1 personer.

Scenariebeskrivelse	
Tidspunkt: 16. december 2023, kl. 23.30	Vejr: Overskyet, 3 °C, 2 m/s fra nordvest
Hændelse og melding Første meldings ordlyd: Røg fra Villa/Rækkehus Supplerende melding: Røg fra kælder med mulig spredning til stueplan. Det er husets beboer, der er anmelder. Røg/gas fra BESS-anlæg i teknikrum i kælder. Hvidlig, ildelugtende røgspredning. De har lukket døren til teknikrummet. Hustruen er i gang med at få de to børn ud fra husets stueetage. Førsteudrykning ISL - ankommer 3 min før udrykningsenheden MR1 (Motorredningssprøjte) + V1 (Vandtankvogn) HL + 5. Situation ved ankomst Hvidlig røg/gasudvikling fra BESS-anlæg, placeret i teknikrum i ca. 90 m² kælder i en cirka 180 m² to-plans murstensvilla med fladt 'grønt' (beplantet tag). Beboeren oplyser, at han var ved at 'ordne' en samling i anlægget, da der begyndte at komme lyde og udsivning af gas fra anlægget. Der er ikke umiddelbart synlige flammer/brand udvendigt på bygningen, men der kommer røg ud fra indgangsdøren til kælderen. Ressourceperson Husets mandlige beboer modtager beredskabet og oplyser, at BESS-anlægget i kælderen er på cirka 20 kWh. Anlægget bruges som 'buffer' og som supplement til det daglige strømforbrug og oplader ligeledes elbilen, som står i garagen. Ressourcepersonen er i situationen for påvirket til at give oplysning om solcellerne på det flade tag, som ikke kan ses fra indkørsel og haven.	

Situationsbedømmelse		
Delelement	Vurdering	Noter
Mennesker el. dyr i fare?	KL 1 – Ja	Det oplyses, at hustruen og børn opholder sig i huset. Da der ikke er synlige flammer, men en ildelugtende 'røg'/gas i det uventilerede rum, er der en overhængende fare for ophobning- og antændelse af brændbare gasser (eksplosion).
Hvor?	BESS-anlæg placeret i teknikrum i kælderen under huset.	Fareområdet vil umiddelbart være kælderen og afhænger af anlæggets og rummets størrelse, idet dette definerer potentialet for ophobning af brændbare gasser. Der foretages en konservativ vurdering af fareområdet, også i forbindelse med personredning i stueetagen. Niveau 3 grundet anlæggets størrelse og placering i et lukket rum ifm. beboelse.
Hvad?	Elektrisk brand i batterier/BESS-anlæg (20 kWh).	Muligvis forårsaget af kortslutning, overladning, overophedning, fysisk defekt eller lign. Det bemærkes, at anlægget evt. kan være en 'uautoriseret' etablering, da beboeren arbejdede på det.
Hvorhen?	Personfare ved ophold i bygningen, på grund af eksplosionsfare i teknikrum, spredning af røg/gas til tilstødende rum. Spredning af en eventuel brand op i huset.	Ved ankomst brænder det ikke med flammer. Men da der er afgasning af brændbare gasser, vil en antændelse kunne medføre store bygnings-skader og udgør en stor risiko for personskade. Røg/gas kan muligvis trænge ind i andre rum og udgøre en eksplosionsfare i disse.
Risikovurdering/ særlige farer	<u>Risikovurdering:</u> Ophobning af brændbare gasser i teknikrum i kælder udgør en eksplosionsfare. <u>Særlige farer:</u> Det fejltramte 20 kWh anlæg med elektrisk kapacitet og spænding, samt solceller på taget. Herudover antændelse af gasser i kælderen og i tilstødende rum.	Trods det er overskyet og mørkt vil solcellerne på taget levere strøm, hvis de er udsat for anden lyskilde, eksempelvis gadebelysning eller lys fra køretøjer/stigevoغن. Der er risiko for udsivning af gasser, der kan medføre en eksplosion i teknikrummet. Udluftning/ventilation af teknikrummet, og andre steder med potentiel ophobning af brændbare gasser, vil kunne mindske den særlige fare. Der bør være opmærksomhed på ophobning af hydrogen, som er flygtig og let antændelig (antændelsesområde fra cirka 4-75 %). BESS-anlæg bør betragtes som enhver anden elektrisk installation med stor spænding, da det ikke kan aflades eller slukkes, ligesom batterierne kan have resterende 'stranded energy'.
Adgangsveje	Via husets adgangsveje/muligvis udelukkende via intern kældertrappe.	Der vil være begrænset adgang til at komme tæt nok på til at foretage køling af BESS-anlægget i kælderen. Der bør være opmærksomhed på risiko for pludselig antændelse af brændbare gasser i det lukkede teknikrum og tilstødende rum.
Mulig sikkerhedsafstand	Konservativ betragtning: 50 m som opstart, da afgasning fra BESS-anlægget udgør en risiko for mulig antændelse. Herudover vurderes bygningens beskaffenhed. Når afgasning er under kontrol, og der er foretaget kontrolmåling af temperaturudviklingen kan afstanden reduceres.	Afstanden sikrer røgdykkere, samt mandskab og øvrige personer uden apparat mod påvirkning af gas/røg og udslyngning af fragmenter. Der arbejdes primært med en sikkerhedsafstand ift. spænding i BESS-anlæg i teknikrummet i kælderen samt eventuelle skader på bygningen. Revurdering af sikkerhedsafstand, hvis der bl.a. kan anvendes termisk kamera – Varmepåvirkning af BESS-anlæg? – Afgasning i kælderen— eller er den ventileret bort? – Er der sket en afgasning til boligen—påvirker det personredning? – Hvor meget røg/gas er der i hhv. teknikrum og i stueplan? – Adgangsvej til bygningen? Er det gennem garagen - Skal elbilen flyttes, eller skal den i stedet for frakobles? Hvordan er tilslutning til solceller? – Andre kilder i f.eks. kælderen eller garagen, der kan forårsage antændelser i fareområdet/skadestedet?

Dilemmaer:

Det altoverskyggende dilemma er risikoen for antændelse af brændbare gasser, f.eks. hydrogen i det lukkede teknikrum i kælderetagen og eventuelt i tilstødende rum. En antændelse som potentielt kan medføre store skader på bygningen og udgør en risiko for eksplosion til fare for personer i huset, herunder det indsatte mandskab.

Der er indikationer på, at systemets kobling mellem solcellepaneler, BESS-anlæg og opladning af elbil kan være hjemmegjorte. Det kan udgøre en særlig fare for det indsatte mandskab, da de normale sikkerhedsanordninger kan være kompromitteret, herunder tilsidesættelse af krav vedrørende udførelse af elektriske installationer.

Umiddelbare tiltag/tekniske hjælpemidler:

Ud over evakuering af husets beboere og eventuelle dyr, vil et fornuftigt umiddelbart tiltag kunne være at **afbryde strømmen til BESS-anlægget samt øvrige elektriske installationer**, da de kan forårsage antændelse af de brændbare gasser. Dette gælder også solcellerne, som kan bidrage med spænding på grund af en anden lyskilde.

En del af afgangningen fra litiumionbatterierne i et BESS-anlæg, som sker i forbindelse med 'thermal runaway' er hydrogen, som er en meget flygtig og letantændelig gas. **Afbrydelsen bør derfor omfatte al strøm til boligen og alle øvrige eventuelle potentielle antændelseskilder, der måtte forefindes.**

Ud over ovenstående, vil **udluftning af rummet være et effektivt tiltag**. Dette vil også være et fornuftigt tiltag selv om rummet ikke kan udluftes fuldstændigt, idet etableringen af åbninger fra rummet, ved en antændelse af gasserne, vil fungere som en vis trykaflastning og dermed mindske følgeskader på boligen.

Adgang til kælderen vil være udfordret og risikofyldt. Men monitorering af BESS-anlæggets temperatur med **termisk kamera** kan iværksættes, såfremt det sker uden fare for mandskabet. Aflæsningen vil dog ikke give et retvisende billede af den reelle celletemperatur, men kan give en indikator om batteriets temperatur er stigende eller faldende.

Adgang til kælderen vil være udfordret og risikofyldt. Men monitorering af BESS-anlæggets temperatur med termisk kamera kan iværksættes, såfremt det sker uden fare for mandskabet. Aflæsningen vil dog ikke give et retvisende billede af den reelle celletemperatur, men kan give en indikator om batteriets temperatur er stigende eller faldende.

B – betragt situationen

- Behov for indsættelse til personredning – Klasse 1 personer
- Indikation af 'thermal runaway', da der ikke er flammer, men synlig røg eller gasudvikling
- Teknikrummet (BESS-anlæg) i kælderen er et lukket rum, hvor der vil være risiko for eksplosionsfare
- Potentielt vil der - hvis batterierne ikke kan køles - være en risiko for eksplosion i teknikrummet pga. afgasning, samt risiko for, at der opstår en brand med potentiel spredning af brand til stueplan. Da teknikrummet er i kælderen kan der være trykflasker eller andre letantændelige kilder, maling mv.

E – evaluer dine muligheder

- Ventiler om muligt fareområdet for at undgå spredning af røg/gasser i tilstødende hulrum, stueplan mv.
- Lokaliser afbryderen til strømmen – hensyn både til solceller og BESS-anlæg
- Svære adgangsforhold, herunder lokalisering og redning af Klasse 1 personer
- Den primære ressourceperson (den mandlige beboer) vil formentlig være påvirket af situationen, og får f.eks. ikke givet de rette oplysninger om solceller på taget, opladning af elbil mv.
- Der vil ikke være krav om information, skiltning mv. på skadestedet til hhv. solceller, BESS-anlæg og lader til elbilen.
- Herudover kan der være tale om "hjemmegjorte" installationer

S – sluk for strømmen

- BESS-anlæg/batterier, solceller og alle tilsluttede dele kan give stød
- Der vil altid være spænding på batteriet, samt solcellepaneler (ved sollys/anden lyskilde), såfremt de ikke af-dækkes
- Inden køling af el-skab/kabinet afbrydes strøm mellem hhv. solceller, BESS-anlæg og lader til elbilen
- Risiko for 'stranded energy' i BESS-anlæg

S – sænk temperaturen

- Da der ikke er brand vil køling med vand være en effektiv taktik for at undgå en brand
- Adgang til teknikrum kan være risikofyldt pga. eksplosiv atmosfære
- Monitorer fareområdet, dvs. varmeudvikling i teknikrum og batterier, hvis det er muligt
- Batterierne kan selvantænde efter slukning

Risikoniveau 3: Offensiv, personredning/eftersøgning, kølende med vand på BESS-anlæg så tæt på som muligt, samt ventilering af tilstødende hulrum. Der skal arbejdes med sikkerhedsafstand ift. spænding i BESS-anlæg og solcellepaneler, samt risikoen for eksplosion og deraf skader på bygningen.

MMI – Mål med indsats

Et ambitiøst MMI kunne være at undgå, at BESS-anlægget bryder i brand (ved ankomst ses røg/afgasning).

Et mere realistisk MMI kunne være at undgå spredning af røg, gasser eller brand til andre rum end teknikrummet, samt undgå bygningsskader forårsaget af tryk.

Taktisk Plan

I: Iværksætte redning af Klasse 1 personer samt evt. evakuering af naboer. Afbryde strømforsyning til kælder og BESS-anlægget.

D: Forsøge at skabe ventilering af teknikrummet ved at tryksætte kælderen med overtryksventilator og skabe aflastning/luftåbninger ved at åbne alle vinduer/døre mv. fra teknikrummet til det fri.

A: Etablere køling af BESS-anlæg og/eller teknikrum, eventuelt udefra på sikker afstand. Monitorere temperatur på BESS-anlæg, hvis det er muligt, indtil temperaturen er stabil.

Kapacitetsopbygning

- Potentielt langvarig indsats. Afløsning/forskydning af mandskab
- Behov for fast vandforsyning. Taktisk reserve (sprøjte, tankvogn el.lign.)
- CO₂ til køling som alternativ til vand
- Ventilering af kælder

Kompetenceopbygning

- Teknisk kompetent ressourceperson med kendskab til BESS-anlægget og solceller, særligt hvis branden spreder sig. Kontakt til el-/forsyningsselskab
- Ledelses- og stabsstøtte (second opinion). Anden fagspecialist, Kemisk Beredskab eller lignende?
- Kontakt til bygningssagkyndig ved pludselig antændelse af gasser eller tegn på SURAF (Stærk bortbrænding af træværk, Udvidelse af stålele, Revner i mure, Afskalning af dæklag på jernbeton, Forskydning af jernbetonelementer)
- Kontakt til miljømyndighed i forhold til slukningsvand

Plan B

Hvis der trods MMI sker antændelse af ophobede brændbare gasser med eksplosionsagtige hastigheder, som medfører 'SURAF' eller kraftig brandudbredelse.

Erkendelse og evaluering

Erkendelse af, at der er solceller på taget, og at de oplader BESS-anlægget i kælderen og ladestanderen til elbilen.

Det kunne være, at der rent faktisk er sket antændelse af brændbare gasser eller brandspredning til andre dele af huset og MMI dermed måske var lidt for ambitiøs.

En del af erkendelsen kan være at det for nuværende i indsatsen, ikke er muligt at nå MMI, 'knække kurven' eller på anden måde opnå acceptable resultater med den taktik der anvendes, hvorfor taktikken bør tilrettes/reguleres.

Overdragelse af skadested

Der kan være tale om et skadeservicefirma, der overtager skadestedet og forsegler/lukker teknikrummet med BESS-anlægget og dermed 'genetablerer' risikoen for, at afgasning af brændbare gasser atter kan ophobes i rummet.

Scenarie III: Mobilt BESS-anlæg i container på byggeplads på havn (niveau 3)

Hændelsen:

Udrykning til et havneområde, hvor der er observeret lugt og røg af en forbipasserende. Røgen ser ud til at komme fra en byggeplads, men hvorfra er ikke nærmere identificeret af anmelder. Der er spredning af røg til en stor del af byggepladsen. På byggepladsen anvendes et mobilt BESS-anlæg som en generator i en container. Den er delvist blevet oversvømmet, hvilket kan medføre følgende udvikling:

Oversvømmelse → kortslutning → elektrolyse → røg-/gasudvikling (knaldgasser, brint)

Scenariebeskrivelse	
Tidspunkt: 19. december 2023, kl. 19.30	Vejr: Kraftig regn, 3 °C, 2 m/s fra vest
Hændelse og melding Første meldings ordlyd: Gas-Gaslugt i det fri Supplerende melding: Røg fra container ved byggeplads på havneområde. Container er placeret i en udgravning på et havneområde, der er oversvømmet. Anmelder er en hundelufter, som ikke har nogen tilknytning til byggepladsen. Førsteudrykning ISL - ankommer 4 min før udrykningsenheden MR1 (Motorredningssprøjte) + V1 (Vandtankvogn) HL + 5. Situation ved ankomst Let hvidlig røg/gasudvikling fra BESS-anlæg, placeret i lukket container bag aflåst trådhegn. Området er en byggeplads, som er delvist oversvømmet, herunder udgravningen, hvor containeren er placeret. Der er en markant stikkende "kemisk" lugt i området. Hele området er delvist oversvømmet fra forhøjet vandstand i havneforløbet. Der er ikke umiddelbart synlige flammer/brand. Ressourceperson Der er ingen personer i området. Men ved indgangen til byggepladsen hænger en oversigtsplan, bl.a. med telefonnummer på entreprenøren, som er ansvarlig for de maskiner, som henstår på byggepladsen.	

Situationsbedømmelse		
Delelement	Vurdering	Noter
Mennesker el. dyr i fare?	KL 1 – Nej	Der er en ildelugtende 'røg'/gas i området, som kan indikere risiko for ophobning- og antændelse af brændbare gasser (eksplosionsfare) i den lukkede container. Vindretning er dog ud over havnen. Varsling vil evt. kunne blive nødvendigt, hvis vinden vender.
Hvor?	BESS-anlæg i container i den oversvømmede udgravning.	Umiddelbart er fareområdet begrænset til containeren og røg-/gasfanen, hvor der ikke er behov for personredning. Niveau 3 grundet batteriets størrelse og i et lukket rum (container), som dog er placeret i det fri.
Hvad?	Elektrisk brand og varmeudvikling i batterier/ BESS-anlæg (80 kWh).	Muligvis forårsaget af kortslutning, overladning, overophedning, fysisk defekt eller lignende. Containeren er blevet oversvømmet.
Hvorhen?	Der er ingen bygninger eller konstruktioner i umiddelbar nærhed. Eksplosionsfare i container med risiko for spredning af fragmenter/dele fra container og batterier.	Ved ankomst er der ikke synlige flammer. Men da der er afgasning af brændbare gasser fra en 'normalvis' tæt container, må der forventes ophobning af brændbare gasser/tryk i containeren. Antændelse af gasserne kan derfor forventes at kunne medføre risiko for personskade for det indsatte mandskab ved ophold i nærheden af containeren. De gasser, der strømmer til det fri, opblandes hurtigt med ren luft, men skal naturligvis anses som giftige.
Risikovurdering/ særlige farer	<u>Risikovurdering:</u> Ophobning af brændbare gasser i container (eksplosionsfare). <u>Særlige farer:</u> Det fejlramte 80 kWh anlæg med elektrisk kapacitet og spænding udgør en fare for elektrisk stød. Herudover ophobning og antændelse af gasser i containeren.	BESS-anlæg kan ikke umiddelbart aflades og skal betragtes som enhver anden elektrisk installation med stor spænding, herunder 'stranded energy'. Eventuelt risiko for elektrisk stød ved kontakt med stålcontaineren på grund af vand i udgravningen. Der er ikke umiddelbart nogle grunde til at åbne containeren. Hvis det senere, eksempelvis i forbindelse med afslutningen af indsatsen, bliver nødvendigt, bør der udvises ekstrem forsigtighed, såfremt containeren forsøges åbnet manuelt. Iagttag eventuelt dele af principperne for oplag af fyrværkeri i containere. Såfremt det er muligt at etablere udluftning/ventilation af containeren, vil dette mindske eksplosionsfaren. Vær opmærksom på, at en del af gasserne forventeligt vil være hydrogen, som er meget flygtig og let antændelig med et antændelsesområde fra cirka 4-75 %.
Adgangsveje	Via den etablerede nedgang i udgravning, hvis dette er nødvendigt og forsvarligt i forhold til fastlagte sikkerhedsafstande.	Betrakt eventuelt principperne fra oplag af fyrværkericontainere. Der bør udvises forsigtighed ved "ophold" foran døre, ventilationsåbninger og andre 'svage punkter' i containeren, da der her er størst risiko for trykafledning.
Mulig sikkerhedsafstand	Konservativ betragtning: 100 m som opstart, da afgasning fra BESS-anlægget udgør en risiko for mulig antændelse. Herudover vurderes oversvømmelsens påvirkning af fareområdet og skadestedet. Når afgasning er under kontrol, og der er foretaget kontrolmåling af temperaturudviklingen kan afstanden reduceres.	Afstanden sikrer røgdykkere, samt mandskab og øvrige personer uden apparat mod påvirkning af gas/røg og udslyngning af fragmenter. Der arbejdes primært med en sikkerhedsafstand ift. spænding i BESS-anlæg/container, samt risiko ved vand fra oversvømmelsen. Revurdering af sikkerhedsafstand, hvis der bl.a. kan anvendes termisk kamera – Varmepåvirkning af BESS-anlæg? – Afgasning i området - eller er den blæst væk? – Hvor meget røg? – Adgangsvej til udgravningen - er det forsvarligt? – Andre antændelseskilder omkring container eller i udgravningen?

Dilemmaer:

Det altoverskyggende dilemma er risikoen for antændelse af brændbare gasser, herunder metan og hydrogen i en lukket container, hvilket kan udgøre en fare for det indsatte mandskab, hvis de opholder sig nær containeren.

Da BESS-anlægget givetvis er dimensioneret til at forsyne entreprenørmateriel på byggepladsen, kan det forventes at have en stor elektrisk kapacitet, hvorfor risikoen for elektrisk stød ikke kan udelukkes, nu da det ydermere er oversvømmet.

Umiddelbare tiltag/tekniske hjælpemidler:

Grundet alvorligheden af den særlige fare (eksplosionsfare), vil et fornuftigt umiddelbart tiltag være at etablere et konservativt fareområde og sikre, at ingen personer nærmer sig containeren.

Desuden bør det tilstræbes at indhente **kompetent faglig assistance** fra servicefirma, producent eller andre der kan bekræfte eller udelukke omfanget af tilstedeværelsen af brændbare gasser i containeren eller hvorledes udluftning af denne kan iværksættes forsvarligt. Herefter kan fareområdet evt. tilpasses for at opnå bedre forhold for køling.

Der henvises i øvrigt til monitorering af BESS-anlæggets temperatur med **termisk kamera**, såfremt dette kan iværksættes uden fare for mandskabet. Aflæsningen vil ikke nødvendigvis give et retvisende billede af den reelle celletemperatur, men kan muligvis indikere en varmeudvikling i batteriet og mulig udbredelse til andre batteripakker i anlægget.

B – betragt situationen

- Container, som indeholder et mobilt BESS-anlæg, er oversvømmet
- Indikation af 'thermal runaway', da der ikke er flammer. Men afgangningen er ikke antændt og udgør en risiko i det lukkede rum (container), hvor der vil være eksplosionsfare
- Containeren er placeret i det fri, hvilket giver mulighed for, at afgangningen uden for containeren relativt hurtigt fortryndes
- Potentielt vil der - hvis batterierne ikke kan ventileres eller køles - være en risiko for eksplosion eller brand i containeren pga. afgangningen. Der er dog ikke umiddelbar risiko for brandspredning til andre dele på byggepladsen. Der kan dog være trykflasker eller andre letantændelige kilder, maling mv. i nærheden, som ikke er synlige på grund af oversvømmelsen.

E – evaluer dine muligheder

- Ventil om muligt containeren. Lokaliser afbryderen til strømmen – af hensyn til, at BESS-anlægget står under vand
- Svære adgangsforhold både i forhold til den oversvømmede udgravning og adgang til køling af batterierne i containeren
- Sikkerhed både for gasser og eksplosionsfare
- Ingen ressourceperson er tilstede. Entreprenør, ejer af byggepladsen, alternativt producent af BESS-anlæg bør kontaktes tidligt
- Der kan være information, skiltning mv. på containeren til hhv. afbrydelse af BESS-anlæg eller tilslutning af slukningsvand
- Containeren kan have indbyggede forebyggende tiltag enten som ventilering eller sprinkling

S – sluk for strømmen

- Lokaliser om muligt hovedafbryderen til strømmen til BESS-anlæg
- BESS-anlæg/batterier og alle tilsluttede dele kan give stød
- Der vil altid være spænding på batteriet
- Inden køling af container frakobles eventuel ekstern strømkilde
- Risiko for 'stranded energy' i BESS-anlæg

S – sænk temperaturen

- Da der ikke er brand vil køling med vand samt ventilering være en effektiv taktik for at undgå en brand
- Adgang til batterier i containeren kan være risikofyldt pga. eksplosiv atmosfære
- Undgå at åbne døre eller opholde sig i nærheden af svage punkter (trykaflastning) af containeren
- Monitorer fareområdet (containeren), dvs. varmeudvikling i batterierne
- Batterierne kan selvantænde efter køling/slukning

Risikoniveau 3: Defensiv, kølende med vand i og omkring BESS-anlæg. Der skal arbejdes med sikkerhedsafstand ift. spænding i BESS-anlæg.

MMI – Mål med indsats

Et ambitiøst MMI kunne være at undgå antændelse af de brændbare gasser i containeren, hvilket nok kræver en ret aktiv (og muligvis risikobetonet) strategi.

Et mere realistisk MMI kunne være at undgå personskader og tillægge en mere passivt strategisk tilgang.

Taktisk Plan

I: Fastlægge et konservativt fareområde og sikre, at ingen nærmer sig containeren.

D: Etablere kontakt til en ressourceperson med kendskab til BESS-anlægget og evt. iværksætte lænsning af området omkring containeren, så der efterfølgende kan skabes forsvarlig ventilering af containeren. Alternativt om muligt oversvømme hele containeren med henblik på at skabe en afkøling af hele BESS-anlægget/alle batterier og fortrænge eventuelle gasser i containeren. Kan containeren evt. trækkes/skubbes/løftes videre til køling i et egnet bassin?

A: Etablere køling af BESS-anlæg og/eller teknikrum, eventuelt udefra på sikker afstand. Monitorere temperatur på BESS-anlæg, hvis det er muligt, indtil temperaturen er stabil.

Kapacitetsopbygning

- Langvarig indsats. Afløsning/forskydning af mandskab
- Vandtankvogne/fast vandforsyning. CO₂ til køling som alternativ til vand. Pumpekapacitet
- Skæreslukker. Kæder, stropper eller andet til 'fjernåbning' af døre i container. Udstyr og værktøj skal være godkendt til 1.000 V
- Politi i forhold til langvarig afspærring og informering af eventuelle naboer/beredskabsmeddelelse omkring røgen

Kompetenceopbygning

- Teknisk kompetent ressourceperson med kendskab til BESS-anlægget
- El-installatør/producent/ejer/kompetent fagperson i forhold til arbejde med elektriske installationer/batterier
- Kontakt til miljømyndighed i forhold til slukningsvand
- Ledelses- og stabsstøtte (second opinion). Anden fagspecialist, Kemisk Beredskab eller lignende?

Plan B

Hvis der trods MMI om ingen antændelse, sker antændelse af ophobede brændbare gasser (uden eksplosionsagtig hastigheder), hvorefter anlægget "bare" brænder. Medfører dette en anden taktik end i et "kølingsscenario"?

Erkendelse og evaluering

Det kunne være, at det er formået at dræne/læns udgravningen for vand, idet det ikke umiddelbart er muligt at oversvømme hele containeren. Der foregår fortsat en tydelig afgang fra batterierne i containeren. Hvor længe kan der anvendes en defensiv tilgang? Bør en mere offensiv tilgang afprøves?

Er der andre aktører, der kan assistere?

Overdragelse af skadested

Der kan være tale om en entreprenør, der overtager containeren, når der ikke længere er en temperaturstigning i BESS-anlægget. Er det sikkert at lukke containeren og henstille den, eller er der 'restriktioner' i forhold til, hvordan og hvor den stilles?

Er der en risiko for, at batterianlægget atter kan fejle og udlede brændbare gasser eller udgøre en fare i forhold til elektrisk stød?

Scenarie IV: Brand i entreprenørmaskine på byggeplads (niveau 3)

Hændelsen:

Udrykning til en byggeplads, hvor der er observeret røg og flammer fra en gravemaskine på larvefodder, der står til opladning. Byggepladsen er centralt placeret i midtbyen. Branden i gravemaskinen har spredt sig til en container med et BESS-anlæg. Omkring containeren er der synlige flammer på siden og taget af container samt røg fra containerens bagdør (ikke identificeret af anmelder). Risiko for røg- og brandspredning til andre dele af byggepladsen.

Scenariebeskrivelse	
Tidspunkt: 19. juni 2023, kl. 19.30	Vejr: Skyfrit, 4 °C, 4 m/s fra vest
Hændelse og melding Første meldings ordlyd: Container i det fri-Brand Supplerende melding: Røg fra container ved byggeplads i midtbyen. Container er placeret nær bygning på byggepladsen, hvor området er indhegnet med reklamer. Anmelder er nogle forbigående, som ikke har nogen tilknytning til byggepladsen. De kan se store flammer fra en gravemaskine, og der er meget røg i området. Førsteudrykning ISL - ankommer 4 min før udrykningsenheden MR1 (Motorredningsprøjte) + V1 (Vandtankvogn) HL + 5. Situation ved ankomst Kraftig og sort røg i området, og der kommer en let hvidlig røg/gasudvikling fra bagenden af en container. Der ses flammer omkring en gravemaskine på den øverste del af maskinen. Gravemaskinen står placeret tæt på en 20 fod container med et BESS-anlæg, som ved ankomst nu også brænder på siden og på taget. De er begge placeret bag et aflåst trådhegn. Der er en markant stikkende, kemisk lugt i området samtidig med en kraftig brandrøg i området. Batteri i BESS-anlæg: Energikapacitet 1200 kWh model bygget til 400kVA. Batteri i gravemaskine: 600V, 264kWh. Vejer 23-26 ton. Ressourceperson Der er ingen personer på byggepladsen. Men ved indgangen hænger en oversigtsplan, bl.a. med telefonnummer på entreprenøren, som er ansvarlig for de maskiner, som henstår på byggepladsen.	

Situationsbedømmelse		
Delelement	Vurdering	Noter
Mennesker el. dyr i fare?	KL 1 – Nej	Der er synlige flammer og en ildelugtende "røg"/gas i området. Den synlige røg fra gravemaskinen udgør en sundhedsskadelige fare, særligt hvis vindretning muligvis vender ud over byen.
Hvor?	Branden er startet i gravemaskinen, og den har bredt sig til containeren med BESS-anlægget.	Umiddelbart er fareområdet begrænset til dels gravemaskine (batteri), dels containeren med BESS-anlæg. Gravemaskinen brænder og batterierne i containeren er under varmpåvirkning pga. branden. Det kan dog ved ankomst være svært at afgøre, hvor branden er startet. Niveau 3 grundet de to batteriers størrelser, hvoraf den ene er placeret i et lukket rum (container). Begge er dog placeret i det fri. Det bemærkes dog, at der hurtigt vil kunne være tale om en hændelse på niveau 4, såfremt branden ikke kan begrænses til gravemaskine og containeren, eller at der sker en større spredning af røg/gasser hen over beboet område, veje mv.
Hvad?	Elektrisk brand i gravemaskine som har spredt sig til BESS-anlæg.	Formentlig forårsaget af kortslutning i det elektriske system eller batterierne i gravemaskinen, hvor varmeudvikling/brand efterfølgende har spredt sig til containeren med BESS-anlæg.
Hvorhen?	Der er bygninger i nærheden samt en del byggematerialer. Eksplosionsfare i container med risiko for spredning af fragmenter/dele fra container og batterier samt trykaflastning.	Ved ankomst brænder det kraftigt i gravemaskinen samt uden på containeren med flammer og røg. Gravemaskinens batteri er ligeledes i overhængende fare for at blive påvirket af branden, hvis det ikke allerede er antændt. Da der ligeledes er udsivende gasser fra en 'normalvis tæt' container, må der forventes ophobning af brændbare gasser samt tryk i containeren. Afgasning til det fri vil hurtigt opblandes med ren luft, men skal naturligvis anses som giftige.
Risikovurdering/ særlige farer	<u>Risikovurdering:</u> Ophobning af brændbare gasser i container (eksplosionsfare). <u>Særlige farer:</u> Gravemaskinen og det fejlramte BESS-anlæg med elektrisk kapacitet og spænding udgør en fare for elektrisk stød. Herudover ophobning og antændelse af gasser i containeren og voldsom brandspredning.	BESS-anlæg kan ikke umiddelbart aflades og skal betragtes som enhver anden elektrisk installation med stor spænding, herunder 'stranded energy'. Eventuelt risiko for elektrisk stød ved kontakt med stålcontaineren på grund af vand i udgravningen. Der er ikke umiddelbart nogle grunde til at åbne containeren. Hvis det senere, eksempelvis i forbindelse med afslutningen af indsatsen, bliver nødvendigt, bør der udvises ekstrem forsigtighed, såfremt containeren forsøges åbnet manuelt. Iagttag eventuelt dele af principperne for oplag af fyrværkeri i containere. Såfremt det er muligt at etablere udluftning/ventilation af containeren, vil dette mindske eksplosionsfaren. Vær opmærksom på, at en del af gasserne forventeligt vil være hydrogen, som er meget flygtig og let antændelig med et antændelsesområde fra cirka 4-75 %.
Adgangsveje	Aldrig foran døre/vinduer/"svage punkter" i containeren da det er her der er størst risiko for trykaflastning.	Betragt eventuelt principperne fra oplag af fyrværkericontainere. Der bør udvises forsigtighed ved "ophold" foran døre, ventilationsåbninger og andre 'svage punkter' i containeren, da der her er størst risiko for trykaflastning.
Mulig sikkerhedsafstand	Konservativ betragtning: 100 m som opstart, da afgasning fra BESS-anlægget udgør en risiko for mulig antændelse. Når afgasning og den kraftige røg fra den elektriske gravemaskine er under kontrol, og der er foretaget kontrolmåling af temperaturudviklingen kan afstanden reduceres.	Afstanden sikrer røgdykkere, samt mandskab og øvrige personer uden apparat mod påvirkning af gas/røg og udslyngning af fragmenter. Der arbejdes primært med en sikkerhedsafstand ift. spænding i gravemaskinen og BESS-anlæg ved slukning og eksplosion. Revurdering af sikkerhedsafstand, hvis der bl.a. kan anvendes termisk kamera – Varmepåvirkning af BESS-anlæg eller gravemaskinens batterier? – Afgasning i området— eller er den blæst væk? – Hvor meget røg er der i området? – Adgangsvej til området? Er der hindringer i form af materiel, køretøjer mv., som evt. bør flyttes? – Andre kilder, der kan forårsage antændelser i fareområdet/skadestedet?

Dilemmaer:

Det altoverskyggende dilemma er risikoen for antændelse af brændbare gasser, som kommer fra containeren (lukket rum), herunder metan og hydrogen, hvilket udgør en fare for mandskabet, såfremt gassen ikke er antændt. Det bemærkes, at brint brænder uden en visuelt synlig flamme.

Det kan ikke umiddelbart vurderes, hvorvidt flammerne omkring containeren skyldes brandspredning fra gravemaskinen eller en antændelse af afgangning fra batterierne i containeren.

Da BESS-anlægget er dimensioneret til at forsyne entreprenørmateriel på en byggeplads, har det en stor elektrisk kapacitet, hvorfor risikoen for elektrisk stød ikke kan udelukkes.

Der er bygninger i nærheden samt en del oplag af forskellige byggematerialer, brandfarlige væsker mv. Vurderingen af, om der er tale om niveau 3 eller 4 knytter sig bl.a. til handlingsanvisninger, som kan være nødvendige for at sikre, at branden ikke spreder sig - eksempelvis hvis der ikke kan foretages frakobling af strøm, flytning af brandfarlige oplag/væsker mv. uden at sikkerhedsafstande overskrides. Det vil kunne medføre nye og potentielt større risici, som kræver en eskalering til niveau 4.

Umiddelbare tiltag/tekniske hjælpemidler:

Grundet alvorligheden af den særlige fare (eksplosionsfare), vil et fornuftigt umiddelbart tiltag være at etablere et konservativt fareområde og sikre at ingen personer nærmer sig containeren.

Desuden bør det tilstræbes at indhente **kompetent faglig assistance** fra producenten eller andre teknisk faglige personer, der kan bidrage med mere dybdegående informationer om tilstedeværelsen af brændbare gasser i containeren, samt hvorledes ventilering/udluftning af disse kan iværksættes forsvarligt.

Der henvises i øvrigt til monitorering af BESS-anlæggets temperatur med **termisk kamera**, såfremt dette kan iværksættes uden fare for personer. Aflæsning af temperaturudviklingen vil være begrænset til containerens overflade. Dette vil ikke give et retvisende billede af den reelle celletemperatur i batterierne, men kan muligvis give en indikator om den interne varmeudvikling i containeren er stigende eller faldende. Gravmaskinens batteri bør ligeledes monitoreres af hensyn til 'thermal runaway' grundet den varmepåvirkning, der er pågået.

B – betragt situationen

- Der er tale om dels en brand med synlige flammer og røgudvikling fra gravemaskinen, dels indikation af 'thermal runaway' i containeren, da der ses røg/afgasning
- Både gravemaskine og container er placeret i det fri uden umiddelbar risiko for brandspredning til andre objekter—hvis branden begrænses til gravemaskinen og containeren
- Potentielt vil der - hvis branden og batterierne ikke kan hhv. slukkes/køles - være en risiko for eksplosion i containeren pga. afgangning, samt risiko for en røgspredning, som ikke kan begrænses til byggepladsen. Der kan være trykflasker eller andre letantændelige kilder, oplag, maling mv. på byggepladsen, som kan blive påvirket. Herved kan der relativt hurtigt være tale om eskalering af indsats til niveau 4

E – evaluer dine muligheder

- Ventiler om muligt containeren
- Lokaliser hovedafbrydere og frakobl strømmen til hhv. BESS-anlæg og ladning af gravemaskinen. Begge dele kan være både varmepåvirkede eller allerede antændte
- Svære adgangsforhold, sikkerhed både for gasser og eksplosionsfare
- Ingen ressourceperson er tilstede. Entreprenør, ejer af byggeplads, alternativt producent af BESS-anlæg samt gravemaskine bør kontaktes tidligt
- Der kan være information, skiltning mv. på containeren til hhv. afbrydelse af BESS-anlæg eller tilslutning af slukningsvand
- Containeren kan have indbyggede forebyggende tiltag enten som ventilering eller sprinkling

S – sluk for strømmen

- Lokaliser om muligt hovedafbryderen til strømmen til BESS-anlæg
- Om muligt frakobles også ladestanderen til gravemaskinen
- BESS-anlæg/batterier og alle tilsluttede dele kan give stød
- Der vil altid være spænding på batteriet
- Inden køling af container afbrydes frakobles eventuel ekstern strømkilde
- Risiko for 'stranded energy' i BESS-anlæg

S – sænk temperaturen

- Da der er brand i og omkring gravemaskine og container, vil begrænsning samt køling med vand være en effektiv taktik for at undgå yderligere op-blusning af branden
- Adgang til enheder i containeren kan være risikofyldt pga. eksplosiv atmosfære
- Undgå at åbne døre eller opholde sig i nærheden
- Monitorer fareområdet (containeren og gravemaskinen), dvs. varmeudvikling i batterierne
- Batterierne kan selvantænde efter køling/slukning

Risikoniveau 3: Defensiv, kølende med vand i og omkring gravemaskinen og BESS-anlægget i containeren. Der skal arbejdes med sikkerhedsafstand ift. spænding i batterier (ladestander) og eksplosionsfare og branden.

MMI – Mål med indsats

Et ambitiøst MMI kunne være at undgå antændelse af de brændbare gasser i containeren, hvilket nok kræver en ret aktiv (og muligvis risikobetonet) strategi.

Et mere realistisk MMI kunne være at undgå personskader og tillægge en mere passiv tilgang for at begrænse brandspredning til andre objekter samt begrænse røgspredning ind over byen.

Taktisk Plan

I: Fastlægge et konservativt fareområde og sikre, at ingen nærmer sig gravemaskinen og containeren.

D: Etablere kontakt til en ressourceperson med kendskab til gravemaskinens batteri og BESS-anlægget. Så vidt muligt og om nødvendigt iværksætte rydning af området omkring gravemaskinen og containeren, så der efterfølgende kan skabes forsvarlig udluftning af containeren. Bør der skabes en større afstand mellem gravemaskinen og containeren?

A: Eventuelt køling af batterier udefra fra sikkerhedsafstand, imens temperaturen på BESS-anlæg monitoreres indtil temperaturen er stabil.

Kapacitetsopbygning

- Langvarig indsats. Afløsning/forskydning af mandskab
- Vandtankvogne/fast vandforsyning. CO₂ til køling som alternativ til vand. Pumpekapacitet
- Skæreslukker. Kæder, stropper eller andet til 'fjernåbning' af døre i container. Udstyr og værktøj skal være godkendt til 1.000 V
- Politi i forhold til langvarig afspærring og informering af eventuelle naboer/beredskabsmeddelelse omkring røgen

Kompetenceopbygning

- Teknisk kompetent ressourceperson med kendskab til BESS-anlægget
- El-installatør/producent/ejer/kompetent fagperson i forhold til arbejde med elektriske installationer/batterier
- Kontakt til miljømyndighed i forhold til slukningsvand
- Ledelses- og stabsstøtte (second opinion). Anden fagspecialist, Kemisk Beredskab eller lignende?

Plan B

Hvis der trods MMI om ingen antændelse, sker antændelse af ophobede brændbare gasser (uden eksplosionsagtig hastigheder), hvorefter anlægget "bare" brænder. Medfører dette en anden taktik end i et "kølingsscenario"?

Erkendelse og evaluering

Det kunne være, at branden ikke er mulig at slukke eller køle tilstrækkeligt til at sænke temperaturen. Hvor længe kan/vil vi anvende en defensiv tilgang? Bør vi prøve en mere offensiv tilgang?

Er der andre aktører, der kan assistere?

Overdragelse af skadested

I dette tilfælde kunne der være tale om en entreprenør, der overtager gravemaskinen/containeren, når der ikke længere er en temperaturstigning i batterierne. Er det sikkert at lukke containeren og henstille den, eller er der "restriktioner" i forhold til hvor den stilles og hvordan? Hvordan sikres gravemaskinen?

Er der en lille risiko for at batterianlægget i hhv. gravemaskine og BESS-anlæg atter kan fejle og udlede brændbare gasser eller udgøre en fare i forhold til elektrisk stød?

Scenarie V: Lagerhal med BESS-anlæg i containere og oplag i hal (niveau 4)

Hændelsen:

Udrykning til et industriområde, hvor der er ild i et BESS-anlæg (lukket stålcontainer), som står i en fyldt lagerhal. Det antændte BESS-anlæg står tæt ved endnu et tilsvarende BESS-anlæg (ca. 4 m). Entreprenørvirksomheden, som ejer lagerhallen, har udskiftet dele af vognparken til eldrevne maskiner og har derfor to større BESS-anlæg (samlet 1 MWh) i containere, som anvendes til opladning af mindre mobile BESS-anlæg (80 kWh), der kan medtages til byggepladser. I hallen findes ligeledes entreprenørmateriel, herunder maskiner, brandfarlige væsker, trykflasker samt en god blanding af træ, plast, kabler mv.

Scenariebeskrivelse	
Tidspunkt: 20. december 2023, kl. 11.30	Vejr: Overskyet, 3 °C, 4 m/s fra nordvest
Hændelse og melding Første meldings ordlyd: Bygn.brand-Industribygning Supplerende melding: Kraftig/voldsom brand i BESS-anlæg i lukket stålcontainer inde i lagerhal. Anmelder er ejer af hallen og oplyser, at der er tale om et BESS-anlæg på 500 kWh, som står i lagerhal med entreprenørmaskiner, diesel, gasflasker og entreprenørmateriel. Branden opstod, da en ansat kom til at køre gaflerne på en gaffeltruck igennem siden på containeren, hvorved han 'gennemborede' batterianlægget. Førsteudrykning ISL - ankommer 3 min efter udrykningsenheden MR1 (Motorredningssprøjte) + V1 (Vandtankvogn) HL + 5. MR1 (Motorredningssprøjte) + V1 (Vandtankvogn) HL + 7. Evt. drone Situation ved ankomst Kraftig røg fra lagerhal på cirka 1000 m². Lagerhallen er opbygget af betonelementer, stålspær og ståltag. Der bliver taget imod af personale fra den entreprenørvirksomhed, der ejer hallen og benytter den som lager/værksted. Ressourceperson Den ansatte, der tager imod beredskabet, oplyser, at hans mester, som ejer virksomheden, er inde i hallen og forsøger at bekæmpe branden med en slangevinde. Han oplyser, at det brænder inde i den ene af de to stålcontainere, der står i hallen og fungerer som BESS-anlæg for de el-entreprenørmaskiner, som virksomheden anvender på de fleste bynære byggepladser.	

Situationsbedømmelse		
Delelement	Vurdering	Noter
Mennesker el. dyr i fare?	KL 1 – Ja	Klasse 1 personen (ejer af virksomheden) opholder sig i en røgfyldt lagerhal og forsøger med begrænset vand at bekæmpe brand i et 500 kWh batterianlæg. Hvis han fortsat forsøger brandslukning i den massive røgudvikling i lagerhallen, er han udsat for en sundhedsrisiko, som han hurtigst muligt skal bevæge sig væk fra, evt. ved egen hjælp, hvis man kan få kontakt ved råb eller per telefon.
Hvor?	BESS-anlæg i container i 1000 m ² betonhal med ståltagkonstruktion	Fareområdet er primært omkring den voldsomme flammebrand inde i containeren og kraftig røgspredning til hele hallen. Niveau 4 grundet redning af Klasse 1-person samt batteriets størrelse og placering af et tilsvarende BESS-anlæg, som givetvis er varmepåvirket af branden.
Hvad?	Elektrisk/kemisk reaktion og varmestigning i et BESS-anlæg (500 kWh).	Forårsaget af en kraftig mekanisk påvirkning (påkørsel) med efterfølgende kortslutning/'punktering' af membran i battericellerne. Risiko for spredning til tilsvarende BESS-anlæg.
Hvorhen?	Branden kan hurtigt sprede sig til en voldsom brand i entreprenørmateriel i hele hallen, herunder endnu et 500 kWh BESS-anlæg.	Da det allerede brænder med synlige flammer, er der ikke en umiddelbar risiko for ophobning og pludselig antændelse af brændbare gasser fra det anlæg, der brænder. Derimod kan en opvarmning af det uskadte anlæg, som står cirka 4 meter væk, medføre risiko for en varmepåvirkning og 'thermal runaway' og produktion af gasser i dette. Desuden er der grundet bygningens opbygning (betonelementer og stål) risiko for sammenstyrtning af tag og vægge, hvis disse udsættes for vedvarende varme røggasser, flammer eller lignende.
Risikovurdering/ særlige farer	<u>Risikovurdering:</u> Risiko for ophobning- og pludselig antændelse af brændbare gasser i det anlæg (der ikke er påvirket), hvis det udsættes for kraftig varmepåvirkning. <u>Særlige farer:</u> Elektrisk stød ved håndtering af det brandramte BESS-anlæg. Brandspredning til andre brændbare objekter.	Der er en særlig fare for ejeren, som formentlig opholder sig i brandrøg/afgasning uden værnemidler. Bemærk desuden at brandrøgen kan betragtes som ekstra koncentreret, da det er en batteribrand. Denne fare skal prioriteres samtidig med de umiddelbare risici, der er forbundet med indsættelse af mandskabet. BESS-anlægget kan ikke umiddelbart aflades og skal betragtes som enhver anden elektrisk installation med stor spænding, herunder 'stranded energy'. Afgørende kan være om BESS-anlægget står til opladning eller på anden måde er tilsluttet en ekstern strømforsyning. Elektrisk stød pga. deformation af BESS-anlægget ved kontakt med stålcontaineren kan ikke udelukkes. Der er særlige farer forbundet med en kontinuerlig brandudvikling, som kan påvirke bygningskonstruktionen og medføre antændelse af det andet BESS-anlæg på tilsvarende 500 kWh. Trykflasker, brændbare væsker og oplag mv. flyttes, hvis de er placeret nær branden eller de påvirkede BESS-anlæg.
Adgangsveje	Bygningens normale adgangsveje om muligt.	Der bør arbejdes med så korte adgangsveje som muligt af hensyn til den samlede indsatstid. Personredning kan være udfordret. Hvor er BESS-anlæg placeret i bygningen? Hvilken adgangsvej er smartest og medfører kortest mulig røgdykning?
Mulig sikkerhedsafstand	Konservativ betragtning: 100 m som opstart, da afgasning fra BESS-anlægget udgør en risiko for mulig antændelse. Herudover vurderes bygningens beskaffenhed. Når afgasning er under kontrol, og der er foretaget kontrolmåling af temperaturudviklingen kan afstanden reduceres.	Afstanden sikrer røgdykkere, samt mandskab og øvrige personer uden apparat mod påvirkning af gas/røg og udslyngning af fragmenter. Efter personredning kan der fokuseres på slukning, hvor der arbejdes med sikkerhedsafstand ift. spænding i BESS-anlæg og tilsluttede komponenter, samt eventuelle skader på bygningen . Revurdering af sikkerhedsafstand, hvis der bl.a. kan anvendes termisk kamera. – Varmepåvirkning af BESS-anlæg - er der risiko for brandspredning? – Afgasning i bygningen - eller er den ventileret bort? – Hvor meget røg i området? – Adgangsvej til fareområde/BESS-anlægget? – Andre kilder, der kan forårsage antændelser i fareområdet, f.eks. trykflasker, der bør flyttes, så de ikke udgør en fare? – Risiko for sammenstyrtning af bygning/SURAF?

Dilemmaer:

Da der opholder sig en Klasse 1 person i bygningen, skal han findes og reddes som det første - under hensyn til mandskabets sikkerhed. Dernæst vil det være hensigtsmæssigt med udluftning/ventilation af lagerhallen, samt hvorvidt det er muligt at åbne døre/åbninger i det tilstødende BESS-anlæg med henblik på at fjerne risikoen for ophobning af brændbare gasser i dette.

Det bør undersøges i hvilket omfang, at det 'raske' BESS-anlæg er varmepåvirket eller kan blive det.

Herefter kan beskyttelse af det tilstødende anlæg, trykflasker, brændbart oplag mv. iværksættes enten via slukning med CAFS (Compressed air foam system), vandvæg eller andet der kan reducere varmespredning til omgivelserne eller bygningskonstruktionen.

BESS-anlægget er dimensioneret til at forsyne entreprenørmateriel og har en oplyst elektrisk kapacitet på 500 kWh, hvorfor risikoen for elektrisk stød ikke kan udelukkes, nu da det ydermere er brandramt.

Umiddelbare tiltag/tekniske hjælpemidler:

Ejeren opholder sig i hallen, og **eftersøgning- og redning af Klasse 1 person er vigtig.**

Ventilering af hallen med henblik på sænkning af temperatur, fjerne afgangningen, samt skabe et bedre indsatsmiljø. Det bemærkes, at ventilationen forventeligt vil have ingen væsentlig betydning for en forværring af branden i det antændte BESS-anlæg, idet branden er kemisk forudsat og har stor batterikapacitet i de 500 kWh til at nære branden.

Rekognoscering for status på det tilstødende BESS-anlæg og eventuelt åbning af døre/åbninger **med henblik på ventilering i anlægget, som vender væk fra branden.**

Der henvises i øvrigt til monitorering af det tilstødende BESS-anlægs temperatur med **termisk kamera**, såfremt dette kan iværksættes uden fare for personer. Det vil formentlig ikke give mening at måle temperaturen på det brandramte anlæg for, om anlæggets temperatur er stigende eller faldende, samt udbredelse til andre batteripakker i anlægget. Grunden til dette er, at anlægget allerede brænder, og denne brand vil være så voldsom, at anlægget vil ende med at være fuldt udbrændt.

B – betragt situationen

- Der er tale om redning Klasse 1 person
- Der er tale om en potentiel brand i lagerbygning med risiko for bygningskollaps grundet en høj brandbelastning
- Der er flammer i selve BESS-anlæg med risiko for spredning til et tilsvarende anlæg
- Risiko for antændelse, afgang og eksplosionsfare i det lukkede rum (teknikrum) vil formentlig være mindre, da der er sket en antændelse
- En voldsom brand vil hurtigt kunne påvirke oplag af trykflasker, maskiner og andet letantændelige kilder, maling mv.

E – evaluer dine muligheder

- Der indsættes til personredning. Afhængigt af placering af Klasse 1 person foretages der om muligt ventilering inden. Personen kan evt. ved egen hjælp flytte sig væk fra det brændende BESS-anlæg mod en udgang
- Den primære ressourceperson (ejer) kan være påvirket af situationen (sundhedsmæssigt og psykisk)
- Svære adgangsforhold, herunder lokalisering og redning af Klasse 1
- Røg/gasser i tilstødende hulrum i lagerhallen
- Der vil ikke være krav om information, skiltning mv. på skadestedet til hhv. BESS-anlæg

S – sluk for strømmen

- Lokaliser om muligt hovedafbryderen til strømmen til begge BESS-anlæg
- BESS-anlæg/batterier og alle tilsluttede dele kan give stød
- Der vil altid være spænding på batteriet
- Inden køling og brandslukning frakobles eventuel ekstern strømkilde til BESS-anlægget
- Risiko for 'stranded energy' i BESS-anlæg

S – sænk temperaturen

- Da der er brand i et stort BESS-anlæg, vil køling med vand formentlig ikke have en effekt for at sænke temperaturen, men vil kunne bidrage til at undgå brandudbredelse
- Adgang til enheder i containeren kan være risikofyldt pga. eksplosiv atmosfære
- Undgå at åbne døre i containeren eller ophold i nærheden
- Monitorer fareområdet (containeren), dvs. varmeudvikling i batterierne
- Batterierne kan selvantænde efter køling/slukning

Risikoniveau 4: Defensiv, kølende med vand i og omkring BESS-anlæg. Der skal arbejdes med sikkerhedsafstand ift. spænding BESS-anlæg. Redning Klasse 1 foretages med forbehold for sikker indsættelse i forhold til den mulige risiko for antændelse og eksplosion af afgangsgasser.

MMI – Mål med indsats

Et afgørende MMI omfatter forhold omkring personredning af ejeren (Klasse 1).

Et ambitiøst MMI - såfremt rekognosceringen klarlægger, at der allerede er opstået 'thermal runaway'/stor varmetigning i det tilstødende BESS-anlæg - kunne være at sikre, at der ikke sker ophobning og antændelse af brændbare gasser i BESS-anlægget eller andre steder i lagerhallen, og at branden ikke medfører svækkelse af de bærende bygningskonstruktioner.

Et mere realistisk MMI kunne være, at der ud over røgspredning, ikke må ske brandspredning uden for den brandramte container ved at undgå 'thermal runaway' i det tilstødende BESS-anlæg.

Taktisk Plan

I: Eftersøgning og redning af Klasse 1 person. Strøm/forsyning til begge BESS-anlæg frakobles så tidligt som muligt.

D: Iværksætte ventilering af hallen og rekognoscere for varmeudvikling i det tilstødende BESS-anlæg og eventuelt åbne døre/lemme i anlægget, som vender væk fra branden/varmepåvirkningen. Iværksætte slukning/køling af det brændende BESS-anlæg (og evt. det tilstødende), hvis der er en fortsat temperaturstigning i dets batterier. Ud fra sikkerhedsafstand monitoreres temperaturen på begge BESS-anlæg, indtil temperaturen er stabil (direkte måling på batterierne, hvis muligt).

A: Såfremt det er muligt at flytte begge eller den ene af containerne til det fri, kan det overvejes. Brændbare oplag, trykflasker fjernes eller skærmes fra branden.

Kapacitetsopbygning

- Langvarig indsats. Afløsning/forskydning af mandskab
- Vandtankvogne/fast vandforsyning. CO₂ til køling som alternativ til vand. Pumpekapacitet
- Skæreslukker. Kæder, stropper eller andet til 'fjernåbning' af døre i container. Udstyr og værktøj skal være godkendt til 1.000 V
- Køretøj, der kan trække/løfte containere til det fri. Ventilatorer (LUF60 m.fl.)
- Politi i forhold til langvarig afspærring og informering af eventuelle naboer/beredskabsmeddelelse omkring røgen

Kompetenceopbygning

- Teknisk kompetent ressourceperson med kendskab til BESS-anlægget
- El-installatør/producent/ejer/kompetent fagperson i forhold til arbejde med elektriske installationer/batterier
- Kontakt til miljømyndighed i forhold til røg og slukningsvand
- Behov for styring/koordinering/sikring af fast vandforsyning
- Ledelses- og stabsstøtte (second opinion). Anden fagspecialist, Kemisk Beredskab eller lignende?
- Bygningssagkyndig i forhold til bygningens fortsatte beskaffenhed/stabilitet mv.

Plan B

Hvis der konstateres 'thermal runaway' (f.eks. afgangsgasser eller en øget temperaturstigning i det tilstødende BESS-anlæg og/eller omfattende brandspredning til inventaret i hallen. Der er potentielt brand i en samlet batterikapacitet på 1 MWh. Køling med meget store vandmængder kan være et umiddelbart afhjælpende tiltag, som skal håndteres sideløbende med en potentielt omfattende brandslukning for at hindre den potentielle spredning.

Erkendelse og evaluering

Såfremt det ikke er muligt at etablere den fornødne kølekapacitet eller bygningens beskaffenhed truer indsatsen, kan der overvejes et defensivt fokus på, at branden begrænses til lagerhallen.

Grundet vejrlig (overskyet) vil der formentlig være en øget koncentration af gasser i fareområdet og evt. uden for indsatsområdet, som der bør tages højde for i forhold til omgivelserne og andre indsatte styrker på indsatsen.

Overdragelse af skadested

I dette tilfælde kunne der være tale om en ejer, skadeservicefirma eller anden der overtager skadestedet, når der ikke længere måles en temperaturstigning i BESS-anlægget. Er det sikkert at lukke containeren og henstille den, eller skal der opstilles klare retningslinjer/'restriktioner' i forhold til hvor den stilles og hvordan?

Er der risiko for at en del af batterianlæggets celler ikke er udbrændt, således at der fortsat kan forekomme 'thermal runaway' i disse? Kan der atter udledes brændbare gasser eller opstå fare i forhold til elektrisk stød?

Scenarie VI: Større BESS-anlæg som nødstrøm - koblet til solceller (niveau 4)

Hændelsen:

Udrykning til et centralt placeret indkøbscenter med biografer og restauranter i flere etager og med P-kælder i to etager under. Der er observeret en temperaturstigning og røg/afgasning fra 500 kWh BESS-anlæg i teknikrum under indkøbscenteret i parkeringskælderen. BESS-anlægget er koblet til solcellepåner på indkøbscentrets tag og fungerer som nødstrømsanlæg. Indkøbscentret er åbent på en travl dag fyldt med mennesker på juleindkøb.

Scenariebeskrivelse	
Tidspunkt: 22. december 2023, kl. 14.30	Vejr: Overskyet, 3 °C, 4 m/s fra nordvest
Hændelse og melding Første meldings ordlyd: Bygn.brand-butik Supplerende melding: Røg fra kælder under indkøbscenter. Den automatiske overvågning af et større BESS-anlæg har alarmeret for kritisk forhøjet temperatur i bygningens BESS-anlæg/nødstrømsforsyning. Der er ligeledes aktiveret både ABA og en gasalarm i det teknikrum, hvor bygningens 500 kWh BESS-anlæg er placeret samt udløst rumslukningsanlæg (argonite). Der tages imod af centerets tekniske personale. Førsteudrykning ISL - ankommer samtidig med udrykningsenheden MR1 (Motorredningssprøjte) + V1 (Vandtankvogn) HL + 5. Situation ved ankomst Let røg/afgasning fra teknikrum i parkeringskælder (niveau -2 under terræn). Indikator/lampe for både ABA og Argonite er aktive. Det tekniske personale oplyser, at man for nyligt har udvidet/udbygget BESS-anlæggets kapacitet og øget ladespændingen for at imødegå det stigende antal el-biler i parkeringsafsnittet. Siden opgraderingen har de haft lidt problemer med BESS-anlæggets stabilitet og kølestyring. I teknikrummet findes desuden en lang række andre tekniske installationer, som er kritiske for centres drift, herunder forsyningstavler, SRO-styring og lignende. Personalet tør ikke gå ind i teknikrummet, men oplyser, at de har aktiveret anlæggets nødstop via fjernstyring. Dette skulle afbryde al forsyning til og fra BESS-anlægget. Personalet oplyser desuden, at der er ca. 1.500 besøgende på dette tidspunkt. Ressourceperson Centerets tekniske ansvarlige er blandt det fremmødte personale. Han oplyser, at han har mulighed for at overvåge og styre en række af BESS-anlæggets kritiske parametre via sin tablet, som han har ved sig. Han er en anelse bekymret for, hvorvidt hændelsen kan påvirke driften i centret, da det er en af årets absolut travleste og bedst besøgte dage med mange julehandlende bestående af bl.a. mange børnefamilier. Der er desuden planlagt en større koncert på centrets torv senere på eftermiddagen.	

Situationsbedømmelse		
Delelement	Vurdering	Noter
Mennesker el. dyr i fare?	KL 1 – Nej KL 2 – Ja	Mulig lukning/evakuering af p-kælder eller hele centret
Hvor?	Teknikrum i P-kælder.	Fareområdet er primært i de berørte dele af P-kælderen. Men der vil potentielt være en spredning til de øverste etager af centret. Niveau 4 grundet batteriets størrelse og placering i lukket rum under indkøbscenter og evt. behov for evakuering.
Hvad?	Elektrisk/kemisk reaktion og varmestigning i et BESS-anlæg (500 kWh).	Muligvis forårsaget af kortslutning, overladning, overophedning, fysisk defekt eller lign. Den stigende temperatur og gas/røgproduktionen fra anlægget tyder på, at der er opstået 'thermal runaway' i anlæggets battericeller. Da der også er observeret røg fra p-kælderen, må det antages, at der ikke er tale om en blind alarm, selvom der har været problemer med den ny etablering.
Hvorhen?	Brand samt røg og gasser kan i værste fald sprede sig til parkeringsafsnittet på samme niveau og niveauet over teknikrummet.	Ved en antændelse af ophobede brændbare gasser i teknikrummet, er det usikkert, hvor store skaderne på teknikrummets konstruktioner (vægge og loft, der er udført i betonelementer) vil kunne være. Døren til rummet vil givetvis være det 'svageste' led, hvorfor trykket fra antændelsen formentlig kan forventes at sprænge døren. Hvad med brandsikringen i rørgennemføringer mv. fra teknikrummet til andre rum? Hvor intakt kan man forvente at brandcellen eller brandsektionen, som teknikrummet udgør, er efter trykstigningen/antændelsen? Hvad med afgasning fra batteriet? Kan der opstå en situation, hvor der sker antændelse af gasser udenfor teknikrummet? Vil der kunne ske en spredning til selve centret - hvor og hvor hurtigt?
Risikovurdering/ særlige farer	<u>Risikovurdering:</u> Risiko for ophobning- og pludselig antændelse af brændbare gasser i et BESS-anlæg (eksplosion). <u>Særlige farer:</u> Elektrisk stød ved håndtering af det brandramte BESS-anlæg. Ophobning af afgasning og brandspredning.	BESS-anlægget kan ikke umiddelbart aflades og skal betragtes som enhver anden elektrisk installation med stor spænding ('stranded energy'). Såfremt temperaturviklingen ikke standses og bringes ned til et acceptabelt og stabilt niveau (gerne under 65-70 °C, dog forskelligt fra producent til producent), vil der opstå brand i anlægget. Afgasning af brandfarlige gasser kan dermed antændes og føre til eksplosive forhold samt brand-/røgspredning. Bemærk desuden, at brandrøgen skal betragtes som ekstra koncentreret, da det er en batteribrand.
Adgangsveje	Dør fra parkeringskælder til teknikrum, som er 30 m inde i bygningen.	Hvor er BESS-anlæg placeret i bygningen? Hvilken adgangsvej er smartest og medfører kortest mulig røgdykning? Kan beredskabets køretøjer komme frem til teknikrummet? Det kan de formentlig ikke pga. afstanden til døren.
Mulig sikkerhedsafstand	Konservativ betragtning: 100 m som opstart, da afgasning fra BESS-anlægget udgør en risiko for mulig antændelse. Når afgasning er under kontrol, og der er foretaget kontrolmåling af temperaturudviklingen kan afstanden reduceres.	Afstanden sikrer røgdykkere, samt mandskab og øvrige personer uden apparat mod påvirkning af gas/røg og udslyngning af fragmenter. Der arbejdes primært med en sikkerhedsafstand ift. spænding i BESS-anlæg i teknikrummet i kælderen samt eventuelle skader på bygningen. Revurdering af sikkerhedsafstand, hvis der bl.a. kan anvendes termisk kamera – Varmepåvirkning af BESS-anlæg? – Afgasning i kælderen— eller er den ventileret bort? – Er der sket en afgasning til center—påvirker det evakuering? – Hvor meget røg/gas er der i hhv. teknikrum og i de øvre planer? – Adgangsvej til bygningen? Er det gennem parkering eller center? Skal der flyttes køretøjer? Hvordan er tilslutning til solceller?

Dilemmaer:

Det væsentligste dilemma er, at der formentlig sker en fortsat afgasning af brændbare gasser, så længe BESS-anlæggets temperatur er stigende ('thermal runaway'). De brændbare gasser kan ophobes i teknikrummet og vil formentlig antændes, når temperaturen er høj nok, eller der opstår en gnist i dele af de tekniske installationer. Konsekvenserne ved antændelse af brændbare gasser i et lukket teknikrum under et indkøbscenter bør tidligt tages med i risikovurderingen og være en del af håndteringen af førsteindsatsen

Derudover medfører ovenstående en fare for mandskabet, såfremt de trænger ind i teknikrummet.

Umiddelbare tiltag/tekniske hjælpemidler:

Såfremt der findes en metode til at **ventilere teknikrummet**, vil det være den bedste metode til at mindske risikoen for antændelse af brændbare gasser/'eksplosionsrisikoen' samt bortventilere brandrøg og dermed skabe bedre miljø for mandskabet og mindske følgeskader på tekniske installationer.

Derudover bør det sikres, at **BESS-anlægget ikke forsynes/oplades. Såfremt det er muligt at aflade anlægget** ved at forbruge af den strøm som potentielt findes i anlægget, vil det faren for elektrisk stød hos mandskabet kunne mindskes. Da BESS-anlægget i dette scenarie fungerer som en del af nødstrømsanlægget, kan afladningen muligvis iværksættes.

B – betragt situationen

- Der er tale om en potentiel voldsom brand i en offentlig tilgængelig bygning i flere etager med mange besøgende
- Der er ikke flammer, men røg eller gasudvikling. I det lukkede rum (teknikrum) vil der være risiko for eksplosionsfare
- Potentiel evakuering af centeret, hvor det sikres, at personer ikke søger mod P-kælderen

E – evaluer dine muligheder

- Ventilér om muligt fareområdet (teknikrum). Opmærksomhed på røg/gasser i tilstødende hulrum
- Svære adgangsforhold til teknikrum, herunder eftersøgning af eventuelle efterlyste personer i P-kælderen
- Personale/primær ressourceperson kan være påvirket af situationen
- Der vil ikke være krav om information, skiltning mv. på skadestedet til hhv. solceller, BESS-anlæg og placering af ladere til el-køretøjer i P-kælderen

S – sluk for strømmen

- Lokaliser afbryderen til strømmen - mht. både til solceller, BESS-anlæg og nødstrømsanlæg
- BESS-anlæg/batterier, solceller og alle tilsluttede dele kan give stød
- Der vil altid være spænding på batteriet, samt solcellepaneler (ved sollys/anden lyskilde), såfremt de ikke afdækkes
- Inden køling afbrydes strøm mellem hhv. solceller og BESS-anlæg
- Risiko for 'stranded energy' i BESS-anlæg

S – sænk temperaturen

- Da der ikke er brand vil køling med vand og om muligt ventilering være en effektiv taktik for at undgå en brand
- Adgang til teknikrum kan være risikofyldt pga. eksplosiv atmosfære
- Monitorer fareområdet (teknikrum), dvs. varmeudvikling i batterierne
- Batterierne kan selvantænde efter køling/slukning

MMI – Mål med indsats

Et ambitiøst MMI kunne være, at der ikke må opstå brand i teknikrummet eller antændelse af de ophobede brændbare gasser. Et andet MMI kan også være en ambition om begrænsning af tab af værdier (indkøbscentret), eksempelvis begrænsning af tab af drift. Et MMI kunne således være, at indkøbscentret skal tilbage i normal drift inden for en given tidshorisont og dermed beskrive de installationer, hvor følgeskader bør minimeres.

Et mere realistisk MMI kunne være, at der ikke må ske brandspredning udenfor teknikrummet, eller at der ikke må ske røgspredning til andre etager end den teknikrummet er placeret på (parkeringsniveau 2).

Taktisk Plan

I: Iværksætte ventilering af teknikrummet for røg og gasser. Risikovurderingen bør tage højde for, hvorvidt der er behov for at anvende udstyr og værktøj, som er ATEX-godkendt.

D: Sikre at strømforsyningen til BESS-anlægget og øvrige tekniske installationer i teknikrummet er gjort spændingsløse og eventuelt at der forbruges af strømmen i BESS-anlægget. Dette gælder også for tilslutning til solcellepaneler og anden ekstern tilslutning til el-nettet.

A: Skabe adgang til teknikrummet og køle BESS-anlægget enten med vand (sikkerhedsafstand grundet strøm) eller et inert slukningsanlæg - CO₂ eller nitrogen (kølende) indtil temperaturen i BESS-anlægget er konstant og under det niveau, som producenten foreskriver (ofte under 65-70 °C).

Kapacitetsopbygning

- Langvarig indsats. Afløsning/forskydning af mandskab
- Vandtankvogne/fast vandforsyning. CO₂ til køling som alternativ til vand. Pumpekapa- citet
- Kæder, stropper eller andet til 'fjernåbning' af dør til teknikrum hvis der er sket ophobning af gasser. Udstyr og værktøj skal være godkendt til 1.000 V. Ventilatorer, eksempelvis fjernstyret model (LUF60)
- Politi/vagter i forhold til evt. afspærring eller lukning af dele af indkøbscentret og parkeringsdæk

Kompetenceopbygning

- Teknisk kompetent ressourceperson med kendskab til BESS-anlægget
- El-installatør/producent/ejer/kompetent fagperson i forhold til arbejde med elektriske installationer/batterier
- Kontakt til miljømyndighed i forhold til røg og slukningsvand
- Behov for ekstern styring/koordinering/sikring af fast vandforsyning
- Ledelses- og stabsstøtte (second opinion). Anden fagspecialist, Kemisk Beredskab eller lignende?
- Bygningssagkyndig i forhold til bygningens beskaffenhed/stabilitet, hvis branden er 'eksplosionsagtig'

Plan B

Hvis der sker en 'eksplosion' i teknikrummet, som medfører større skader på bygningsdele og røg- og/eller brandspredning til etagen over teknikrummet. Risiko for at stå med en brand over flere etager i parkeringskælderen, hvor slangefremføring kan være besværliggjort og afspærring i forhold til at holde bilernes ejere væk fra området kan blive en stor opgave.

Plan B kunne derfor koncentrerer omkring opbygning af parathed til at imødegå en potentielt større røgventileringsopgave på begge parkeringsdæk samt sikring af en eventuel brandspredning til køretøjer på disse.

Erkendelse og evaluering

En tidlig erkendelse vil være, at der er behov for at kapacitetsopbygge indsatsen.

Såfremt det ikke er muligt at etablere den fornødne ventilering af teknikrummet, vil der ske en ophobning af brændbare gasser. Sammen med en temperaturstigning i BESS-anlæg vil der givetvis på et tidspunkt ske antændelse af gasserne. Denne erkendelse kan medføre behov for sikring/evakuering af området/indkøbscentret og afvente, at antændelsen har fundet sted, mens plan B forberedes, og MMI justeres efter de nye forhold.

Overdragelse af skadested

I dette tilfælde kunne der være tale om en ejer, driftsentreprenør, skadeservicefirma eller lignende der overtager skadestedet, når der ikke længere er en temperaturstigning i batterianlægget. Er det sikkert at lukke døren til teknikrummet og derved skabe et lukket rum omkring BESS-anlæg igen? Eller skal der opstilles klare retningslinjer/'restriktioner' i forhold til dette, således der ikke skabes en lignende situation igen?

Afhængigt af voldsomheden af branden i BESS-anlæg, skal man forvente, at der vil være dele af BESS-anlæggets battericeller, som ikke er udbrændt og derved fortsat kan skabe problemer, såsom 'thermal runaway' og sluttelig udledning af brændbare gasser i op til to døgn efter varmepåvirkningen.

Hvad er risikoen i forhold til elektrisk stød? Dette bør ligeledes adresseres og eventuelt skiltes, således at alle, der har adgang til det beskadigede anlæg, informeres om denne risiko.

Bilag 1: Case - Brandslukning i et BESS-anlæg

Casen er baseret på et BESS-anlæg med en kapacitet på knap 1.864 kWh (nominel opladnings- og afladningseffekt på 932 kW).

BESS-anlægget, som er integreret i en 20 fods container, består af 8 kabinetter med en batterikapacitet på hver 233 kWh.

Kabinetterne er forbundne med et strømkonverteringssystem (125 kW), mens selve anlægget er tilsluttet el-nettet (AC380V). Battericellerne er af typen LFP (3.2V/280A).

I casen gennemgås en mulig arbejdsgang for en effektiv og forsvarlig indsats fra alarmering til afslutning af indsatsen.

BESS-anlæg af den størrelse, jf. faktaboks, anvendes typisk til lagring af energi, som frigives efter behov og bidrager til at regulere udsving på el-nettet samt forbedre strømkvaliteten hos forbrugeren. Anlægget kan desuden anvendes som en backup strømkilde, hvor der kan være tilslutning til solceller.

BESS-anlæggets samlede system består af væskekølede batteripakker, et Battery Management System (BMS), samt systemer til strømkonvertering, temperaturkontrol, brandsikring, belysning, strømfordeling, jording af strøm og et energistyringssystem (EMS) mv.

Alarmering (alarm- eller vagtcentral)

Det er afgørende at indsamle så mange detaljer som muligt for at gennemføre en sikker og effektiv indsats. Der kan med fordel søges oplysninger om de følgende områder (jf. s. 20, pkt. 1-10), såfremt der er indikationer på en mulig tilstedeværelse af et BESS-anlæg eller tilsvarende større mængder af litiumionbatterier.

Tidlig kontakt til ressourcepersoner (3)

Findes der en ressourceperson, tekniker, installatør eller anden person, der kender til anlægget, som kan kontaktes eller rekvireres til stedet? Kontakt til beboere eller brugere af anlægget?

Alle relevante oplysninger bør videregives til den tekniske ledelse på skadestedet. Særligt bør oplysning om personer eller dyr i fare videregives så tidligt som muligt.

Undersøgelse af bygningen (4)

Er der tilgængelige oplysninger eller indikationer om placering af et BESS-anlæg eller evt. batterioplag i bygningen? Er der solceller på bygningen eller nærhed til vindmøller? I bekræftende fald - hvor mange BESS-anlæg er der, og hvor er de placeret: udendørs eller i et helt eller delvist lukket rum. Hvis det er placeret i et rum, hvor stort er rummet forventeligt?

Er der et lukket, indesluttet miljø eller tilstødende rum omkring BESS-anlægget, hvor ophobning af gasser er mulig? Er der umiddelbart risiko for brandspredning til andre bygninger, oplag mv.? Ligger bygningen i et industriområde eller i et beboelsesområde?

Undersøgelse af afgangning fra BESS-anlægget (6)

En mulig oplysning fra alarmcentral/anmelder kan være svaret på, om det brænder med synlige flammer, eller om det primært er gasser, der kan ses som en hvid "røg"?

Er der en formodning om, at afgangning vil være i helt eller delvist lukkede rum (kan medføre risiko for eksplosion)?

Bemærk, at afgangningen kan fremstå som hvide, lysegrå eller farvede dampskyer. Herudover kan afgangningen medføre mislyde eller lugte (stikkende, kemiske) fra BESS-anlægget.

Under fremkørsel

Når det er erkendt, at der findes et BESS-anlæg på skadestedet, kan der være behov for supplerende oplysninger i forhold til punkt 1-3, såfremt de kan fremskaffes.

Muligheder for sikker afbrydelse (5)

Er der mulighed for at koble BESS-anlægget fra el-nettet, solceller og lign.? Vil frakobling skulle foretages manuelt af mandskabet, eller kan det ske automatisk - f.eks. ved en hovedafbryder i sikker afstand fra BESS-anlægget?

Der bør være opmærksomhed på, at selve batteripakkerne og eventuelle solcellepaneler (sollys/anden lyskilde) ikke kan gøres spændingsløse!

Ventilations- og sikkerhedsforanstaltninger (7)

Der bør sikres god ventilation omkring det skadede BESS-anlæg. Det bemærkes, at afgangningen af brændbare gasser fra litiumionbatterier kan være hhv. tungere eller lettere end atmosfærisk luft, hvorfor ventileringen bør være effektiv for hele rummets højde og eventuelt for tilstødende rum/hulrum over og under batterirummet.

Er der mulighed for at ventilere rummet? Findes der f.eks. sprinkleranlæg, køleanlæg eller gasslukningsanlæg i rummet, som allerede er aktiveret eller kan aktiveres ved ankomst? Er der mulighed for at ventilere rummet på andre måder uden risiko for personer?

De formodede sikkerhedsafstande i forhold til spænding, røg, gasser (afgasning af tunge eller lette gasser) og risikoen for eksplosion i lukkede rum bør italesættes. Disse oplysninger bør videregives til personer på skadestedet eller første køretøj på skadestedet (patroljevogn eller sundhedsberedskabet) så tidligt som muligt.

Anden vigtig infrastruktur (8)

Er der tale om kritisk infrastruktur, som brandfarlige virksomheder og oplag, forsyningsvirksomheder eller energiproducenter, herunder virksomheder med PtX-anlæg, hvor der bør tages særlig hensyn til frakobling til el-nettet, information om hændelsen mv.?

Er der tilgængelig vandforsyning, og er den tilstrækkelig i forhold til en forventning om en lang indsats? Er der udfordringer med adgangsveje, som skal håndteres ved fremkørsel og/eller opmarch hvad angår sikkerhedsafstande, organisering af indsatsområdet og vindretning?

Før indsats

Det er væsentligt at konstatere, hvorvidt der findes BESS-anlæg på ejendommen, og om det er påvirket af branden eller potentielt kan blive det.

Situationsbedømmelse (1)

Ved ankomst suppleres ovenstående punkter med en visuel situationsbedømmelse for at prioritere tiltag i førsteindsatsen under hensyn til særlige farer og hensyn ved redning af Klasse 1 personer. Mandskabets sikkerhed er i fokus, og der arbejdes med en konservativ sikkerhedsafstand.

Situationsbedømmelsen suppleres med oplysninger fra anmelder, ressourceperson m.fl. Hermed kan det evt. bekræftes om der dels er 'thermal runaway' i batterierne, dels en ikke-antændt afgasning i lukkede rum.

Risikovurdering, herunder særlige farer (2)

Risikovurderingen har fokus på at erkende de særlige farer for: Elektrisk stød; afgasning og eksplosion; en voldsom eller atypisk brand; andre særlige farer? Ofte vil flere risici være tilstede på samme tid, men de vil medføre forskellige sikkerhedsafstande. Hvad skal der til for at den enkelte risiko ikke længere udgør en fare, og sikkerhedsafstande dermed kan reduceres?

Afgasning: Det vigtigt for risikovurderingen at afklare, hvorvidt det allerede brænder i BESS-anlæg, eller om der er en potentiel risiko for, at BESS-anlæg kan blive varmepåvirket, idet en markant temperaturstigning formentlig vil kunne resultere i afgasning af brændbare og giftige gasser.

Såfremt det konstateres, at BESS-anlægget er varmepåvirket, f.eks. af brand, bør det antages, at brændbare gasser, herunder hydrogen, er til stede. Ophobning af disse gasser kan udgøre en fare for eksplosion. Er det ikke muligt at skabe en effektiv ventilering, bør konservative sikkerhedsafstande og øvrige tiltag etableres for at imødegå en potentiel antændelse af gasserne.

Såfremt det er muligt, bør en massiv afkøling af BESS-anlæg prioriteres for at forsinke eller standse varme/trykstigningen i battericellerne. Herunder kan lokalisering af temperatur i og omkring BESS-anlægget bidrage til at målrette slukningen. Det kan ske med termisk kamera, aktivering af røgmeldere mv.

Personer, der har været eksponeret for brandrøg eller gasser, kan have været udsat for giftig afgasning og bør tilses af sundhedsberedskabet for symptomer.

Supplerende oplysninger fra ressourcepersoner: Ved BESS-anlæg i industri mv. bør der om muligt tages kontakt til en teknisk ansvarlig, som har kendskab til virksomhedens tekniske installationer, herunder forsyning, eventuel indsatsplan og forebyggende tiltag (ventilation mv.).

Ved private boliger kan der indhentes oplysninger fra beboere om eksempelvis tilstedeværelsen af batterier, batteriernes samlede kapacitet, hvorledes de er tilsluttet el-net, solceller og lign. samt muligheder for at udlufte, isolere eller på anden måde sikre forholdsregler omkring batterierne.

Lokalisering af brand og udpegning af fareområde: Såfremt BESS-anlægget er varmepåvirket, og det konstateres, at der allerede er brand i batterierne, kan oplysninger om batteriernes kapacitet, kemiske sammensætning, SoC, elektriske risici osv. kvalificere udpegning af fareområde, indsatstaktiske restriktioner, samt give indikationer om brandens potentielle energi og giftighed, som kan påvirke brandforløbet. Lokalisering af branden er vigtig for at afklare mulige angrebsveje, herunder hensyn til indsatstid og eksponering af gasser.

Frakobling af strøm inden indsættelse: Anvend Standard Operational Procedure (SOP) for indsættelse mod stærkstrømsinstallationer. Er der tale om erhvervsbyggeri med mange kontorpladser, kan der være tale om et mindre serverrum med UPS-anlæg (nødstrøm) med et BESS-anlæg.

Brandbelastning: Brandbelastningen kan om muligt vurderes ud fra batteriernes kemiske sammensætning, og om der er tale om f.eks. et tilsluttet BESS-anlæg eller oplag af fabriksnye/ikke-udtjente eller udtjente batterier. Derudover kan der om muligt foretages en vurdering af, hvordan skader på kabler, komponenter, kobling til el-net mv. kan bidrage til brandbelastningen.

Skadestedet: Brand i batterier eller BESS-anlæg udvikler afgasning af forskellige gasser, som formentlig vil være sammenblandede og findes i brandrøgen. Placering af udrykningskøretøjerne samt afspærringer bør tilgodeses en formentlig lang indsats, hvor der er behov for forskellig placering i førsteindsatsen og efterfølgende afhængigt af udvikling af branden. En række af gasserne er stærkt korrosive (blandt andet hydrogenfluorid/HF-gas). Det er derfor vigtigt, at mandskab, køretøjer og øvrigt materiel placeres således eksponering for brandrøg, stammende fra batterier minimeres.

Skadesudvikling: Risikovurdering, herunder særlige farer revurderes, hvor der også vurderes for

påvirkning af andre batteripakker, oplag/enheder eller bygningskonstruktioner?

Er vindretning til fare for omgivelserne? Taktiske muligheder med udgangspunkt i køling og hindring af brandudbredelse - defensiv eller offensiv taktik? Behov for indvendig slukning - og er det sikkert? Hvordan kan indsatsen udvikle sig - og hvad er plan B?

Under indsats

Taktiske muligheder brand eller risiko for brand (9)
Revurdering af sikkerheden: Skadesudvikling revurderes i tråd med, at de særlige farer håndteres. Under hele indsatsen vil der potentielt være varmeudvikling og afgasning fra batteriet. Hermed følger risiko for hhv. ophobning af gasser i lukkede rum og en eksplosiv atmosfære. Da den eksakte kemiske sammensætning af afgasning fra batteriet fra et varmepåvirket BESS-anlæg ikke kendes, bør sikkerhedsafstande og øvrige sikkerhedsmæssige restriktioner fastlægges konservativt og løbende revurderes under indsatsen.

Der bør være et stort fokus på den potentielle tilstedeværelse af ikke antændte, brændbare gasser. Såfremt der allerede er sket en antændelse af afgasningen vil "ny" afgasning løbende blive antændt ved kilden og derved i mindre grad bidrage til ophobning og potentiel antændelse andetsteds.

Supplerende oplysninger kan være producentens anvisninger for håndtering af en brand i det specifikke BESS-anlæg. Indsatstaktikken bør tage højde for, at kontakt med spændingsførende komponenter undgås, herunder hensyn til sikkerhedsafstand ved slukning af brand. Der bør for ekstra sikkerhed anvendes godkendt udstyr og værktøj til 1.000 V.

Kvalitet i indsatsen: Der vil ofte være tale om komplekse og værdifulde installationer, hvor konkret teknisk viden om de enkelte dele kan være afgørende - dels for en effektiv og forsvarlig indsats, dels minimering af følgeskader og hensyn til den fortsatte drift efter beredskabets håndtering af branden. Her kan information om, hvordan en frakobling (el-net) vil påvirke fortsat drift i omgivende områder være nyttige for en prioritering. Muligheder for at minimere vandforbruget til slukning kan være en overvejelse - både af hensyn til vandforsyningen og håndteringen af slukningsvandet.

Indsatstaktik: Såfremt et BESS-anlæg trues af større temperaturstigning, er afkøling en effektiv metode til at sikre anlægget mod 'thermal runaway'.

En *defensiv* taktik med køling på afstand kan være den bedste tilgang, men afkøling kan være forbundet med udfordringer, idet der skal tages hensyn til eventuelle høje elektriske spændinger, samt det forhold, at selve battericellerne er sammenbygget inde i en beskyttende afskærmning med omsluttende membraner/emballage, hvorfor direkte afkøling af selve battericellerne ofte ikke er mulig.

Selv i en *offensiv* taktik med behov for indvendig køling, eller redning af personer, indsættes der ikke i lukkede rum uden tilstrækkelig ventilering. Producentens anvisninger for håndtering af en brand kan anvendes såfremt den tager højde for nødvendig sikkerhed for mandskabet.

En effektiv afkøling af BESS-anlægget kan kræve store mængder vand. Det er således ikke alene vigtigt at etablere tilstrækkelig og sikker vandforsyning til brandslukning, men potentielt også til langvarig og omfattende køling af BESS-anlæg. Der bør desuden tages højde for potentiel stor vandafledning- og følgeskader som følge heraf, samt en stillingtagen til afledning af slukningsvandet, således at mandskabet ikke har unødigt kontakt med det. Revurdering af skadesudviklingen kan omfatte brandens udvikling, ændring af indsatsområdet med anden placering af køretøjer, afspærring mv.

Arbejds miljø: Sikkerhedsmæssigt rettes fokus på korrekt anvendelse af udstyr (værktøj) og personlige værnemidler (PPE) mod brandrøg og afgasning af giftige (ikke brændbare) gasser (herunder HF), herunder fuld åndedrætsudstyr. Isoleret værktøj og sikkerhedsudstyr omfatter bl.a. egnet hjelm/visir/øjenværn, fodtøj, indsatsmundering (godkendt til beskyttelse mod lysbuer EN 61482-1 og EN 61482-2). Afspærring og skiltning bør være synlig for alle og opretholdes.

Supplerende ressourcer: Findes der eksisterende indsatsplaner for det konkrete anlæg? Findes der en kollega, som har sagsbehandlet anlægget, og derved har specifik viden, som kan støtte indsatsen? Kan vandforsyningen dække behovet for store mængder vand? Er der stillet eventuelle krav til særskilt vandforsyning? Kan BESS-anlægget beskyttes/afskærmes mod brand eller som sikkerhed for mandskabet?

Er der behov for kapacitetsopbygning i form af specialværktøj/materiel, supplerende mandskab, ledelsesstøtte eller assistance fra andre beredskaber? Er der behov for assistance til overvågning og monitorering af skadestedet eller BESS-anlægget f.eks. med droner og termisk kamera?

Er der behov for måleudstyr til tilstedeværelsen af risiko for eksplosiv atmosfære (evt. kontakt til Kemisk Beredskab/HazMat).

Efter indsats

Videregivelse af relevant information (10)

Afsluttende indsats: Varmeudviklingen i battericellerne kan, såfremt det er muligt ift. fejlmålinger, monitoreres med termisk kamera. Kølingen bør fortsættes, indtil temperaturen i cellerne konstateres stabil. Producentens specificerede grænser kan eventuelt give en indikation af, hvilken temperatur det drejer sig om.

Ved at frigive skadestedet, når der over en periode, er påvist en sænkning af temperaturen i batteriet til et stabilt niveau under 65 °C, er risikoen for 'thermal runaway' forventet minimeret til et acceptabelt niveau.

Det bemærkes, at 'thermal runaway' kan optræde 'passivt' i op til 2 døgn efter slukning, hvorfor en fortsat temperaturmonitorering og tilsyn med det skadede BESS-anlæg kan opretholdes efter afsluttet indsats. Dette er dog ikke nødvendigvis redningsberedskabets opgave, da der ikke vil være en akut fare, som kun kan løses med redningsberedskabets kompetencer.

Derfor er det centralt, at de aktører, som anlægget og området overdrages til, er oplyste om dette, og at BESS-anlægget så vidt muligt henstilles med en placering med afstand til bygninger, oplag mv.

Sikkerhedsmarkeringer, afspærring og skiltning opretholdes ved afslutning af indsatsen og kan indgå i overleveringen sammen med oplysning om, hvilke særlige farer de er rettet mod.

Relevante oplysninger i overlevering (ikke udtømmende):

- Hvornår og på hvilken baggrund skadestedet frigives?
- Hvad er temperatur i batteri ved afslutning af indsatsen?
- Er der risiko for eksponering af elektrisk spænding og potentiel afgasning?
- Hvis muligt - hvad er den anslåede resterende brandbelastning fra batterierne?
- Hvilke tiltag er iværksat for at minimere følgeskader på BESS-anlæg samt omkringliggende bygninger og miljø?
- Er der mulighed for fortsat drift efter afsluttet indsats?
- Er der handleanvisninger ved genopblussen af brand?

Bilag 2: Tekniske forhold for BESS-anlæg

Litiumionbatterier anvendes bl.a., da de rummer en stor energitæthed og kan tåle et stort antal af op- og afladninger. Batteriet fungerer ved, at der overføres en elektrisk ladning i form af ioner fra en katode (litium) med 'afgang af strøm' gennem en elektrolyt bestående af et organisk opløsningsmiddel (litiumsalte) over til en anode (carbon) med 'tilgang af strøm'.

Batteriet består af mange mindre battericeller i en batteripakke, som kan være svær at komme ind til, da den er beskyttet af membraner og en beskyttende ydre indpakning. Ved at koble flere litiumionbatterier sammen til en større energilagringssenhed (BESS-anlæg) kan fordelene ved den store energitæthed på celleniveau skales op. Enheden kan både indrettes i en flytbar containerløsning, men kan også installeres fast i et særskilt 'batterirum' i en bygning eller udendørs i en container eller under en overdækning.

BESS-anlæg findes i mange forskellige størrelser (kapaciteter) fra lokal anvendelse i hustande, hvor anlægget kan lagre husstandens overskudsproduktion fra solceller til større BESS-anlæg tilsluttet el-nettet (400 V eller 10 kV) ved behov for distribution af strøm gennem el-nettet.

Cellerne er generelt emballeret og beskyttet mod ydre, fysiske påvirkninger. Men kobling til el-nettet, solceller og lign., samt de mange op- og afladninger, der på sigt kan gøre batterierne sårbare.

Forskning

En brand i batterierne vil bestå af dels en 'regulær' brand, hvor plastik og brændbare væsker i batteriet brænder, dels 'thermal runaway' (svær at slukkes), dels afgasning af brændbare gasser i batteriet (fra celleniveau til container). Der forskes stadig meget på området, men følgende punkter er værd at bemærke:¹⁵

- Brand i batterier kan tage lang tid at håndtere uagtet en hurtig slukning i førsteindsatsen
- Større, sammenhængende batterier brænder længere end en tilsvarende kapacitet, som er opdelt i mindre moduler
- Tætpakkede batterier giver en hurtigere brandudvikling mellem celler/moduler. Udfordring at få slukningsvand ind til ikke-varmepåvirkede battericeller for at opnå den rette køling

- Overvejelse om det er muligt at lade batteriet udbrænde grundet de store mængder vand til køling, som vil være svær at målrette
- 'Thermal runaway' er en proces, som typisk vil være selvnærende ved temperatur mellem 150 °C til 170 °C. Ses dog allerede omkring 65-70 °C
- Måling af CO kan give et billede af at den kemiske proces i batteriet samt taktiske muligheder ud fra brandens udvikling
- 'SoC' betydning for flamme- eller røgudvikling: SoC 90 % vil formentlig medføre flammer, ved SoC 60 % ses røg eller gas fra batteriet, ved SoC 20% er der formentlig mindre risiko for en hurtig udvikling af brand eller afgasning

Forebyggelse

Beredskabsstyrelsen udgav i 2023 'Vejledning om brandsikring af større oplag af litiumionbatterier samt BESS'. Den er målrettet det forebyggende arbejde i redningsberedskabet og omhandler anvendelsen af § 34, stk. 2 i Beredskabsloven. Vejledningen stiller ikke krav om, at § 34, stk. 2 skal anvendes, men vejledningens opdeling af forskellige batterier kan evt. fremover give en identifikation af, hvorvidt bestemmelsen har været anvendt ved:

- Oplag af fabriksnye samt ikke-udtjente batterier
- Oplag af udtjente batterier
- Battery Energi Storage Systems (BESS-anlæg)

Vejledningen angiver mulig fastsættelse af vilkår om brandforebyggende tiltag i BESS-anlæg og større oplag af batterier (litiumion) ud fra en risikovurdering af bl.a.:

- Batteriernes tilstand (SoC, skader)
- Indsatsmuligheder
- Brandspredning

Det bemærkes, at nærværende temahæfte også omhandler BESS-anlæg, som er væsentlig mindre end dem, som vejledningen omhandler, da mindre anlæg og oplag også kan udgøre en risiko for mandskabet.

Bilag 3: Indsatskemi ved brand i BESS-anlæg

Brændbare komponenter i et litiumionbatteri

Battericellerne beskyttes af membraner, og selve batteripakken beskyttes af en ydre indpakning. Membraner og indpakning vil kunne bidrage til en brand, da de kan være lavet af forskellige plasttyper og andre brændbare materialer.

Ved fejl i batteriet eller ved varmepåvirkning og brand sker der en afgasning fra batteriets forskellige komponenter, som kan antændes. Batteriets opbygning bidrager med yderligere potentielle brændbare komponenter, f.eks.:

- En *litium metal* katode (afgang af strøm) gennem
- en elektrolyt bestående af et organisk *opløsningsmiddel* (indeholdende f.eks. litium-salte) over til
- en *carbon* anode (tilgang af strøm)

Litiumionbatterier og brandrisici:

De beskyttende membraner og indpakning øger kompleksiteten ved adgang til de fejlramte battericeller under brand. Batteriets komponenter som litium metal katode, elektrolyt og carbon anode udgør yderligere brandrisici. Det vil være denne samlede mængde af energi, som potentielt vil bidrage til en varmeudvikling eller brand i lang tid.

Afgasning fra forskellige batterityper:

Ved 'thermal runaway' eller brand i batteriet frigives en række gasser i forskellige mængder afhængig af batteritypen samt andre faktorer. Gasserne vil kunne være tungere eller lettere end atmosfærisk luft og vil udgøre en sundhedsfare for eksponerede personer. Hvis afgasningen sker i et lukket rum, kan der være risiko for en antændelse af gasserne, som kan medføre eksplosionslignende forhold.

CBRNE-hændelser i BESS-anlæg:

Når der opstår hændelser i BESS-anlæg, kan de muligvis klassificeres som CBRNE-hændelser, særligt hvis der er tale om så store anlæg, at der eksempelvis er synlig udsivning af elektrolytvæske fra batterierne. Dette kan kræve specialiseret viden fra ressourcepersoner, supplerende beredskabsenheder eller Beredskabsstyrelsens Kemiske Beredskab.

Redningsindsats og ekspertvurdering:

Ved hændelser i BESS-anlæg kan en redningsindsats være nødvendig, især hvis der er risiko for farlige gasudslip. Ekspertberedskaber kan kontaktes for at hjælpe med at vurdere situationen og give råd om aktivering af relevante beredskabsenheder.

Vigtige oplysninger ved kontakt til ekspertberedskab:

Det er essentielt at give detaljerede oplysninger om hændelsen ved kontakt med ekspertberedskaber, inklusive lokalitet, hændelsesbeskrivelse, antal eksponerede personer og fysiske og kemiske kendetegn for de involverede stoffer.

Beredskabsstyrelsens kapaciteter:

Beredskabsstyrelsen har specialiserede enheder (CBRN-vogne og HazMat-teams), der kan mobiliseres til at rådgive eller assistere ved hændelser, der involverer farlige stoffer og materialer.

Afgasningens sammensætning

Afhængig af batteritypen vil der i forbindelse med 'thermal runaway' eller en brand i batteriet frigives varierende mængder af forskellige gasser. De nedenstående typer af batterier anvendes ofte i BESS-anlæg, hvor de primært udledte brandfarlige gasser ved 'thermal runaway' (NCM og LFP) er H₂, CO, CO₂ og C₂H₄ med følgende fordeling:¹⁶

Gasserne er brandfarlige, og flere også sundhedsskadelige, og de vil kunne påvirke en indsats i forhold til dannelsen af f.eks. en eksplosiv atmosfære.

I tilfælde af brand vil det samlede billede af de frigivne gasser, andre stoffer og nedbrydningsprodukter i realiteten være kompleks og svær at måle konkret på i indsatsen.

Brint og CO₂ udledes i høje koncentrationer fra de mest anvendte batterityper (NMC, LFP og LCO), jf. nedenstående figur 15.

En undersøgelse viste, at komponenterne i afgasning fra batteriet havde en klar afhængighed af batterikapaciteten. Koncentrationen af gasser såsom carbonmonoxid (CO), metan (CH₄), ethylen (C₂H₄), ethan (C₂H₆) og hydrogencyanid (HCN) steg med højere cellekapacitet.

Af de fem undersøgte brændbare gasser blev de maksimale koncentrationer af carbonmonoxid (16,85 vol %), metan (7,6 vol %) og ethylen (7,86 vol %) identificeret til at være inden for antændelsesområdet. Test blev foretaget på NMC-batterier under 'thermal runaway' med SoC på hhv. 0%, 30%, 50%, 80%, and 100%.¹⁷

Der bør være opmærksomhed på forskellen på, om en gas er tungere eller lettere end den atmosfæriske luft ud fra deres densitet (dampmassefylde) som i praksis vil give en specifik sammenblanding pga. vind- og temperaturudveksling på et givent sted.

Dette vil have betydning for personer uden fuld ånde-dræt, samt indvirkning på gasdetektering og -måling og selve indsatstaktikken, da f.eks. hydrogen kan op-hobes oppe under loftet.

Kilde: <https://kemikalieberedskab.dk/>

	H ₂	CO ₂	CO	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆
NMC (Li-NiCoMn)	31 vol. %	41 vol. %	13 vol. %	7 vol. %	8 vol. %	-
LFP (LiFePO ₄)	31 vol. %	53 vol. %	5 vol. %	4 vol. %	7 vol. %	<1 vol. %
LCO/NMC (LiCoO ₂)	30 vol. %	25 vol. %	28 vol. %	9 vol. %	8 vol. %	1 vol. %

Figur 15: Udvalgt udledning af gasser, som i forsøg er set udledt fra litiumionbatterier.
Note: LMO-batterier (litium-nikkel-manganoxid) og LNO-batterier (litium-nikkeloxid) anvendes også ofte i BESS-anlæg, men var ikke en del af denne undersøgelse.

	Hydrogen	Carbon-monoxid	Ethen/ Ethlyen	Metan	Hydrogen- cyanid	Kuldio- xid	Hydro- gen- fluorid
Formel	H ₂	CO	C ₂ H ₄	CH ₄	HCN	CO ₂	HF
% Vol.	30-31	5-28	6-9	4 -9	Ukendt	25 -53	Ukendt
Identifikation	Farveløs gas				Farveløs til gullig gas	Farveløs gas	Farveløs gas/ rygende væske
Brandfare	Meget brandfarlig						
	Brænder med en næsten usynlig blålig flam-		Dampe kan fjernantændes				
Eksplodings- fare	Gassen kan danne antændelige blandinger med luft						
	I lukkede rum overskrides øvre antændelsesgrænse let			I lukkede rum overskrides øvre antændelsesgrænse let			
Forhold over for vand	Uopløseligt i vand	Moderat opløseligt i vand	Uopløseligt i vand		Letopløseligt i vand		
Specielle risici	Fortrænger luftens oxygen. Reagerer voldsomt med oxidationsmidler	Er et reduktionsmiddel. Kan forårsage kroniske sundhedsskader	Fortrænger luftens oxygen.			Fortrænger luftens oxygen.	Er en stærk syre, der reagerer med metaller under dannelse af meget brandfarlig hydrogen
Antændelsesgrænse	4,0 - 77,0 v/v %	10,9-76 v/v %	2,4 - 36 v/v %	4,4 - 16,5 v/v %	5,6 - 47 v/v %		
Dampmassefylde (luft = 1)	0,07	0,97	0,98	0,6	0,9	1,5	1,8

Figur 16: Udvalgte farlige stoffer ved afgasning fra batterier, typen NMC (Li-NiCoMn), LFP (LiFePO₄), LCO/NMC (LiCoO₂)

Kilde: <https://kemikalieberedskab.dk/>

Er LFP en mere sikker batteri-type end NMC?

LFP-batterier er udbredte, da de bl.a. er billigere at producere end andre typer af litiumionbatterier. De har en lav risiko for overophedning og brand, og frigiver mindre ilt ved brand. Af denne grund anses de nogle gange for at være mere sikre end andre batterityper. De har desuden en bedre holdbarhed pga. lavere nedbrydningshastighed og bedre robusthed ved op- og afladning.¹⁸ Forskellige forsøg peger da også på, at LFP-batterierne, inden de potentielt afgasser eller går i brand, kan være mere sikre end NMC.

Det bemærkes, at der ved brand eller varmeudvikling som resulterer i afgasning, kan være høj koncentration af H₂ i afgasningen fra LFP-batterier, der medfører en lavere brændbarhedsgrænse (LFL) og derved et stort antændelsesområde. Dette kan teoretisk sammenlignes med afgasning og sammenblandinger fra andre typer af batterier. Derfor må fortsat forskning bl.a. om sikkerheden ved de forskellige batterier for at afdække forskelle i nedre og øvre antændelsesgrænse forventes.¹⁹

Ud fra temahæftets sigte på indsatser med fare for brand bør der ikke tages udgangspunkt i denne antagelse om, at én type af batteri er mere sikkert end andre.

Når batteriet – uagtet type - først er begyndt at afgasse eller er gået i brand, må risikoen i forhold til eksplosionsfare og en vedvarende 'thermal runaway' antages at være indsatstaktiske sammenlignelige, da de eksplosive gasser ses på tværs af batterityperne.

Der kan desuden være en del andre faktorer, som har indvirkning på, hvor farlig en afgasning eller brand vil kunne være (SoC m.m.). Derudover kan der også være giftigheds-, sundheds- og miljømæssige faktorer, som dog i praksis kan være svære at klarlægge under en indsats.

Rådgivning ved Kemisk Beredskab

Som beskrevet i Figur 16: "Udvalgte farlige stoffer ved afgasning fra batterier" vil der ved fejl eller brand i batteriet ske en afgasning med forskellige komponenter. Hvorvidt der er behov for konkret viden om tilstedeværelsen og koncentration af de enkelte gasser bør være en situationsbestemt afklaring, som hænger sammen med kompleksiteten og størrelsen på BESS-anlægget og selve branden.

Synlige forhold omkring størrelsen på BESS-anlægget og kompleksiteten af branden (intern varmeudvikling/brand i batterierne eller en ekstern brand, antændelse af gasser mv.) kan i situationen være en ligeså relevant information som koncentration af den enkelte gas.

Det bemærkes, at tilstedeværelse og koncentration af gasser hurtigt vil ændres, bl.a. i takt med, at en afgasning antændes. Nogle redningsberedskaber har eget måleudstyr, som kan anvendes i førsteindsatsen.

Kemisk Beredskab kan eventuelt kontaktes for rådgivning. Kemisk Beredskab kan støtte den tekniske ledelse på skadestedet med f.eks. indledende målinger samt rådgivning inden for det kemiske område.²⁰

Vagthavende kemiker er kontaktpunkt for Kemisk Beredskab og kan efter behov iværksætte løsning af alle typer opgaver i tråd med den rådgivning, som normalt kan gives inden for C-området.

Udover HazMat-beredskabet består Beredskabsstyrelsens øvrige operative CBRN-kapaciteter af forskelligt specialmateriel og pakninger til løsning af specialiserede opgaver inden for CBRN, herunder CBRN-køretøjer, miljøcontainere og materiel til rensning og dekontaminering.

Bilag 4: Lukket rum/lukket miljø

I temahæftet dækker begrebet 'lukkede rum' over et indelukket rum eller lukket miljø, hvor der kan ske en ophobning af gasser fra batteriet. I operativ sammenhæng forstås dette anderledes end situationer, hvor en dør eksempelvis lukkes til et rum for at hindre brandspredning.

For at et arbejdsområde kan defineres som et lukket rum, dvs. at det er begrænset på enten størrelse, udformning eller atmosfære vil et eller flere af disse forhold være opfyldt:²¹

- Indelukket rum, isoleret og iltfattigt miljø
- Begrænsede åbninger for ind- og udgange
- Pladsen er ikke tiltænkt længerevarende eller vedvarende ophold for personer
- Pladsen er ikke nødvendigvis stor nok til, at en person kan indtræde i rummet og udføre et arbejde

Et lukket rum er således ikke nødvendigvis et lille rum. F.eks. kan en container betragtes som et lukket rum, da atmosfæren ikke er sikker at arbejde i, grundet begrænset ventilation mv.

I forbindelse med lukkede rum kan der udarbejdes en sikkerhedsinstruktion, som gælder ved alle arbejder, som udføres i det lukkede rum.

Betegnelsen 'lukkede rum' omfatter rum med begrænsede eller svære adgangsforhold, hvor alvorlige helbredsrelaterede risici kan opstå grundet farlig atmosfære i eller fra nærværeliggende omgivelser.

Lukkede rum vil kunne være markeret ved skiltning, men er det ikke nødvendigvis. Der bør dog altid foretages en vurdering af, om der er tale om et lukket rum, inden et arbejde eller en indsats igangsættes i eksempelvis:

- Containere, kanaler og store rør
- Fyrrum, baghuse, garager, kældre og lignende sekundære rum
- Ikke-ventilerede eller rum, der betragtes som begrænset ventileret

Særlige risici

Rum, hvor der placeres BESS-anlæg og oplag af batterier, kan have en eller flere af ovenstående karakteristika, hvilket der bør tages højde for i risikovurderingen. Hertil lægges den særlige risiko for en eksplosiv atmosfære pga. afgasning fra batteriet i et lukket rum. Mandskab må kun indsættes, hvor risikoen for en eksplosion er fjernet. Røgdykkerne vil i nogen grad være beskyttet ved en række af nedenstående risici, men bør være opmærksomme på ændringer i forhold/risici som følge af:

- Mangel på ilt (for røgdykkerne kan der være lang adgangs- og retrætevej)
- Giftige gasser, støv eller damp
- Væsker og faste stoffer, som pludselig kan fylde rummet
- Brand og eksplosioner, f.eks. som følge af brandfarlige dampe eller overskud af ilt
- Fragmenter/dele af batteri, container, bygning mv. kan løsrive sig og ramme en person
- Varme/kulde forhold, der kan føre til farlige ændringer af kropstemperatur
- Dårlige og snævre adgangsforhold, som kan medføre ulykker og vanskeliggøre redning

Vurdering af ekstra sikkerhedsopgaver

Behov for særlige personlige værnemidler, herunder åndedrætsværn, vurderes i forbindelse med den konkrete arbejdsopgave/indsats. Indsatsmandskab (røgdykkere) med fuldt åndedræt vil være sikre sammenholdt med andre faggrupper, dog med den forståelse af risikoen for en eksplosion, før end der er opstået en brand i BESS-anlægget eller oplaget.

Behov for sikkerhedsmand bør vurderes i forbindelse med den konkrete arbejdsopgave. Formålet med en sikkerhedsmand er at sikre kontinuerlig kommunikation mellem røgdykkerholdet og mandskab uden for det lukkede rum, således at der kan etableres umiddelbar redning eller alarmering, hvis der opstår vanskeligheder, i form af en udvikling af branden eller røgdykkere bliver bevidstløse.

Ventilation og måling

Det vil som udgangspunkt være nødvendigt for mandskabet at anvende fuldt åndedrætsværn ved indsættelse i lukkede rum. Der kan dog af andre årsager være en fordel med ventilering enten naturligt med åbning af luger eller mekanisk ventilation med indblæsning af frisk luft.

I forbindelse med indsats til en potentiel brand i et BESS-anlæg vil ikke-antændte brændbare gasser kunne medføre en eksplosion i det rum, hvor selve BESS-anlægget er placeret eller i tilstødende rum.

Ud fra en konkret vurdering kan der være behov for ventilering af tilstødende rum inden indsættelse af røgdykkere med det formål at ændre gaskoncentration i forhold til antændelsesgrænser.²²

Luftkvaliteten i og ved det lukkede rum bør løbende overvåges under indsats, da der pga. 'thermal runaway' i batteriet må forventes en stadig og ny tilførsel af brændbare gasser:

- Funktionsdygtigt måleudstyr, som gasmåler eksplosimeter mv., bør anvendes med forbehold. Det kan være installerede eller håndholdte målere – bør aflæses på afstand!
- Det bør være afklaret, hvad man ønsker at måle for og hvorfor inden måling! Det kan evt. koordineres med en tekniker, batteriproducent eller anden ressourceperson.
- Måling bør foretages kontinuerligt ift. om ventilering virker efter hensigten ved at mindst én brandmand bærer en (pålidelig) måler. Ved alarm fra måler evakueres alle øjeblikkeligt.

Behovet for at have en sikkerhedsmand kan være afhængig af flere forhold, herunder:

- Besværlig eller lang adgang til rummet eller ved flere indsatte røgdykkerhold
- Nedstyrtningsfare eller andre særlige risici i rummet
- Manglende mulighed for at røgdykkerholdet selv kan redde sig ud ved uheld
- Risiko for forværring af risici, ændringer i afgangning eller svigtende ventilation

Sikkerhedsmandens opgaver kan omfatte:

- Holde konstant opsyn med mandskab, der udfører arbejde inde i det lukkede rum. Vigtigt at sikkerhedsmanden ikke selv entrerer det lukkede rum
- Standse arbejdet og kalde alle ud af det lukkede rum ved mistanke om, at arbejdet ikke kan udføres sikkerheds- og sundhedsmæssigt fuldt forsvarligt, f.eks. ved udvikling af branden
- Opretholde en effektiv kommunikationsvej fra den tekniske ledelse til røgdykkerholdet. Hvis kommunikationen ikke virker, evakueres mandskab fra det lukkede rum
- Opsyn med om andet arbejde i området startes op, der evt. kan bevirke ændringer i luftsammensætning i det lukkede rum eller gnister

Bilag 5: Brug af værnemidler

I perioder af indsatsen udledes større mængder af skadelige gasser end ved en brand i et tilsvarende oplag uden batterier. Men indsatsen i et BESS-anlæg kan ofte - som udgangspunkt - betragtes som en brandslukningsindsats i forbindelse med valg af personlige værnemidler.

Særligt efter endt indsats kan det dog være hensigtsmæssigt at se på procedurer relateret til kemiindsatser, da røgdykkere, der har foretaget slukningsarbejde eller været indsat i et miljø uden visuelt sigte, formentlig har været eksponeret for høje koncentrationer af gasser og potentielt ætsende og sundhedsskadeligt slukningsvand.

Som udgangspunkt opholder røgdykkerne sig ikke i lukkede rum, hvorfor der må forventes en vis naturlig ventilation af gasser og røg. Hvor meget mandskabet har været udsat for sundhedsskadelige stoffer, vil dog være en konkret vurdering, som foretages af den tekniske ledelse evt. sammen med sundhedsberedskabet.

Til grund for vurderingen kan medtages mængde af brandrøg, gasser, mulighed for ventilation, samt hvorvidt røgdykkerne skal arbejde i tilstødende rum eller der er gennemgang i forbindelse med fremføring af materiel. Man bør tage højde for, hvorvidt der er behov for at anvende udstyr og værktøj, som er ATEX-godkendt.

Anvendelse af PPE

De opgaver, som skal løses i fareområdet ved en brand, er ikke at sammenligne med definitionen 'direkte kontakt' i CBRNE-forståelsen. Derfor kan indsatsen formentlig håndteres med normal indsatsmundering og anlæggelse af fuld åndedrætsbeskyttelse i form af en fuldt dækkende og tør indsatsdragt samt luftforsynet åndedrætsværn.

I det fri vil indsatstiden være sammenlignelig med en 'normal' indsats - dog med den forudsætning, at der anvendes fuld indsatsmundering, herunder fuld åndedrætsværn, og at ophold i røgfanen eller afgang fra batteriet så vidt muligt minimeres.

Røgdykkernes ophold i brandrøg eller afgang fra batterierne bør være så kort som muligt. Dette gælder også ved ophold i tilstødende rum til batterirum, hvor der ikke er ventilation.

Våd indsatsmundering bør skiftes inden en ny røgdykkertur. I forbindelse med indsats i eksempelvis en lagerhal, hvor BESS-anlægget er placeret langt væk fra indgange, vil der typisk være en lang indtrængningsvej, som der tages højde for. For den enkelte røgdykker bør indsatstiden være maksimalt en time. Herefter bør der være afvaskning og udskiftning af al indsatsmundering.

Afgasning fra batteriet kan ske uden at der sker en antændelse. Denne risiko håndteres samtidig med risici fra selve brandrøgen. Her kan der eventuelt opnås et bedre arbejdsmiljø ved hjælp af naturlig eller mekanisk ventilering, eksempelvis ved hjælp af en overtryksventilator, samt beskyttelse af mandskabet med vandtåge, som sikrer en yderligere beskyttelse mod eksponering af brandrøg og slukningsvand.

Indsat mandskab, som har været i kontakt med afgang fra litiumionbatterier eller brandrøg, bør have øget opmærksomhed på aflæggelse af mundering, rensning mv. samt opmærksomhed på eventuelle symptomer. Det anbefales at følge svenske MSB's anvisninger for korrekt mundering og afrensning efter indsættelse til brand i batterier.²³

Arbejde med elektriske komponenter

Ved brande i batterier vil der, uagtet om der er tale om BESS-anlæg eller oplag af batterier være risiko for elektriske stød ud over de risici, som normalt forbindes med en brand. Antagelsen om, at der kan være spænding betyder, at der ifølge standarden bør benyttes egnede og tilstrækkelige personlige værnemidler (PPE) til arbejde under spænding.

Batterierne bør principielt ikke berøres uden korrekt PPE, herunder sikkerhedshandsker, som er godkendt til 1000 V. Der bør tages hensyn til det forhold, at vand - i form af regn, sne og slukningsvand - øger ledeevnen betydeligt. Risikoen for lysbuer bør tages i betragtning ved valg af PPE og korrekt værktøj og udstyr.

Elektriske komponenter dækker i tilfælde af en indsats både over de åbenlyse elektriske komponenter som solceller ved sollys/anden lyskilde, kabler, ledninger og selve batteripakken, til komponenter som vurderes at kunne være spændingsledende – særlige metaldele, kabinetter, moduler mv.

Personlige værnemidler er sammen med elektrisk isolerende afdækning og isoleret værktøj væsentlige tiltag til at imødegå risici ved arbejde med batterier under spænding.

Standarden angiver, at der ved arbejde nær spændingsførende dele med fordel kan benyttes skærme, barrierer, kapslinger eller isolerende afdækning af elektriske dele. De kan bidrage til at minimere muligheden for kontakt til de områder af objektet, hvor der kan være risiko for berøring under arbejdet. Der kan anvendes personlige værnemidler, som beskyttelsesbriller og gummihandsker ved direkte eller risiko for kontakt med de elektriske og spændingsledende komponenter i batterierne.

I forhold til brug af udstyr og værnemidler er det vigtigt, at mandskabet er instrueret og trænet i at bruge dette, og at de har kendskab til de specielle risici, inden de indsættes.

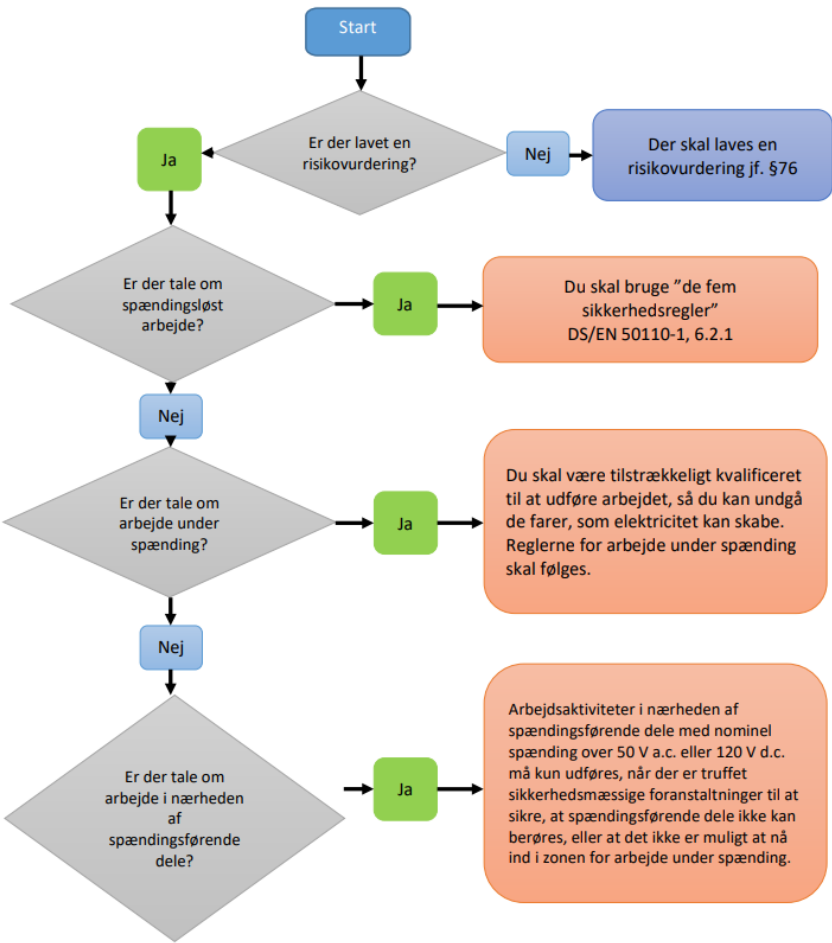
Figur 18. Illustration fra Sikkerhedsstyrelsens "Krav til en risikovurdering for arbejde på eller nær ved en idriftsat installation."²⁴

Find evt. mere information på Sikkerhedsstyrelsens hjemmeside.

Følgende liste angiver europæiske standarder for forskellige typer personlige værnemidler (PPE), hvor nyeste udgaver bør anvendes:

Emne	Værnemiddel (PPE)
Hoved og øjne	Egnet hjem (Elektrisk isolerende sikkerhedshjelme) - EN 50365:2003 Visir til hjelme - EN 14458:2018 Egnet beskyttelsesbriller/øjenværn - EN 166:2002
Krop	Indsatsdragt (beskyttelse mod lysbuer) - EN 61482-1 og 2
Fødder/ Krop	ESD-godkendt fodtøj - EN 15090:2012, type F2A
Hænder	Egnede handsker EN 60903:2004
Øvrig afdækning	'Gummimåtter' DIN VDE 0680/1 , EN 61111 , EN 61112

Figur 17. Værnemidler godkendt til elektrisk arbejde.



Rengøring af materiel og personel

Det må som udgangspunkt antages, at røgdykkerne har været udsat for brandrøg, farlige stoffer, eventuelt ætsende og sundhedsskadeligt slukningsvand og forskellige stoffer (fluorforbindelser) på overflader i rummet. Mundering betragtes som kontamineret, særligt ved indsættelse i miljø med dårligt visuelt sigte pga. afgangning fra batteri eller brandrøg.

Al indsatsmundering, inklusiv undermundering, bør efter endt indsats aftages med minimal kontakt til huden, f.eks. ved at anvende engangshandsker og passende åndedrætsværn. Mundering håndteres som forurenet, hvilket betyder, at man ikke kan foretage sig andre handlinger, før munderingen er aflagt. Ud over selve røgdykningen bør der være fokus på personlig hygiejne, idet HF-gas og flussyre kan optages igennem huden. Derfor bør der gennemføres en grundig afvaskning hurtigst muligt efter indsats.

Der bør ligeledes udarbejdes en procedure for rengøring af materiellet, da det kan være kontamineret. Normal god praksis for håndtering af forurenet (kontamineret) materiel og 'Ren Brandmand' følges efter egen operative procedure. Der kan med fordel udarbejdes en SOP (Standard Operation Procedure) for røgdykning i miljø med brandrøg og afgangning fra litiumionbatterier.

Ved eksponering af brandrøg

I praksis vil valide målinger af tilstedeværelse eller forekomst af farlige stoffer være vanskelig. Der er p.t. ikke eksakt viden om de reelle koncentrationer ved en indsats. Der arbejdes derfor ud fra et forsigtighedsprincip med mindst mulig eksponering af mandskabet. Symptomer på forgiftning med eksempelvis HF-gas eller flussyre kan ved indånding være hoste, åndedrætsbesvær og smerte i luftveje, hvor kontakt med huden beskrives som brændende smerte og ætsningssår. Smerter kan være forsinkede op til 24 timer.

Ved tegn på eller mistanke om forgiftning bør hurtig personrensning påbegyndes. Der kan søges viden i Beredskabsstyrelsens 'Farlige stoffer'-app. Sundhedsberedskabet bør kontaktes for vejledning og eventuelt behov for indlæggelse til observation. Dette gælder også for eventuelt tilskadekomne og andre aktører på indsatsen, der har været eksponeret for brandrøg mv.

Tilstedeværelsen og koncentration af de forskellige farlige stoffer vil afhænge af typen af batteri (bl.a. type af elektrolyt), og vil variere fra anlæg til anlæg. Men de giftige gasser kan være svære at detektere – både tilstedeværelse og koncentration. Det vurderes dog ikke, at der samlet set vil være udledning af gasser eller farlige stoffer, som mandskabet ikke er trænet i at håndtere. Men det er vigtigt, at fuldt åndedrætsværn og minimum den normale indsatsmundering til brand anvendes under hele indsatsen, og at personer uden disse overholder de fastsatte sikkerhedsafstande.

Eksempelvis vil nogle af de brandfarlige gasser være svære at observere i forhold til lugt og farve, og de vil have forskellige grader af flygtighed. Behov for en kemikalieindsatsdragt er en konkret vurdering afhængig af den opgave, som skal løses. Her kan der med fordel søges rådgivning ved Kemisk Beredskab samt producentens sikkerhedsprocedure, hvis den kan tilgås.

Værktøjer og afmærkning

Under indsatsen bør alle aktører på indsatsen være opmærksomme på faren for elektriske stød. Arbejdsområdet bør afspærres og skiltes mod fare for høj spænding. Som en hovedregel vil det svare til en afspærring af et fareområde med en min. afstand på 10 m til de berørte BESS-anlæg eller oplag af batterier.

Afspærring kan ske fysisk med f.eks. sort/gul minestrimmel eller en mere praktisk afspærring i form af brandslanger og en italesættelse af fareområdet i den indledende fase. Afspærringen er også vigtig i indsatsens afsluttende fase, da der i forbindelse med førsteindsatsen og den akutte fase formentlig vil være en større sikkerhedsafstand pga. afgangning af brændbare gasser fra batteriet. Afmærkninger med minestrimmel og fareskilte opretholdes ved afslutning af indsatsen, når mandskabet frigives fra skadestedet og overleverer området til andre aktører som politi og skadesservice.

Ved overlevering bør oplysninger om standen af BESS-anlæg eller batterierne, anslået SoC, tilbageværende kapacitet/energi i batterierne, status for koblingsudstyr, herunder tilslutningskabler, frakobling af hovedafbryder, tilslutning til el-nettet og eventuelle aktiverede sikkerhedsanordninger og slukningssystemer, formidles tydeligt til den nye ansvarlige svarende til de anvisninger, som findes for kommunikation ved arbejde på elektriske installationer.

Bilag 6: Slukningsanlæg og –udstyr

Følgende indeholder en oversigt over slukningsanlæg, som kan være installeret for at hindre en brandspredning.

Vand

Vand til slukning af brande er velkendt og effektivt, hvilket også gør sig gældende ved brande i BESS-anlæg. Vandet kan tilføres enten ved sprinkleranlæg installeret i anlægget, eller som led i mandskabets slukningsindsats. Eftersom ‘thermal runaway’ vil fortsætte med at tilføre ilt vil det være vandets kølende egenskaber, som kan påvirke branden.

Der er dog en række udfordringer ved brug af vand til brandslukning i BESS-anlæg. Dels betyder brugen af vand højst sandsynligt en totalskade af hele BESS-anlægget og ikke kun de berørte dele, og dels medfører brugen af vand en fare for elektrisk stød, evt. elektrolyse, som det er vigtigt at være opmærksom på i forhold til sikkerhedsafstand og værnemidler. Slukningsvandet vil desuden skulle håndteres forsvarligt under og efter indsatsen.

Gas- og inert anlæg

Slukningsanlægget vil typisk bestå af flere gasbeholdere indeholdende en brandhæmmende gasform (kølende eller kvælende), som er installeret i BESS-anlægget. I tilfælde af brand aktiveres anlægget manuelt eller automatisk, således at gasen tømmes ud i det brændende rum for at kvæle flammerne eller at fjerne varmen fra branden. ‘Thermal runaway’ vil fortsætte med at tilføre ilt, og effekten være gassens evne til at minimere risikoen for en eksplosiv atmosfære samt hindre spredning af flammer til andet materiale.

Aerosole anlæg

Anlægstypen anvender ikke vand, men er partikelbaseret og installeres derfor ofte i tekniske anlæg. Aktivering sker ved en stigning i temperatur. Ved aktivering tilføres indholdet til rummet for at kvæle branden.

Pulver

Pulver fungerer ved at dække det brændende materiale med en fin pulversubstans, som derefter kan standse spredning af branden. Pulveret har ingen kølende effekt, og må forventes at have en begrænset virkning på en brand i et BESS-anlæg.

Skum

Skum kan være et effektivt værktøj til at standse spredning af brand fra et BESS-anlæg til andre brændbare materialer i fareområdet, men grundet en mangel på kølene effekt vil skumslukning ikke kunne slukke en brand i selve BESS-anlægget.

Brandtæppe

Erfaringer med brug af brandtæppe er ikke entydig, da det på den ene side vil kunne bidrage til at begrænse udbredelse af flammer og røg, men på den anden side også vil kunne bidrage til ophobning af gasser – og derved en eksplosiv atmosfære under brandtæppet. Nedenstående er opmærksomhedspunkter, såfremt der anvendes brandtæppe.²⁶

- Batteribrande kræver brandtæpper af en god kvalitet, således at en kraftig brand ikke brænder igennem
- Et brandtæppe kan reducere den tilgængelige mængde af oxygen under tæppet
- Mængden af røg kan reduceres med korrekt an-

Fastinstallation til slukning	Køling af batteri, moduler mv.	Undgå/forsinke brandspredning	Minimere risiko for eksplosivt miljø
Gas- og inert anlæg		✓	✓
Aerosol anlæg		✓	
Vand (system)	✓	✓	
Skum		✓	
Pulver	Begrænset virkning, da pulver som udgangspunkt ikke har en tilstrækkelig kølende effekt, og formentlig ikke vil have effekt på en voldsom varme-/flammeudvikling.		

Figur 19. Effekt af forskellige fastinstallerede slukningssystemer.²⁵ Det mest relevante at vide er, om der er overrilling (sprinkling) som beredskabet kan bruge samt at eventuelt installerede slukningsanlæg ofte ikke fungerer særlig godt for BESS-anlæg pga. den særlige udfordring med ‘thermal runaway’. Iht. brandtekniske installationer er det mest væsentlige, om der er automatisk ventilering, samt om denne er aktiveret og i drift.

vendelse af et brandtæppe. For at undgå røgskader bør tæppet forblive på, indtil branden er håndteret

- Der kan arbejdes med en ventilering undervejs
- Der bør tages hensyn til en mulig genopblussen af branden, når brandtæppet fjernes

Slukningsudstyr på køretøjet

I det følgende gennemgås nogle af de slukningsværktøjer og udstyr, som kan være til rådighed på indsatsen.

Tågesøm/Tågespyd: Dette udstyr består af en spids hammer, der kan slå hul i f.eks. døre, mure og containere. Gennem det hul kan tågesømmet indsættes, hvorigennem der sprøjtes vandtåge ind i et lukket lokale eller hulrum, som ellers er svært at komme til. Vandtågen trækker energien ud af branden, hvorved den slukkes – og det sker uden, at brandfolkene behøver at bane sig vej i et rum, hvor der kan være fare for eksplosion, så snart en åbnet dør tilfører ilt til branden.

Dette øger sikkerheden betydeligt, da brandfolk kan stå udenfor og slukke, indtil det er mere sikkert at gå ind. Tågespyddet kan være anvendeligt i forbindelse med indsats ved BESS-anlæg og batteri. Der bør dog være opmærksomhed på, at mandskabet, som anvender tågespyddet, anvender værnemidler, som kan beskytte mod kortslutning og lysbuer.

Ultra High Pressure Systems (UHPS): Vand forstøves ved et tryk på 100 bar. Dette udvider dækningsfladearealet for en bedre slukningseffekt.

Når vanddråberne fordamper, fjerner de energi fra branden. Derudover fortrænger vanddampen den ilt, som ilden har brug for til at fortsætte med at brænde.

Det er vigtigt, at vanddråberne har den rette størrelse. Hvis dråberne er for små, vil de være ineffektive, fordi de ikke kan trænge ind til ildens kilde. Hvis de er for store, kompromitteres slukningseffekten, fordi dråberne ikke kan fordampe fuldstændigt. Anvendelsen af dette udstyr kan have effekt på BESS-anlæg.

Skæreslukker: En skæreslukker er et brandslukningsværktøj, som kombinerer brandmandens sikkerhed og effektivitet med minimal miljøpåvirkning. Systemet anvender et vandtryk på 300 bar, og når der tilføres abrasiv, kan det skære sig igennem både træ, metal, lamineret glas, tagplader og beton.

Det høje tryk giver en meget lille dråbestørrelse, som øger nedkølings- og slukningseffekten. Med en skæreslukker er det muligt at begrænse en brand udefra uden fysisk at skulle ind i det brændende rum. Dette kan sikre en hurtigere slukning af branden og medvirker samtidig til et bedre og mere sikkert arbejdsmiljø. I forbindelse med indsats i BESS-anlæg kan det med fordel anvendes som et taktisk tiltag.

CAFS: Der er to forskellige typer CAFS, hvor den primære forskel mellem de to typer CAFS-skum er anvendelsesområderne.

Våd-CAFS anvendes almindeligvis til knockdown og til slukning af væskebrande (petroleum/ikke-vandopløselige produkter). Fordelen ved våd-CAFS er, at der kan opnås en kastelængde, som er større end ved tør-CAFS. Forventet kastelængde er op til 3.-4. sals højde.

Tør-CAFS bliver primært brugt til konstruktionsbrande i f.eks. etageadskillelser, facadebrande, skunkrum eller spidslofter. Derudover bruges tør-CAFS også til begrænsning af brand ved beskyttelse af konstruktioner og bygninger.

Ved anvendelse af begge typer af CAFS i forbindelse med slukning af brand i BESS-anlæg skal der foretages en vurdering af, hvor og hvordan det kan anvendes.

Overtryksventilator: Overtryksventilation anvendes i slukningsarbejdet til en planlagt og systematisk fjernelse af varm luft, røggasser og andre forurenende luftformige stoffer, som erstattes med frisk luft. I forbindelse med en indsats, hvor BESS-anlæg er varmepåvirket, kan overtryksventilation være med til at reducere og hindre antændelser i området ved at fjerne den eksplosive atmosfære.

Alt afhængigt af, hvor man er i brandforløbet, bør risikovurderingen afspejle fordele og ulemper ved ventilation. Øget sigtbarhed skaber bedre muligheder for at lokalisere branden. Hvis der er personer i området, som skal evakueres, kan overtryksventilation øge sigtbarhed i flugtvejene.

Ved BESS-anlæg i bygninger til 'egen' forsyning, som privatbeboelse, industri, kontor mv. vil tilslutning af BESS-anlægget til el-nettet typisk være på 120 V til 480 V.

Ved større BESS-anlæg, som er tilsluttet el-nettet med henblik på fælles forsyning, vil tilslutningen kunne være på 400 V eller 10 kV niveau.

Bilag 7: Tilgængelig basisinformation

Følgende oplysninger om forebyggende tiltag kan være nyttige for den tekniske ledelse og bør være tilgængelige i forbindelse med en indsats i BESS-anlæg og oplag af litiumionbatterier:

- Placering af BESS-anlæg eller oplag samt krav til afstande
- Ordensregler ved anlægget, herunder en DKV-plan (Drift, Kontrol og Vedligeholdelse)
- Afhjælpende tiltag (brandmæssige adskillelser, flugtvejsforhold og konstruktive forhold)
- Placering af brandslukningsmateriel, brandtekniske installationer, kontrol- og overvågningspaneler
- Tilgængelige oplysninger om indsatsplan, resourceperson, evakueringspladser mv. samt skiltning, adgangs- og brandveje, som kan bidrage til forsvarlige rednings- og slukningsmuligheder

Oplysningerne bør placeres tilgængeligt for den tekniske ledelse og bør så vidt muligt kunne tilgås på afstand. Information om de forebyggende tiltag kan med fordel suppleres med oplysninger af mere teknisk karakter:

- Oplagets/enhedens kapacitet, dvs. kW, kWh (OBS ved batterioplag skelnes der mellem kWh for output og kWh for storage)
- Oplagets/enhedens SoC (State Of Charge), hvis dette er muligt
- Anslået volumen for anvendelse af Tekniske Forskrifter (faste stoffer, brandfarlige og brændbare væsker, gasser)
- Særlige kemiske forhold, herunder karakteristika for batteriets forventede reaktion ved brand, afgivelse af dampe, lyde, gnister mv. Det kan indikere, at en varmepåvirkning i højvoltsbatteriet er under udvikling
- Krav til placering af oplag/enhed og sikkerhedsafstande til andre enheder – både forebyggende krav jf. § 34, stk. 2 og de forventede ift. risiko for eksplosion
- Brandforebyggende foranstaltninger, sikkerhedsventiler mv.
- Komponenter med spænding, hovedafbryder og mulighed for at gøre komponenter spændingsløse
- Komponenter og hvordan de agerer under brand – fabriksnye, ikke-udtjente eller udtjente batterier?

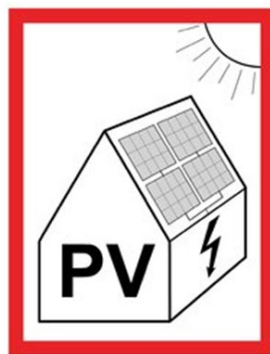
DS/EN 60364 serien - kapitel 712.514.101

For personsikkerhed gives der en advarsel, som angiver tilstedeværelsen af en solcelleinstallation, f.eks. til vedligeholdelsespersonale, inspektører, forsyningselskaber og nødhjælpstjenester.

Et skilt som vist i figur 20 fastgøres:

- Ved den elektriske installations forsyningspunkt
- Ved forbrugsmålingspunktet, hvis dette ligger væk fra forsyningspunktet
- Hos forbrugsenheden eller ved den forsyningsstavle, hvor forsyningen fra inverteren er tilsluttet.

Note: Elsikkerhedslovens § 3 samt Kapitel 3 omhandler sikkerhedskrav mv., hvor "Elektriske anlæg og elektriske installationer skal være udført og drives på en sådan måde, at de ikke frembyder fare for personer, husdyr eller ejendom".²⁷



Figur 20. Symbol der viser, at der er en solcelleinstallation på en bygning. Symbol: Dansk Standard

Det bemærkes, at DS/EN 60364 serien bl.a. beskriver beskyttelse mod brand forårsaget af elektrisk materiel, identifikation mv.

Bilag 8: Skadestedets opbygning

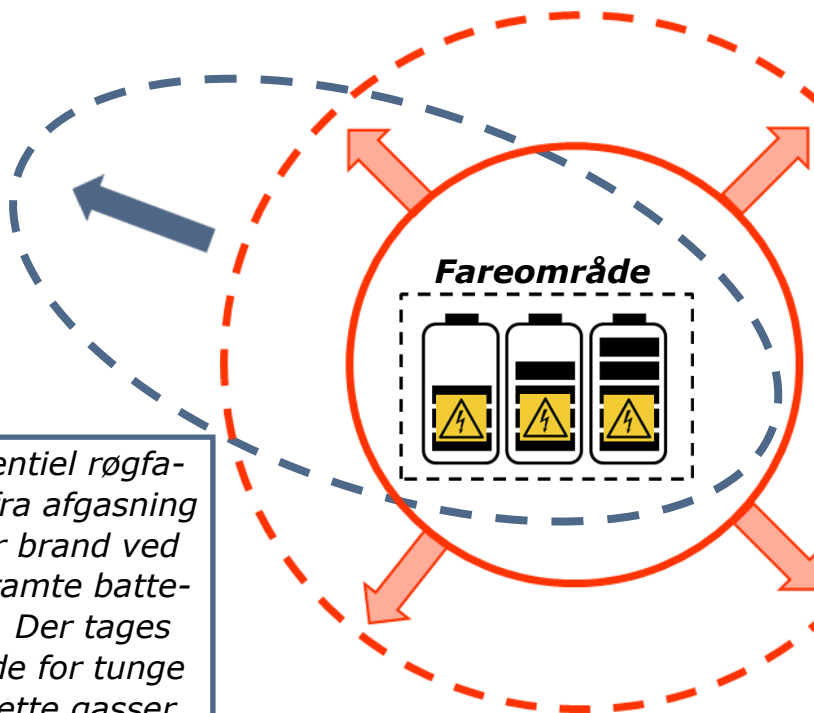
Ydre afspærring

Sikkerhedsafstande ved køling og slukning:

Elektrisk spænding, afgangning fra batteri, eksplosion og røg ved brand.

Et indendørs fareområde (container, batterirum og lign.) undgås før forsvarlig ventilering er foretaget!

Indre afspærring



Potentiel røgfa-
ne fra afgangning
eller brand ved
fejllamte batte-
rier. Der tages
højde for tunge
og lette gasser.

Afgangning og
eksplosion

Skadested

Mandskab

ISL Brand

ISL Politi

Indsatsområde

Ambulance

ISL Sund

Overdragelse af skadested med BESS-anlæg

Efter redningsberedskabets afsluttende indsats er det vigtigt, at der gives en relevant instruktion til det personale, som skal overtage hele eller dele af skadestedet og som potentielt kommer i nærheden af det skadede BESS-anlæg.



Afvikling af skadestedet	
Afvikle skadestedet	1. Afmærkning af fareområde med skiltning mod høj spænding – dette opretholdes ved frigivelse af skadestedet 2. Den tekniske ledelse vurderer, at der ikke længere er en akut risiko for en genopblussen af brand, herunder vurdering af udvikling af 'thermal runaway', som kræver redningsberedskabets tilstedeværelse 3. Skadestedet/BESS-anlægget overdrages til andre aktører; politi, skadeservice eller evt. ejer, hvis denne er på stedet. Handleanvisninger ved genopblussen af brand i batterierne gives til øvrige aktører 4. Hvis der er foretaget arbejdsjording, frakobling af BESS-anlægget til el-nettet, eller anden sikring af skadestedet i form af ændringer af elektriske installationer, bør det sikres, at elinstallatør eller tilsvarende kompetent ekspert, kan demontere jording, genindkoble forsyninger eller på anden måde sikre, at skadestedets tekniske installationer overdrages forsvarligt
Instruktion til modtager af skadestedet/ BESS-anlæg	Modtageren af skadestedet (dele af BESS-anlægget som har være involveret af indsatsen) kan enten mundtligt eller skriftligt modtage følgende oplysninger, hvis det er muligt: Type af BESS-anlæg, kapacitet og spænding (Watt timer [Wh] og Volt [V]) Placering på skadestedet, omfang af brand samt synlige skader Grad af udbrændthed og tilstand af batteriet, evt. hvordan slukningsvand kan have påvirket batterierne. Hvilke batterier er udbrændte og hvilke batterier kan være påvirkede af enten branden eller slukningsvand? Anlæggets tilstand og evt. kendte risici, herunder mulighed for at fortsætte monitoring af varmeudvikling i batterierne Restriktioner og handling ved f.eks. øget varmeudvikling eller genopblusning af brand

Bilag 9: Andre batterityper til energilagring

Flowbatterier

Den energimæssige ulempe ved flowbatteriet er, at batteriet har en lav energitæthed i forhold til litiumionbatterier, hvilket også gør batteriet meget pladskrævende. Denne type batterier anvendes dog i nogle typer BESS-anlæg.

Flowbatteriet består af to beholdere, som hver især indeholder en flydende elektrolyt med hver sin elektriske ladning. Typisk anvendes metallet vanadium opløst i svovlsyre som elektrolyt. De to beholdere er forbundet til en elektrokemisk celle (også kaldet stak).

Ved at lede de to elektrolytter gennem stakken sker der en udveksling af elektroner, hvorved der sker afladning eller opladning. Batteriets effekt er bestemt af stakkens størrelse, og kapaciteten bestemmes af beholdernes volumen og dermed mængden af elektrolyt.

Tidlig kontakt til producenten kan være med til at afdække, om der er tale om en anden batteritype til energilagring end litiumionbatterier.

Det vil samtidig kunne bidrage med konkrete oplysninger om systemets sammensætning, eksplosionsfare, farlige stoffer mv., hvilket kan påvirke risikovurderingen, da den kemiske sammensætning kan være væsentlig anderledes end i et BESS-anlæg baseret på litiumionbatterier.

'Solid-state' batterier

Disse batterier kan ses som en videreudvikling af litiumionbatterier og har nogenlunde samme kemiske indhold.

Det særlige ved solid-state-batterierne er dog, at elektrolytten ikke er flydende, men i en fast form bestående af et glasmateriale.

Den faste elektrolyt betyder, at batteriet er mere stabilt i forhold til påvirkninger, og de brandmæssige risici vurderes derfor at være mindre. Desuden har batteriet en kortere ladetid og en forøget rækkevidde mellem opladningerne.

Denne teknologi er stadigvæk under udvikling, men forventes at få en fremtid eksempelvis i elbiler.

Aluminium-svovlbatterier

Aluminium-svovlbatteriet anvender et af de mest almindelige metaller (aluminium) samt et restprodukt fra petrokemisk raffinering (svovl) som elektroder. Som elektrolyt anvendes en opløsning med smeltet salt, og der indgår således færre brandfarlige komponenter i batteriet.

Denne teknologi er fortsat under udvikling, men forventes særligt at få anvendelse i mindre enheder til lagring af strøm fra sol- og vindenergi (f.eks. til husholdningsenheder).

Bilag 10: Begreber og definitioner

Anode: Den negative elektrode på batteriet.

Batteri: En eller flere battericeller, der er koblet sammen, og som kan indeholde en BMS. Der er tale om litiumionbatterier, medmindre andet er nævnt.

Battericelle: Den mindste enhed i et batteri som består af en anode, en katode, elektrolyt og membraner til adskillelse. Cellen kan være udstyret med forskellige sikkerhedsanordninger som Positive Temperature Coefficient (PTC) eller Current Interrupt Device (CID).

BESS: 'Battery Energy Storage System' dækker over et energilagringssystem, der er baseret på batterier. Et BESS-anlæg kan også dække over UPS-systemer, dvs. Uninterruptible Power Supply-systemer. Betegnelsen 'BESS-anlæg' anvendes for at give en bredere forståelse for, at indsatsen tager højde for den komplekse situation og bygningsmæssige kontekst og ikke kun selve batteripakken, herunder ekstern tilslutning til el-net mv.

BMS: 'Battery Management System'. Styresystem for batteriet, der bl.a. sikrer op- og afladninger, og er en vigtig del af at beskytte batteriet mod fejl.

Elektrolyt: Et opløsningsmiddel, der sikrer, at ionerne kan flyde frit mellem anode og katode.

Energitæthed: Den mængde energi, som batteriet kan indeholde i forhold til batteriets vægt eller volumen.

Fabriksnye litiumionbatterier: Batterier som endnu ikke er taget i anvendelse og som op-lagres i original emballage. Batterierne er ikke koblet til en lader, et anlæg eller system.

Højspænding: Batteripakkerne kan variere i størrelse, spænding og kapacitet, men ligger typisk med en batterispænding mellem 300 og 600 V. – under lavspændingsgrænsen på 1000 V AC og 1500 V DC. Ifølge IEC 61140:2016 (International Electrotechnical Commission) ligger niveauet for højspænding over 1000 V AC (vekselstrøm) og 1500 V DC (jævnspænding). Ved et spændingsniveau mindre end eller lig med hhv. 1000 V AC og 1500 V DC, er der ifølge IEC ikke tale om højspænding, men lavspænding.

Ikke-udtjente litiumionbatterier: Batterier som ikke er fabriksnye og som ikke aktuelt er koblet til et anlæg eller system. Litiumionbatterier kan være af forskellig art, størrelse og på forskellige stadier i batteriets levetid.

Katode (herunder også katodematerialer): Den positive elektrode på batteriet. Materialet, som kato-

den opbygges af, benyttes ofte til at betegne den specifikke type litiumionbatteri. Eksempler på typer af litiumionbatterier er LFP (lithium-jernfosfat), LNO (lithium-nikkeloxid), LMO (lithium-nikkel-manganoxid) og NMC (lithium-nikkel-mangan-kobaltoxid).

kW: Kilowatt. Enhed til angivelse af mængde energi pr. sekund, som batteriet eller et BESS-anlæg kan levere eller optage. For større BESS-anlæg benyttes MW, som er det samme som 1.000 kW.

kWh: Kilowatttimer. Enhed til angivelse af energikapacitet (maksimalt energiindhold) i batterier eller BESS-anlæg. For angivelser i ampere timer (Ah) og spænding (V) kan kWh bestemmes som $kWh = V \times Ah / 1000$. For større BESS-anlæg benyttes MWh, som er det samme som 1.000 kWh.

Litiumionbatteri: Batteri baseret på litium ioner, der bevæger sig mellem anode og katode.

Lukket rum: Et helt eller delvist lukket rum eller miljø, som i udgangspunktet ikke er indrettet til personophold og er med få indgange.

Membran: En adskillelse, som sikrer, at anode og katode ikke kan få kontakt til hinanden og derved kortslutte battericellen.

SoC: 'State of Charge', dvs. batteriets opladningsgrad, som måles i procent. Forskning har fokus på, hvorvidt selve branden har mere potentiale og bliver kraftigere ved et højt SoC.

PtX-anlæg: Power-to-X betyder at omdanne elektricitet (power) til noget andet (x). Elektriciteten kan f.eks. via elektrolyse omdannes til brint, der anvendes direkte eller raffineres til brændstoffer mv.

'Stranded energy': Den energi, der fortsat er til stede i et batteri, efter batteriet har været involveret i en brand.

'Thermal runaway': Den tilstand, hvor temperaturen i et litiumionbatteri (på celleniveau) øges på en selvforstærkende og ukontrolleret måde hen mod, at batteriet genererer mere varme, end det kan afgive. 'Thermal runaway' er en kemisk kædereaktion.

Udtjente litiumionbatterier: Oplag af udtjente litiumionbatterier skal forstås som oplag af udtjente batterier, der ikke er koblet til et anlæg eller system. Begrebet omfatter også funktionsdygtige batterier, som er afleveret til bortskaffelse/genvinding. De kan være af forskellig art, størrelse og på forskellige tidspunkter i batteriets levetid.

Referencer og kilder

1. Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap DSB (november 2021). *Risikovurdering og håndtering av branner i Litium-ion batterier*. Lokaliseret d. 1. maj 2025 på: www.dsb.no
2. Beredskabsstyrelsen (maj 2023). *Vejledning om brandsikring af større oplag af litiumionbatterier samt BESS-anlæg*. Lokaliseret d. 1. maj 2025 på: www.brs.dk
3. Beredskabsstyrelsen (juli 2020). *Temahæfte om Teknisk ledelse*. Lokaliseret d. 1. maj 2025 på: www.brs.dk
4. Beredskabsstyrelsen (oktober 2023). *Retningslinjer for indsatsledelse*. Lokaliseret d. 1. maj 2025 på: www.brs.dk
5. Fire Safety Advice Centre (februar 2022). *Information about the Fire Triangle/Tetrahedron and Combustion*. Lokaliseret d. 1. maj 2025 på: www.firesafe.org.uk
6. Lund University (april 2015). *VBR022 Brandkemi - explosioner, Kurslitteratur brandkemi*. Lokaliseret d. 1. maj 2025 på: www.kurser.lth.se
7. Teknologisk Institut (december 2022). *Brand og sikkerhed vedrørende større litium batterioplag og BESS, Notat*.
8. Sikkerhedsstyrelsen (august 2019). *Arbejde på eller nær ved en idriftsat installation*. Lokaliseret d. 1. maj 2025 på: www.sik.dk
9. a-r-c. *Lukkede rum*. Lokaliseret d. 1. maj 2025 på: www.a-r-c.dk
10. RI.SE. *Battery Fire Safety*. Lokaliseret d. 1. maj 2025 på: www.ri.se
11. AISAB Ambulanssjukvården i Storstockholm AB (januar 2022). *Prehospital förmåga vid insatser med bränder i litiumjonbatterier*. Lokaliseret d. 1. maj 2025 på: www.youtube.com
12. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (februar 2021). *STUDIE Gasformig HF vid brand i trånga utrymmen – risker för hudupptag vid insatser*. Lokaliseret d. 1. maj 2025 på: www.rib.msb.se
13. NFPA (2016). *Battery Energy Storage Systems (BESS) Emergencies. Quick Reference Guide*. Lokaliseret d. 24. november 2023 på: www.nfpa.org
14. VDE Verlag (juli 2018). *Standard: DIN VDE 0132 VDE 0132:2018-07. Firefighting and technical assistance in or near electrical installations*. Lokaliseret d. 24. november 2023 på: www.vde-verlag.de
15. Utkiken.net (januar 2022). *Battery fires, knowledge for Fire Brigades*. Lokaliseret d. 1. maj 2025 på: www.youtube.com
16. Andrey W. Golubkov et al. (november 2013). *Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivin-type cathodes*. Lokaliseret d. 24. november 2023 på: www.researchgate.net
17. Kofi Owusu Ansah Amano et al. (maj 2023). *Composition and Explosibility of Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries Undergoing Thermal Runaway*. Lokaliseret d. 24. november 2023 på: www.researchgate.net
18. Teknologisk Institut (2023). *Videncenter for Batterier*. Lokaliseret d. 1. maj 2025 på: www.teknologisk.dk
19. Hewu Wang et al. (marts 2023). *Thermal Runaway Characteristics and Gas Composition Analysis of Lithium-Ion Batteries with Different LFP and NCM Cathode Materials under Inert Atmosphere*. Lokaliseret d. 24. november 2023 på: www.researchgate.net
20. Beredskabsstyrelsen (juli 2020). *Beredskabsstyrelsens CBRNE Beredskab*. Lokaliseret d. 1. maj 2025 på: www.brs.dk
21. Environmental Health & Safety (november 2023). *Confined Space Program*. Lokaliseret d. 1. maj 2025 på: www.ehs.washington.edu
22. a-r-c. *Lukkede rum*. Lokaliseret d. 1. maj 2025 på: www.a-r-c.dk
23. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (februar 2021). *STUDIE Gasformig HF vid brand i trånga utrymmen – risker för hudupptag vid insatser*. Lokaliseret d. 1. maj 2025 på: www.rib.msb.se
24. Sikkerhedsstyrelsen (august 2019). *Arbejde på eller nær ved en idriftsat installation*. Lokaliseret d. 1. maj 2025 på: www.sik.dk
25. FIA Guidance Document – Guidance on Li Ion Battery Fires
26. Utkiken.net (januar 2022). *Battery fires, knowledge for Fire Brigades*. Lokaliseret d. 1. maj 2025 på: www.youtube.com
27. Erhvervsministeriet (januar 2019). *Elsikkerhedsloven. LBK nr 26 af 10/01/2019*. Lokaliseret d. 1. maj 2025 på: www.retsinformation.dk

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

Love og regler

Retningslinjer og vejledninger

Læringsmaterialer

Udtalelser og domme

Historisk materiale



Beredskabsstyrelsen

Datavej 16

3460 Birkerød

Telefon: +45 72 85 20 00

E-mail: brs@brs.dk

www.brs.dk

EAN: 5798000201705

CVR: 52990319