



DIVISION SAFETY AND TRANSPORT FIRE SAFE TRANSPORT



Guidelines for the fire protection of battery energy storage systems

Oskar Grönlund, Maria Quant, Marcus Rasmussen,
Ola Willstrand, Jonna Hynynen

RISE Report 2023:117

Acknowledgement

Guidelines for the fire protection of battery energy storage systems

This project was coordinated by RISE Research Institutes of Sweden. We gratefully acknowledge FORMAS – a Swedish Research Council for Sustainable Development for funding through grant no. 2022-02015. We would also like to thank our project partners: Polarium Energy Solutions AB, Vattenfall AB and the reference group: Bengt Dahlgren, Brandskyddsforeningen, Brandsskyddslaget, Länsförsäkringar, Räddningstjänsten Luleå, Räddningstjänst Storgöteborg, Räddningstjänsten Syd, Storstockholms brandförsvär, Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund, Totalförsvarets forskningsinstitut FOI, Utkiken and Volvo Energy.

Key words: lithium-ion, battery, battery energy storage system, fire safety, explosion, guideline

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Report 2023:117

ISBN: 978-91-89896-04-8

2023

Content

Acknowledgement	2
Content	3
Summary	4
1 Introduction	5
1.1 Safety Aspects of Lithium-Ion Batteries.....	5
1.2 Battery Energy Storage Systems	7
1.3 Fire and Explosion Incidents.....	8
2 Standards and Regulations	9
2.1 Swedish Law and Regulations	9
2.2 Standards	13
2.3 Other Guidelines and Regulations in Sweden	14
3 Fire Safety of BESS	14
3.1 Risk Assessment	14
3.2 General Safety Requirements	15
3.3 Fire Detection and Fire Alarms	18
3.4 Fire Suppression Systems.....	19
3.5 Explosion Control	21
3.6 Safety Signs.....	23
3.7 Emergency Response Plan and Card	24
4 Application Categories for BESS	26
5 Workshops	27
5.1 Workshop 1, Borås 14th of September 2023	27
5.2 Workshop 2, Online 26th of September 2023.....	29
6 Guidelines	31
6.1 Application Categories (AK)	31
6.2 General Guidelines	32
6.3 BESS for Single-Family Homes, Private Customers (AK1)	33
6.4 BESS in Multi-Dwelling Blocks or Businesses (AK2).....	33
6.5 BESS for Large-Scale Commercial Applications and Mobile BESS (AK3).....	35
7 Conclusions and Future Work	37
References	38
APPENDIX A – Safety Standards for Lithium-Ion Batteries	42
APPENDIX B – Summary of Workshops	
APPENDIX C – Brandteknisk Vägledning för Batterienergilagrar med Litiumjonbatterier	

Summary

Energy storage is essential for enhancing the stability, efficiency and sustainability of the modern energy supply chain. It can help reduce the dependency on fossil fuels and increase the use and market penetration of renewable energy sources such as wind and solar power, which are intermittent and variable. The most common technology for short storage times (minutes to days) is electrochemical energy storage, and more specifically lithium-ion battery energy storage systems (BESS). In line with the EU ambition for more sustainable electric vehicle batteries, it is likely that second life applications and repurposing of electric vehicle batteries will increase.

One of the main challenges for the deployment of BESS is the fire safety of lithium-ion batteries.

Today, there is a lack of national guidelines in Sweden for how to design a BESS in terms of fire safety, which causes uncertainty. Without national guidelines, each municipality and local fire and rescue service must develop their own advice, which may result in inconsistent and costly solutions with a varying degree of fire protection. The aim of this study was to produce national guidelines for the fire protection of BESS.

The guidelines were produced by literature searches, review of relevant laws, regulations and standards, review of international guidelines, workshops, information retrieval from project partners and through studying lessons learnt from previous incidents. The produced guidelines (found in Appendix C, in Swedish) are formed around three application categories, based on the type of application and user, which reflect the size of the BESS.

For the first category, BESS for single-family home use, guidance is given for separated placement of BESS, remote fire alarm, and separated ventilation.

For the second category, BESS for multi-dwelling blocks or businesses, recommendations regarding placement, detection and ventilation are increased. It is also advised to have an installation that allows the fire and rescue services to ventilate fire gases without opening doors and that emergency response plans are produced.

For the third category, BESS for large-scale commercial applications and mobile BESS, some further requirements are introduced. They include risk analysis, separate building and fire cell demands, as well as recommendations for CCTV and gas monitoring as well as fire hose connection.

The guidelines assume that current national laws and building regulations are complied with. Additionally, insurance companies may have their own guidance which should be checked before installation. The guidelines produced in this project should thus be used as a supporting tool or when an increased level of protection is sought. The guidelines only address BESS with lithium-ion batteries. It was not included in the work to evaluate whether special requirements should apply for reused or remanufactured batteries (second-life).

1 Introduction

To enhance grid stability, increase the efficiency of energy systems, reduce the dependency on fossil fuels and to increase the use and market penetration of renewable energy sources, such as wind and solar power, energy storage is a key element in the modern energy supply chain.

Different technologies are utilized for electrical energy storage, such as mechanical, chemical, superconducting magnetic, cryogenic and electrochemical energy storage [1]. The most ubiquitous technology for shorter storage times (minutes to days) are electrochemical energy storage and more specific battery energy storage systems (BESS). There is a variety of different battery technologies, such as flow, lead-acid, sodium-ion, nickel-based and lithium-ion batteries. Among these technologies, lithium-ion is the dominating battery type and accounts for >80% of the BESS systems connected to the grid [2]. In line with the EU ambition for more sustainable electric vehicle batteries, it is likely that second life applications and repurposing of electric vehicle batteries will increase.

Today, there is a lack of national guidelines available in Sweden on how to design and install a BESS in terms of fire safety. This causes uncertainty regarding how the fire protection of BESS should be designed and where BESS can be installed. Without national guidelines, each municipality and local fire and rescue service must create their own advice. For the supplier, installer and buyer, the constantly required ad hoc solutions may result in more expensive installations with a varying degree of fire protection, which may ultimately hinder the transition to a fossil-free society.

1.1 Safety Aspects of Lithium-Ion Batteries

Lithium-ion batteries offer excellent performance in terms of energy and power density but have drawbacks when it comes to safety. There are different fault modes for lithium-ion battery systems, and the mechanisms are generally intricate. Fault modes can be divided into three categories: battery faults, sensor faults, and actuator faults [3,4]. Battery faults, such as overcharging, overheating, electrolyte leakage, external and internal short circuits, are the most critical ones in a lithium-ion battery and could lead to thermal runaway.

1.1.1 Lithium-ion Battery Thermal Runaway

Thermal runaway, which is a state of rapid self-heating, is a non-reversible state of the battery cell. Thermal runaway can be induced by mechanical, electrical or thermal abuse [5–7]. It is most often attributed to the failure of the separator/interphase materials, resulting in an internal short circuit [3,6,8]. Upon temperature increase of the battery cell, exothermic chemical reactions are initiated involving the cathode, anode, and electrolyte. Decomposition of the battery materials generates gaseous products (see further section 1.1.2), followed by an increase in pressure which can lead to cell rupture and release of toxic and flammable gases [9–12]. Release and accumulation of flammable gases could result in an explosion, which was the case in

the accidents in McMicken Arizona US, 2019 and in Dahongmen China, 2021 which are further described in section 1.3.

1.1.2 Thermal Runaway and Flammable Gas Production

The volume of the released gases will depend on several factors such as battery cell chemistry, capacity of the battery cell and state of charge (SOC). Various values of the total volumes of gas released can be found throughout the literature, ranging generally between 0.1 to 3.5 l Ah⁻¹ [12–14]. These numbers will likely continue to vary with the development of lithium-ion batteries.

Testing according to the standard UL 9540A, or similar, could be used to determine the composition and volumes of gas produced by a specific battery cell type during thermal runaway.

It is important to note that battery cells are often packed tightly together in a module/pack, which could enable rapid thermal propagation through the system. This means that a significant amount of gas could be released in a short period of time (seconds). Therefore, the best way to mitigate extensive gas release in short time frames is to prevent or mitigate thermal propagation between cells, modules and racks.

1.1.2.1 Composition of Gases Released

A study by Baird et al. [9] showed that the main components of the gas formed during thermal runaway were carbon dioxide (CO₂), carbon monoxide (CO), hydrogen (H₂) and hydrocarbons such as methane, ethane and propane. Furthermore, the composition of the gases shifted significantly based on the SOC. Below 40 – 50% SOC (for cylindrical cells), less than 25 % of the total gas volume constituted of flammable gases, remaining gas being inert CO₂. However, above 50 % SOC the volume of flammable gases increases drastically, specifically H₂ and CO [9]. Similar results were found by Willstrand et al. [12], who conducted a large series of tests on prismatic lithium nickel manganese cobalt oxides (NMC) battery cells at varying SOC (25 %, 50 %, 75 % and 100 %) with different thermal runaway trigger methods. An increase in H₂ and CO, coupled with a significant decrease in CO₂, was found with increasing SOC.

While this trend is applicable for various lithium-ion battery chemistries, the exact composition of gaseous species varies. Differences in electrolyte composition, test atmosphere/environment and even the initiation of thermal runaway may have an impact on the composition of gases generated.

An important aspect of the gas composition is the lower flammability limit (LFL), also referred to as the lower explosive limit (LEL). It denotes the volume fraction of a flammable gas at which it can be ignited by a source such as an arc, flame or heat from the battery cell itself. The LFL will vary significantly for various gas compositions, and thereby also for different SOC levels. In work by Baird et al., [9], the LFL for battery vent gas ranged from 6.1 to 11.8%.

1.2 Battery Energy Storage Systems

A BESS can come in a variety of sizes, designs and capacities which depend on the requirements for the system. The capacity has two key characteristics: (1) Rated power capacity, which is the maximum instantaneous discharge capability (MW) and (2) Energy capacity, which is the maximum amount of stored energy (MWh).

System requirements depend on where the BESS will be installed (building application, physical environment etc.), voltage range, as well as the desired power requirements. Other aspects that should be considered are interfaces to additional equipment (both for electricity and communication), as well as safety (cooling and heating, fire safety etc.) and security aspects (monitoring and control).

The main components of a BESS include the electrochemical storage (battery cells and housings) and auxiliary systems (e.g., thermal management, electrical cables/wiring, power conversion system as well as monitoring and control systems), which will generally be placed in an enclosure or divided between multiple enclosures. The enclosure could be a so called “walk-in unit”, such as a standardized shipping container, or a “non-walk-in unit”, such as cabinet style BESS. See Figure 1 for some different examples of BESS.

Monitoring and control systems such as the energy management system (EMS) and battery management system (BMS) are important components for the safety of the BESS, together with the thermal management system (TMS). The BMS ensures safety by monitoring the conditions of the battery cells, and by state estimations, such as SOC, state-of-health (SOH) and state of function of the system [15]. Additionally, the BMS will ensure balancing of the cells within the subsystems (modules/racks) to maintain all battery cells at the same voltage. Poor balancing may lead to lower efficiency, reduced usable capacity as well as degradation due to over/under voltages. The TMS ensures safe operation regarding temperature. Both the enclosure environment (temperature, humidity, dust etc.) as well as the battery cell/module temperatures are managed to avoid too high or too low temperatures, which could lead to system failures.



Figure 1. From left to right, a wall mounted BESS, a cabinet style BESS and containerized BESS. Doors have been opened to display the racks inside of the BESS. Image courtesy to Polarium Energy Solutions AB (centre image) and Vattenfall AB (right photograph).

1.3 Fire and Explosion Incidents

The data available on BESS incidents, both from the field and from large-scale testing, are scarce. The California Public Utilities Commission estimated that 2% of the large-scale BESS in the U.S. encounter major safety-related events in the first two years of operation [16].

In the EPRI database¹, which is based on publicly available information, there are 68 reported BESS failures (2011 to 2023). These failures have led to major fires and even explosions, with significant property loss as well as injuries. Subsequently, two major incidents are summarized based on their fire investigation reports, as well as lessons learnt.

1.3.1 McMicken Incident, Arizona

In 2019, an incident occurred at the Arizona Public Service (APS) McMicken Energy Storage Unit facility. The 2 MW facility was put into service in 2017 and consisted of 27 racks, each containing ~ 390 NMC type cells [17]. According to the fire investigation, the incident started at 16:55 when one cell went into thermal runaway. The fire and rescue service arrived shortly after. At 20:01, when there was no more smoke coming out of the BESS, the door to the BESS was opened. At 20:04, an explosion occurred which injured several fire fighters.

An investigation commissioned by APS claimed that dendritic growth caused an internal short circuit that initiated thermal runaway in a cell. However, the investigation commissioned by the battery manufacturer claimed that the reason for the thermal runaway was external arcing [18].

1.3.2 Dahongmen Incident, Beijing

In 2021, an incident occurred at a 25 MWh BESS facility with lithium iron phosphate (LFP) type cells, in central Beijing. The incident started in the southernmost building due to a short circuit resulting in thermal runaway. The gases released in the event were able to reach a connecting building through an underground cable trench. Both buildings experienced major explosions, which resulted in the death of two firefighters and one employee and injured a third firefighter. For further details regarding this incident and for overpressure calculations, the reader is referred to the analysis by Shen et al. [19].

1.3.3 Lessons Learnt

For the McMicken accident, investigations were carried out by Underwriters Laboratories (UL) [20] and by Det Norske Veritas (DNV) [21]. The UL investigation listed the following as contributing factors to the severe consequences of the incident:

- The hazmat team had no knowledge of how to handle fires in BESS.

¹ EPRI database, https://storagewiki.epri.com/index.php/BESS_Failure_Event_Database, accessed 2023-11-25

- There was no flammable gas detection system in the BESS.
- The communication system failed before the Hazmat team arrived at the scene, and there was no possibility to find out what was happening inside of the container.
- The response plan complied with the regulations but did not contain information on how to deal with thermal runaway, fire and resulting explosion risks.
- There was no pressure relief panels or any ventilation to prevent the accumulation of flammable gases.
- The extinguishing system, inert gas – Novec 1230, extinguished the flames but was not designed to prevent explosion.

The recommendations from DNV [21] where to: Focus on cell quality to minimize the risk of thermal runaway; Include requirements on thermal propagation protection between cells; Prevent thermal propagation between modules; Develop a response plan which should be accessible outside of the BESS space, and dimension the ventilation system so that vent gases emitted during thermal runaway can be taken care of.

In work by Marlair et al. [22], a range of BESS fire incidents were studied and the following was concluded: No chemistry is safe, not even the less reactive LFP; installation of BESS in *on-top* and *side-by-side* configurations, and in upper stories of buildings should be avoided, and a fail-safe approach with multi-layer protection barriers should be the future strategy to reduce the hazards and consequences of thermal runaway.

2 Standards and Regulations

The following chapter includes relevant regulations and standards regarding the fire safety of BESS, focusing on the Swedish market. The following sections presents relevant parts of the building regulations, electrical safety and standards used for BESS.

2.1 Swedish Law and Regulations

Constructions and buildings in Sweden are regulated in the hierarchy found in Figure 2. In Boverket's Building Regulations (BBR)², mandatory provisions and general recommendations are provided. These are produced and decided by the National Board of Housing, Building and Planning (in Swedish, Boverket). BBR applies to the construction of new buildings as well as to existing buildings upon alteration.

In chapter 5 of BBR, the mandatory provisions and general recommendations regarding safety in case of fire are described. It is stated in 5.11 that:

“the fire protection of buildings shall be designed, developed and verified through simplified or analytical design”.

² Boverkets byggregler (BFS 2011:6)

<https://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/gallande/bbr---bfs-20116/>

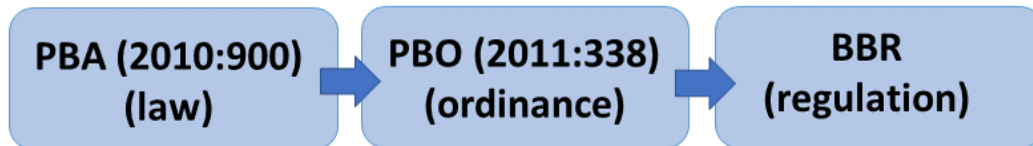


Figure 2. Schematic overview of the laws and regulations of fire protection in Sweden, planning and building law (PBA), planning and building ordinance (PBO) and Boverket's Building Regulations (BBR).

Simplified design refers to meeting the requirements set forth in the general recommendations, whereas if the developer chooses other means of meeting the provisions, an analytical design is employed instead. If an analytical design is employed, it must be verified according to the general recommendation on the analytical design of a building's fire protection (BBRAD) provided by Boverket.

In BBR it is not possible to explicitly find information regarding energy storage systems using batteries. However, there are sections where BESS would fit into the descriptions of risks and measures, some of which are mentioned below.

Section 5:5 in BBR contains regulations regarding "Protection against the development and spread of fire and fire gases". In the general requirements for section 5:53, the following is stated regarding fire cells:

"Spaces in buildings with activities that lead to a high probability of fire and where such a fire can have major consequences for escape safety should be divided into their own fire cells. Such spaces can be premises where hot work is carried out, garages, separate boiler rooms, large kitchens, waste rooms and the like".

It is possible that BESS that are placed in a building would fall under 5:53 and must therefore be in its own fire cell. In section 5:54 it is stated that in spaces with high probability of fire, certain measures should be taken if the space is located next to an escape route that serves more than one premise. In the general requirement the following is stated:

"Examples of such premises are commercial kitchens and parking garages over 50 m². Certain measures can be installation of automatic extinguishing system or a fire lock (in Swedish brandsluss)".

Regarding surface layers/linings (in Swedish *ytskikt*) requirements, section 5:523 states that the areas described above should be designed with surface layers that yield a limited contribution to a fire.

Regarding the ability for fire gas ventilation, BBR states (section 5:253) that if a system for ventilating fire gases is a prerequisite for the fire protection to work, it should be installed. Even though a BESS creates a large amount of gas during thermal runaway, it is not yet exemplified in the regulations as an installation which requires fire gas ventilation.

In summary, there are sections in BBR that could be interpreted to apply for BESS in buildings. These sections provide requirements regarding fire cells, fire locks and surface layers. However, BESS are not yet explicitly mentioned in the regulations. Boverket is currently reviewing the building regulations regarding fire protection. Energy storage is an area where the regulations have fallen behind the technical

development in society. Boverket are in the process of addressing the issues regarding structural fire protection which falls within their jurisdiction. The draft regulatory amendment suggests that lithium-ion based BESS, with a total storage capacity above 20 kWh, should be included and mentioned in section 5:53. This would mean that a BESS is seen as an installation which entails high probability of fire. It would therefore need to be constructed in a separate fire cell with a fire lock towards escape routes serving other activities as well as having fire gas ventilation.

2.1.1 Distance between Buildings and BESS

In BBR 5:61, the general requirements state that: “Adequate protection (*fire protection*) is achieved if buildings are constructed with a separation distance > 8 m”. A separation distance less than 8 m between two separate buildings is only acceptable if at least one of the buildings is provided with the highest requirement of fire resistance for fire cells or fire walls.

For single-family houses and buildings with no more than two stories, in occupancy class 1 and 3 (industrial buildings, warehouses and possibly BESS-containers, offices, and dwellings), a distance < 8 m between buildings could be accepted according to BBR, see Table 1.

Table 1. Fire integrity of exterior walls and required safety distance, table from BBR 5:61

Protection against fire spread between single-family houses Fire integrity of exterior walls and required safety distance	
Fire integrity of one the buildings' exterior wall	Minimum safety distance
EI 60 (including doors) without window openings	0 m
Protection against spread of fire between single-family houses, between accessory buildings* or between accessory buildings* and single-family houses Combination of exterior walls (fire integrity) and required safety distances	
Fire integrity of both buildings' opposite exterior walls	Minimum safety distance
EI 30 (including doors) without window openings	0 m
EI 30 (including doors) with a maximum of 1 m ² unclassified window area	2 m
EI 30 (including doors) with a maximum of 4 m ² unclassified window area	5 m
EI 30 (including doors) without restrictions for unclassified window area	7 m
*For accessory buildings, it is sufficient that one of the walls is designed as above. Exterior walls can be considered to be opposite if direct heat radiation can occur from one exterior wall to the other. Direct thermal radiation is assumed to occur at right angles to, and up to an angle of 135° from, the plane of the wall. (BFS 2014:3)	

While it might be straightforward to assume that window openings will not be present for a BESS unit, there might be deflagration venting panels present, which for the purpose of Table 1 might be considered comparable to windows. However, the effect of

an explosion in an adjacent building is not considered in BBR. See chapter 3.6 for further details on explosion control.

When considering the placement and safety distances of BESS to other buildings, there are currently uncertainties regarding if a BESS can be defined as a building or not. PBL defines a building as a permanent construction consisting of a roof or both roof and walls, which is intended to be constructed so that people can dwell within it. However, not all BESS installations can be entered, and hence do not fall under this description of a building, and therefore will not be classified as a building. It can also be questioned if a cargo container can be considered as a permanent construction.

In summary, the minimum separation distances of BESS units that are classified as buildings are regulated by Swedish law. For BESS units that are not classed as buildings, safety distances to other buildings are not yet regulated. Furthermore, the separation distances in BBR consider the fire safety between buildings but do not account for explosions.

2.1.2 Electrical Safety

Regarding electrical safety, BESS are covered by the Low Voltage Directive (LVD) (2014/35/EU) and the Electromagnetic Compatibility (EMC) Directive (2014/30/EU). Additionally, installations to produce electricity can be found in the Electricity Act (law 1997:857). Furthermore, the Swedish government has issued three regulations that also cover BESS: Elinstallatörsförordningen (1990:806), Starkströmsförordningen (2009:22) and Förordning om elektrisk materiel (1993:1068). A review of these regulations and their content can be found in work by The Swedish Electrical Safety Authority (Elsäkerhetsverket) [23].

The Swedish Electrical Safety Authority's regulations are “framework rules” founded on the basic requirement that electrical installations must be designed according to “*good electrical safety technical practice*” (“god elsäkerhetsteknisk praxis”). The regulations do not contain any detailed technical requirements, but these are instead described in standards. If Swedish standards are applied, as a supplement to the regulations, for how electrical high-current facilities should be constructed, the installation is constructed in accordance with “*good electrical safety technical practice*”. The electrical installation regulations (SS 436 40 00 or SEK Handbook 444) provide knowledge and guidance for safe electrical installations, which comply with all laws and regulations.

The BESS is normally included as part of the general high current installation in the property. It is thus covered by the requirement for continuous control by the owner, so that electrical safety in the facility is maintained throughout its lifetime.

2.1.3 CE Marking

The letters ‘CE’ appear on many products traded in the European Union. By affixing the CE marking to a product, it is declared that the product meets all the legal requirements (EU directives) for CE marking and can be sold throughout the European economic area. Nonetheless, the CE marking is affixed by the manufacturer and is thus

a self-certified marking based on what requirements the manufacturer considers are applicable.

2.2 Standards

This section gives a brief overview of the standards relevant to the fire safety of BESS. There could be relevant standards not covered herein. For example, standards for military applications and standards related to electrical safety, which may also affect fire safety, were not covered in the current study. The most common safety standards used to test lithium-ion batteries on cell-level are summarized in Appendix A.

2.2.1 IEC 62933

IEC 62933-5-1:2017 (“Electrical energy storage (EES) systems - Part 5-1: *Safety considerations for grid-integrated EES systems - General specification*”) specifies safety considerations (e.g., hazard identification, risk assessment, risk mitigation) applicable to grid connected BESS.

2.2.2 IEC 62619:2022

The IEC 62619:2022 (“Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes - *Safety requirements for secondary lithium cells and batteries, for use in industrial applications*”) is a general standard. Furthermore, it is stated in the introduction of the standard that if there is any application-specific standard which conflicts with IEC 62619, the other standard should apply. It is also mentioned that the standard only includes the lowest level of requirements.

The requirement to pass the tests on cell level is “no fire, no explosion”. However, the combustible gases are not analysed and there is no ignition source used in the test setup. This could potentially mean that flammable gases could be generated during the test, but if they do not ignite, the test criteria could yet be considered as fulfilled. Additionally, testing for thermal propagation is not compulsory in the standard. The manufacturer should state which parts of the standard the product has been tested for.

2.2.3 IEC 63056

IEC 63056:2020 (“Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes - *Safety requirements for secondary lithium cells and batteries for use in electrical energy storage systems*”) specifies requirements and tests for the product safety of secondary lithium cells and batteries used in EES with a maximum nominal DC voltage of 1 500 V. This standard provides additional and specific requirements to IEC 62619.

2.2.4 UL 9540A

The standard UL 9540A “*Test method for Evaluating Thermal Runaway Fire Propagation in Cell Energy Storage Systems*” provides test procedures at cell, unit, module and installation level. UL 9540A provides information regarding battery gas

composition and flammability limits, the quantity of gas generated over time, and the heat released. These data can be used to design explosion protection, including deflagration vents, ventilation rates and mechanical exhaust. During the installation-level test, the effectiveness of installed fire suppression systems are assessed.

2.2.5 IFC and NFPA 855

According to Conzen et al., [24] the international fire code (IFC) provides prescriptive requirements and identifies the failure modes to be considered in a hazard mitigation analysis. Additionally, requirements for explosion control, fire detection, and fire suppression are covered. The IFC requires that the BESS are listed in accordance with UL 9540.

NFPA 855 “*Standard for the Installation of Stationary Energy Storage Systems*” contains information that can be used to enhance the fire safety of BESS. Including requirements for water-based suppression systems and explosion control in “cabinet-style” BESS. Furthermore, NFPA 69 “*Standard on Explosion Prevention Systems*” and NFPA 68 “*Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting*” can be used for explosion control for BESS.

If a sprinkler system is installed, NFPA 855 requires installation accordingly to NFPA 13. For a BESS with a capacity less than 50 kWh, a water flow rate of at least 12.2 mm min⁻¹ is required. If the BESS capacity is >50 kWh, the water sprinkler system design and water flow rates should be based on large scale testing. Other types of suppression systems are allowed and should be based on large-scale testing.

2.3 Other Guidelines and Regulations in Sweden

In Sweden, the fire and rescue services usually have their own set of guidelines, some of which are publicly available e.g., [25–29]. For installations in agriculture (having cattle, horses etc.) there are specific regulations, which can be found in “*Elinstallationer i lantbruk och hästverksamhet*” [30]. It is also important to note that, in Sweden, insurance companies may have their own rules/guidelines which should be checked before installation.

3 Fire Safety of BESS

This section contains different factors that will influence the fire safety of BESS. This section has been written based on scientific literature, existing standards and international/national guidelines found.

3.1 Risk Assessment

Risk assessments can be conducted using Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) (IEC 60812 and MIL-STD-1692A) and/or Bowtie analysis. FMEA and Bowtie analysis can be complemented by fault tree analysis as described in IEC 61025. Additional FMEA complementary processes include HAZOP (IEC 61882) and HAZID (ISO 17776). The goal is to become aware of the risks, reduce the risks, and to limit or prevent the

probability of an unwanted event to occur as well as to reduce the magnitude of the severity of the consequences.

A risk is a combination of the severity of the consequence of an unwanted event, together with the probability of that event to occur. Due to the lack of data on BESS incidents, the probabilities of an unwanted event are difficult to assess. However, the possible cause scenarios and consequences should still be considered. A variety of cause scenarios as well as consequences are presented in Table 2. Nevertheless, each installation should be assessed individually as the installation parameters may vary, which will affect the risks.

Table 2. Examples of cause scenarios and possible consequences related to BESS

Cause scenarios	Possible consequences
Manufacturing or installation errors	High temperatures, fire, explosion, pressure build up, release of toxic gases, projectiles, electrical hazards, corrosive gases, chemical spill etc.
Damage to battery cells due to environmental effects (dust, humidity, salt water, lightning strikes etc.)	
Electrical faults such as overcharging or deep discharge, electrical arcs	
Aging and lithium dendrite formation	
Mechanical impact e.g., collision, ice from wind turbines.	
External fire which spreads to the BESS	
Over/under temperatures	
Incidents caused by human factors during e.g., maintenance	
Vandalism, cyber attacks	

In a risk assessment for a BESS, the following points were considered important, with regard to fire safety:

- Internal safety distances, cooling systems and protection towards thermal propagation.
- Separation between separate BESS units, such as two containers, as well as external safety distances to other buildings and infrastructure.
- Active and passive fire protection and the explosion risk.
- Environmental aspects, such as weather, climate and mechanical impact etc. Additionally, placement and the risk of fire spread through vegetation fires.
- Safety of the rescue team in case of fire, such as having two separate ingress points, adequate emergency plans etc.
- Extinguishing water and protection of sensitive nature areas
- How to handle the BESS after an incident and decommissioning of the BESS.

3.2 General Safety Requirements

3.2.1 Heating, Ventilation, and Air Conditioning

The ambient temperature must be kept within the working range of the lithium-ion battery (optimal temperature range ~ 15 - 35°C [31]) to optimize performance, limit degradation and avoid battery cell damage, and to prolong the lifetime of the system. To prevent lithium plating and resulting internal short circuits, the working temperature should not be below 0°C [32]. The optimal working temperature depends on the battery cell and the manufacturer will specify the working temperature and critical limits.

Heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems can be used in BESS to control the temperature, humidity, and purity of the air. HVAC thus becomes an important part of the battery facility and in many cases, these must be tailored to suit the facility and applicable standards. Ventilation is also important to be able to evacuate gases in the event of a malfunction (such as thermal runaway) as well as to keep the air in the BESS free from particulates that could impact the electrical systems.

Ventilation inlets and outlets should be arranged to prevent ingress of contaminants or moisture (for example dust, rain, snow). Warnings or feedback from the BMS to the BESS control system may be necessary to ensure that ventilation and heating are within the operational range of the system.

3.2.2 Battery Management System

The BMS provides the primary protection against thermal runaway. This is why many BESS safety standards require that the BMS is evaluated together with the batteries. For example, in a BESS that is UL 9540A tested, the BMS monitors, controls, and optimizes the performance of battery modules in the BESS and disconnects the modules from the system in the event of abnormal conditions (automatic shutdown). In addition, the BMS provides charge and discharge management of the batteries. In case of under voltage or overvoltage, over-temperature or overcurrent conditions, the BMS will alarm and then limit the charge and discharge current or power. Under emergency conditions, the BMS will cease operations and electrically disconnect each battery enclosure and could be coupled to the emergency ventilation to increase the ventilation rates. This assumes that the BMS is operational and not damaged itself.

The BMS should operate continuously, for example during emergency disconnection, installation, and decommissioning. In case of BMS failure, the battery should be disconnected. Nevertheless, the BMS cannot stop an already started thermal runaway.

3.2.3 Cell and Module Level Safety

The inherent safety of the cell is one of the key aspects for the safety at a system level. At cell level, material modification is the most fundamental strategy to enhance safety. However, the internal safety of lithium-ion batteries will not be covered in this work. The reader is referred to the following work [3,33] for further reading.

In case that the passive (materials) and active (BMS, TMS etc.) safety systems fail and thermal runaway is induced, it is important that the system design will prevent thermal propagation throughout the whole system. Thermal propagation can be mitigated through a design that limits heat transfer between cells/modules/racks. Thermal propagation for BESS systems can be tested using standards such as IEC 62619 or UL 9540A.

To reduce heat transfer and hinder fire spread between separate racks, the BESS internal separation distances could be increased. The separation distances to avoid fire spread from a/between BESS units was investigated by FM Global [34] based on large-scale fire tests. The resulting separation distance recommendations, to avoid fire spread between a battery rack of a certain size to non-combustible or combustible adjacent

surfaces, for spaces with and without sprinkler protection of the ESS are presented in Table 3.

Table 3. Recommended safety distances from a BESS unit to non-combustible and combustible material, with and without water sprinkler system. Original table can be found in [34].

Chemistry and capacity tested		With water sprinkler system		Without sprinkler system	
		Non-combustible	Combustible	Non-combustible	Combustible
LFP	31 kWh	Not tested	Not tested	<0.9 m	1.2 m
	83 kWh	0.9 m	1.5 m	1.2 m	1.8 m
NMC	47 kWh	Not tested	Not tested	1.2 m	1.8 m
	125 kWh	1.8 m	2.7 m	2.4 m	m

To summaries, the system design and inherent safety are key for a safe BESS. Strategies related to material modifications, BMS, TMS and ultimately hindrance of thermal propagation will all play a role when it comes to limiting severe consequences of a thermal runaway event in a BESS.

3.2.4 Fire Cells

As mentioned in section 2.1, there is no regulation in the Swedish building code that specifically states fire cell requirements for spaces with BESS. Although, one could argue that BESS falls under the requirements in regulation 5:53 in BBR 29:

“Spaces in buildings with activities that lead to a high probability of fire and where such a fire can have major consequences for escape safety should be divided into their own fire cells. Such spaces can be premises where hot work is carried out, garages, separate boiler rooms, large kitchens, waste rooms and the like”.

This is also considered by Boverket in their latest amendment proposal for BBR. As mentioned in section 2.1, Boverket suggests that BESS of 20 kWh or more should be placed in a separate fire cell. However, it does not state what level of fire resistance (fire class) is appropriate for such spaces.

Today, the fire classes in the Swedish Building Regulations vary between EI 15 – EI 240 and are determined based on building class (Br0-Br3) and fire load (with some exceptions for specific cases and occupancy classes). For example, a four-story building (generally Br1) with a fire load of 800 MJ m⁻² is divided into fire cells with a fire class EI 60. The fire classes are based on the standard time-temperature curve (ISO 834) and can (simplified) be explained as the time a construction is expected to prevent spread of a fire (corresponding to the standard fire curve).

However, lithium-ion battery fires are influenced by several factors such as, capacity, battery chemistry and SOC of the battery, and are therefore difficult to standardise. As a result, a general statement regarding the appropriate fire resistance class for spaces involving BESS is difficult to make and has not yet been determined in research. However, it should be kept in mind that a fire involving lithium-ion batteries may deviate substantially from the ISO 834 curve in terms of higher temperature and increased intensity of the fire. Furthermore, it should be considered both when designing and fighting a fire involving lithium-ion batteries, that the designed fire resistance of the construction could in many cases be lower in reality than on paper.

When it comes to protecting the BESS from an external fire, the ISO 834 curve as well as the current method for determining fire resistance are still considered suitable.

3.2.5 Mechanical Impact and Unauthorized Access

To avoid mechanical damage to the BESS, which could potentially damage the battery cells, it is important to consider the placement of the BESS. If the BESS cannot be placed in a mechanically impact-safe area, protection against mechanical impact should be considered. The BESS should be protected against mechanical impact such as vehicle impact, falling ice (from the rotor blades of a wind mill in wintertime) etc.

Precautions should be taken against unauthorized physical access as well as against access to data and controls. Software and the data infrastructure should be continuously monitored and kept up-to-date, to stay protected against the cyber threats.

3.3 Fire Detection and Fire Alarms

There are many different types of fire and gas detectors that could be used in BESS, some of which are described below. Fire detectors and fire alarms will notify the persons in the vicinity or within the building and could therefore reduce the evacuation times and save lives. Additionally, CCTV and gas detectors (e.g., H₂, CO) could be used to understand the status at the inside of a BESS enclosure without opening it, which would also allow a safe access.

3.3.1 Smoke Detectors

In homes, photoelectric smoke detectors are typically recommended by fire protection agencies since they are effective for different types of fires. This is also applicable for BESS. Early detection enhances the probability of fast evacuation and should be considered as a cheap life warranty.

3.3.2 Gas Detectors

There are various types of gas detectors available. In a BESS, H₂, CO or/and CO₂ sensors are considered the more important gases to detect early, since they are the ones found in large quantities during thermal runaway, see further section 1.1.2. The detectors can be connected to the ventilation system, both for detection and to steer the ventilation. The detectors should be triggered at 25% of the LFL (according to NFPA 855). Furthermore, commercial speciality sensors for electrolyte components etc. could be used but were not considered in detail within this study since they need to be tailored for a particular system. Furthermore, some sensors/detectors may be prone to contamination, which could affect sensitivity and give faulty readings (as in the McMicken accident, see further section 1.3.1).

3.3.3 Flame Detectors

In some BESS, flame detectors that detect heat generation and open flames are installed. Since flames usually appear at the late stage of a thermal runaway, flame detectors are not recommended as the sole means for detection. Flame detectors should be combined with other protection systems, such as temperature monitoring, gas and smoke detection etc.

3.3.4 Alarms

Smoke detectors found in homes normally have a built-in acoustic alarm. Some products offer the possibility of serial connection so that each unit can activate the alarm in all of the units in the system (*communicating fire alarms – kommunicerande brandvarnare*). This technology can come in handy in spaces with BESS, since they might be in a separate building or in an isolated part of the building, such as a garage or an outdoor storage space.

Communicating fire alarms communicate via radio waves and have a limited range, the range will be affected by wall thickness, material as well as other disturbances. The installation should therefore be adjusted accordingly and tested regularly to ensure functionality.

Visible (light) or audible alarms outside of a BESS enclosure can be used to warn people not to open the enclosure and to increase the speed of evacuation. Additionally, visible alarms will alert the emergency service to the right enclosure.

3.4 Fire Suppression Systems

A fire suppression system may have dual purposes. Firstly, it could serve to protect the external environment from a fire that starts in the BESS, and secondly it could be used to protect the BESS from an external fire. There are many different types of suppression systems on the market, where the two most commonly used in BESS are described below.

Any installed fire suppression system used should be designed and tested for the particular system.

The effectiveness of suppression systems against thermal runaway is considered modest and they might therefore not be effective towards fires in BESS. However, they could be used to limit the fire spread to or from the BESS.

On the other hand, water application may prolong the rescue operation and may damage functioning battery cells and could hence worsen the fire scenario. There should therefore be procedures describing when and how to activate suppression systems and how to disassemble, remove and transport potentially defective and energised battery cells.

3.4.1 Inert Gaseous Systems

Inert gaseous systems are usually not effective in halting thermal runaway since the cooling capability is insufficient. However, gaseous systems are efficient in extinguishing flames and are well equipped to handle fires in electrical systems. This could be a fire mitigation strategy for BESS, used to avoid that electrical fires spreads to the batteries.

Extinguishment of flames that could further accelerate thermal runaway also introduces an explosion hazard. In the McMicken accident, the gaseous suppression system extinguished the flames, which instead allowed for accumulation of flammable gases, which eventually led to an explosion (see further section 1.3.1). Hence, a thermal runaway with flaming fire could lower the probability of an explosion while it could also accelerate thermal runaway.

If installing an inert system, procedures for venting and how to use the ventilation should also be described. Additionally, inert systems will require airtight enclosures to be effective.

3.4.2 Water-Based Systems

Water-based fire suppression systems are generally recommended for fires in lithium-ion batteries and BESS. Water has a high cooling capability and can therefore cool nearby cells and modules to prevent further thermal propagation through the system. Sprinkler systems can be installed at roof level, or at rack/module level for a more targeted suppression effort. Furthermore, flooding of subsystems could be a suppression strategy. In that case, the subsystem enclosure should be able to handle the increased pressure from water filling.

Additionally, a BESS could be fitted with an internal dry pipe sprinkler system with a possibility to connect the fire hose. The increasing water pressure in the container could impact the water flow rates, therefore the nozzles should be placed in the ceiling. If the enclosure is airtight, it should be designed to handle the increased pressure from water filling.

A majority of the BESS on the market are installed without any fire suppression systems. They are generally designed so that a fire can be contained within the BESS enclosure.

Extinguishing Water

There are limited studies regarding the toxicity of the extinguishing water from fires involving lithium-ion batteries [35–37]. In work by Quant et al. [35], extinguishing water from lithium-ion battery fires was found to be toxic for aquatic species and the extinguishing water also contained per- and polyfluorinated substances.

How extinguishing water from a BESS fire should be handled must be considered before installation, to avoid adverse environmental consequences. Furthermore, handling of extinguishing water should also be considered for BESS without a water-based extinguishing system, since the fire and rescue service will most likely use water in case of an incident.

To assess the environmental impact based on the chosen suppression tactic (i.e., using water or to let it burn) the reader is directed to the following references [38,39].

3.5 Explosion Control

According to NFPA,³ “*If there are enough batteries in a room to create an explosive atmosphere*”, then explosion prevention systems or deflagration venting should be installed. This depends not only on the type of battery cells used but also on the enclosure size/volume, the ventilation system and on the thermal propagation protection (i.e. how many cells that may experience thermal runaway simultaneously). However, even a small BESS with a capacity of 14 kWh could generate a volume of gas of 8 400 l, resulting in a flammable mixture of 140 m³.⁴ This could hence create an explosive atmosphere in a relatively large space of about 7 x 8 m, without any safety margin.

Note that the capacity of an electric vehicle can be much larger (40 - 100 kWh) and may therefore pose a larger hazard (in terms of gas volume produced) compared to a smaller BESS unit (<40 kWh). BESS for private use could be installed outdoors (well-ventilated and not enclosed) to limit the explosion hazard. However, the manufacturers’ installation requirements should always be followed, as some systems are not designed to be installed outdoors.

3.5.1 Enclosure Strength and Explosion Prevention

The *maximum pressure capacity* of the enclosure corresponds to a collapse prevention performance goal. This parameter is referred to as the enclosure strength, which is often unknown to BESS manufactures, installers and end-users.

Deflagration venting creates a pathway for the rapidly expanding gases to exit the enclosure in the event of a deflagration. Therefore, these vents must be designed to limit the maximum pressure developed within the enclosure (during a vented deflagration) to be less than the enclosure strength, by a sufficient safety margin, to prevent a catastrophic failure [24]. Note that deflagration venting does not prevent an explosion but may limit its consequences.

BESS explosion prevention could be design according to NFPA 69, *Standard on Explosion Prevention Systems*, and/or NFPA 68, *Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting*. The requirements for deflagration venting in a confined space depend on the characteristics of the flammable gas, the size and the configuration of the enclosure, and the pressures that might develop in the event of a deflagration. Deflagration venting in accordance with NFPA 68 should be based on UL 9540A or other approved test data.

In work by Skjold et al. [40], 66 vented hydrogen deflagration experiments in 20-foot containers were summarised regarding the effects of vent area, venting device, ignition

³ NFPA, <https://www.nfpa.org/~media/Files/Code%20or%20topic%20fact%20sheets/ESSFactSheet.pdf>

⁴ Assuming: 0.6 L gas/Wh, LFL ~ 6% and that the whole system experiences thermal runaway with no ventilation.

position and level and type of congestion. The results demonstrated a strong effect of congestion on vented deflagrations, with a rapid increase in explosion violence for more reactive mixtures and higher level of congestion. Even though the experiments were performed using hydrogen, the deflagration characteristics, limiting projectiles (including the container doors) could be applied to BESS designs. Furthermore, numerical investigation on explosion hazards for lithium-ion battery containerised energy storage systems can be found in work by e.g., Peng et al. [41] and Kapahi et al. [42].

Deflagration vents should be designed to vent upwards or towards another safe location, since jet flames and pressure waves can be expected upon release of the deflagration panels. Therefore, vents should not face toward any evacuation path from nearby buildings, pedestrian walkways, or locations from which firefighters may need to access the BESS. Additionally, if the installation is outdoors, maintenance to remove for example snow and ice from the deflagration vents must be permitted and planned.

3.5.2 Forced Ventilation

If implementing forced ventilation as a measure for explosion prevention, the combustible concentration should be maintained below 25% of LFL according to NFPA 69. If continuous monitoring of the gases is installed, a LFL below 60% is permitted. The forced ventilation system could be automatically activated by a gas-detection system, so that it starts when the gas concentration exceeds a pre-determined level.

Since the ventilation system may handle potentially explosive or flammable particles, fumes, or vapours, the system components should be carefully selected. The exhaust fan should tolerate high temperatures (obtained for fires) and should not introduce any potential ignition sources into the exhaust stream. Note, that there will always be ignition sources within the BESS due to the heat generated during thermal runaway.

Louver/dampers could be strategically installed to allow outside air to enter the container and move the battery gases out through the exhaust. Note that the ventilation strategies should also consider that the intake of fresh air could also increase the rate of fire spread or potentially increase the risk of explosion. Fresh air introduces more oxygen and may bring accumulated gases within the flammability limits.

The size of the enclosure and the available free space will determine the number of exhaust fans and intake openings required. Computational fluid dynamics simulations could be used to study local accumulation of flammable gases inside of the BESS enclosure and aid in the placement of vents, fans and air intakes [42].

3.5.2.1 Ventilation Rates

The ventilation rates will depend on the type of cell and its gas composition during thermal runaway, the SOC, number of cells experiencing thermal runaway as well as on the volume/size of the enclosure. Currently there is no coherent recommended design value for the ventilation rates of BESS enclosures.

In guidance from DNV regarding ventilation rates for BESS on maritime vessels, a minimum of 6 air-changes-per-hour (acph) is recommended [43]. For onshore energy

storage systems DNV suggests a ventilation rate of $0.34\text{--}0.54\text{ m}^3\text{ h}^{-1}\text{ Wh}^{-1}$ ($0.09\text{--}0.15\text{ l s}^{-1}\text{ Wh}^{-1}$) [43]. In NFPA 855, a ventilation rate of at least $5\text{ l sec}^{-1}\text{ m}^{-2}$ is required.

The Swedish Transport Agency has published guidelines for spaces with BESS on ships [44]. In these guidelines it is specified that the ventilation rate in such enclosure should be at least 6 acph and that it should be continuous or activated upon gas detection (gas detection is required). Batteries that have been tested for thermal propagation at module level require an analysis of the ventilation rate requirement, to investigate whether it is necessary to dimension the system for more than 6 acph [44].

In work by Barowy et al. [45], the ventilation rates (or exhaust flow rates), were calculated for four different thermal runaway scenarios. The different scenarios included five or nine battery cells experiencing thermal runaway. Even with a ventilation rate of 50 acph, the LFL could not be maintained below 25%.

Furthermore, at a high SOC, a conservative assumption is that a cell during thermal runaway may generate about 0.5 l Wh^{-1} gas (total amount normalised to the cell energy rating) for about 30 seconds. Assuming a LFL of $\sim 5\%$ for the gas release means that 0.5 L of gas may result in 10 L of flammable gas-air mixture. To stay below the LFL, the ventilation rate would then have to be $0.33\text{ l s}^{-1}\text{ Wh}^{-1}$. For any large number of battery cells, this would scale up to unrealistically high ventilation rates. However, it is unlikely that all cells would experience thermal runaway simultaneously. Therefore, the actual maximum gas generation rate could be significantly lower than by the above calculation. Additionally, the SOC and battery cell type will affect the gas composition and volume of gas and the enclosure volume will also have an effect on the explosion risk. It should also be emphasised that it may be difficult and costly to design ventilation to completely avoid the risk of explosion or deflagration.

3.6 Safety Signs

According to Els akerhetsverket [23], a dual-feed BESS, i.e., where there are two voltage feeds in the installation, must be clearly marked. Additionally, in contact between Els akerhetsverket and the emergency services, it has been highlighted that there is a need for detailed information on where the batteries are placed, if there is connecting duct work, where this is located, as well as where any inverters are located.

Today, there are no standardised signs to indicate if a room/building contains a BESS. However, the ISO 7010:2019, ISO 3864-1 and ISO 3864-3 should be used, as exemplified by the signage used for photovoltaic installations in Figure 3. Note that the signs for fire protection devices, such as safety switches, fire gas ventilation, or fire hydrants should be designed as the top images in Figure 3 (red background/white text).

Signage to notify the fire department of an enclosure including a BESS should therefore use a separate design scheme, such as the image on the left-hand side in Figure 3.

High voltage cables should have a warning label indicating dangerous voltage. Warning labels should be clearly visible, as exemplified by the signage in Figure 3, bottom right.



Figure 3. Examples of signage used for photovoltaic installations.

3.7 Emergency Response Plan and Card

The purpose of an emergency response plan is to provide important information about a building or facility to support firefighters in their decision making during an operation. In a report by the Swedish Civil Contingencies Agency (MSB) [46], it is stated that buildings with BESS should have an emergency and response plan.

According to Brandskyddsföreningens *Insatsplan 2019* [47], which is considered an industry praxis, the emergency response plan should include information such as:

- Aerial photo or a situation plan, including information such as, location of fire hydrants, assembly points, pump room for sprinkler systems and the recommended entry for firefighters.
- Floor plans including relevant information on the existing fire protection.
- Building information such as building class, number of floors, fire resistances of fire cells and load-bearing constructions.
- Description of the occupancies within the building and prioritized parts of the building (for example valuable equipment).
- Information on fire hazards such as storage of flammable liquids or gases.
- Emergency shutdowns, for example for gas or electricity.
- Information regarding supply of extinguishing water and handling of extinguishing water.
- Description of fire mitigation systems such as water sprinklers, fire alarm, fire gas ventilation etc.
- Contact information

Furthermore, MSB states that buildings containing BESS should have a dedicated emergency response card specified for the BESS as a part of the emergency response plan [46]. If the building does not have an emergency response plan, a response card is still required and should be placed in the main entrance of the building; see example in Figure 4.

The emergency response card, usually a one-pager (for complex facilities, a double-sided response card is allowed), should present the following information:

- A table with important information to the first responders such as placement of emergency shutdown, battery chemistry, capacity, voltage, structural fire protection, detection, ventilation, gas detectors, fire gas ventilation, extinguishing system, piping and drainage, pressure vents, remote shutdown, and contact information to operating personnel and the manufacturer/installer of the BESS.
- A floor plan of the floor containing the BESS.
- Explanatory image of emergency shutdown and pressure vents.
- Explanatory image of the inside of the BESS.

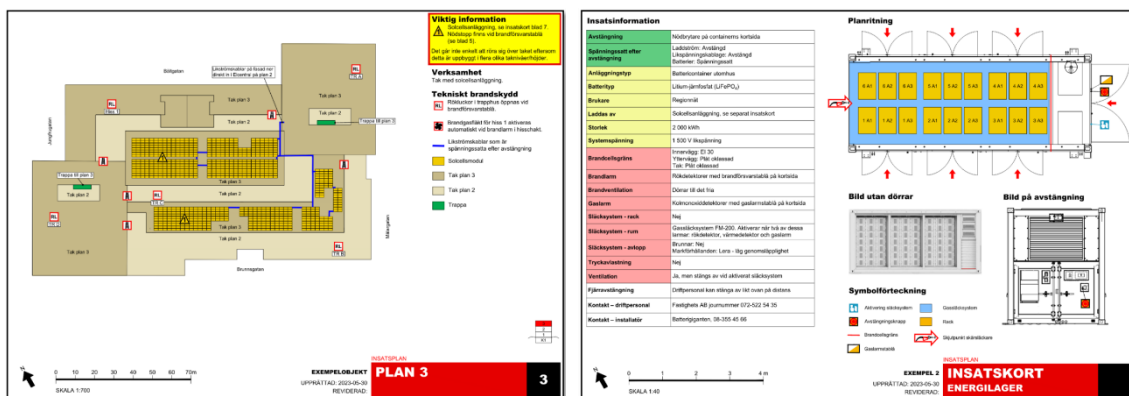


Figure 4. Examples of emergency response plan (left) and emergency response card (right). Figures originally from [46].

4 Application Categories for BESS

So far, there is no universally accepted definition of a “small scale” or “large scale” BESS. According to the Swedish Electricity Safety Agency [23] a "small-scale energy storage facility" is defined as:

Installation for energy storage that is connected in the customer's installation with rated voltage 230/400 volts and in terms of power less than or equal to 11 kW (16 amperes). The users are private customers (consumers), smaller industrial customers, smaller real estate customers and smaller business customers and more.

A “large-scale energy storage facility” is defined as:

Installation for energy storage that is connected in the customer installation with rated voltage 230/400 volts or for high voltage and in terms of power greater than 11 kW. The users are industrial customers, corporate customers, pure production companies, electricity traders, the business entity Svenska kraftnät and the electricity grid companies themselves.

In the US, the Department of Energy’s Energy Information Administration uses 1 MW as a threshold to distinguish between “large-scale” and “small-scale” BESS. The “small scale” is often referred to as a “behind the meter” BESS and the placement of these systems can be for example in family homes as backup power or to support charging of electric vehicles during high energy price periods [48].

Due to the vastly different applications, sizes and capacities of BESS, the systems considered in this work were divided into three subcategories based on *Application Categories* (AK). These subcategories, see Table 4, were chosen based on discussions within the project group and during the workshops.

Table 4. Categories, description and examples of BESS considered for the produced guidance

Category	Description	Examples
AK1	BESS for Single-family homes, private customers	BESS for power optimization and to reduce electricity costs, for electricity trading, charging electric vehicles and storing solar energy.
AK2	BESS for Multi-dwelling blocks or businesses	BESS for charging electric vehicles, larger UPS-installations, storage of solar energy and actors who sell surplus electricity to the electricity trading companies.
AK3	BESS for Large-scale commercial applications and mobile BESS	Larger BESS consisting of several units (such as BESS parks) and mobile BESS-containers etc.

5 Workshops

During the project, two workshops were held; one at RISE in Borås and the other one was held online using Microsoft Teams. The workshops were used to collect feedback on the initial guidelines produced, as well as to inquire knowledge from different stakeholders regarding the fire safety of BESS. This section contains a summary of the two workshops. Documentation as well as participating companies and authorities are found in Appendix B.

5.1 Workshop 1, Borås 14th of September 2023

At the first workshop there were 26 external participants and four representatives from RISE. The workshop was held at RISE in Borås and lasted for 5 h. Background material was distributed to the participants beforehand, including background to the project, questions to discuss during the workshop and a first draft of guidelines. The following questions were highlighted for discussion:

- Should there be a maximum capacity allowed for BESS intended for private use (AK1)?
- Is it meaningful (i.e., will it be implemented) to include placement and safety distances for BESS intended for private use in the guideline (AK1)?
- Should a risk assessment be recommended for all BESS that are not intended for private use (AK2 – AK3)?
- Should fire separation (fire rating) be recommended and could/would this affect the explosion hazard (AK2)?
- What safety distances should be recommended for BESS systems not intended for private use (AK2)?

Regarding BESS for single households and for private use, the participants agreed that setting a maximum capacity, of say 20 kWh, would quickly be outdated with the fast pace of technology development. It was also discussed where this limit stems from and what it serves to protect. Regarding fire protection, the fire load for a 20 kWh BESS (500 MJ) [49], was compared to the analytical dimensioning value used in BBR for garages (800 MJ m⁻²) and was not found to be larger than the analytical dimensioning value used.⁵ For comparison, a modern small sports utility vehicle (SUV) could have a fire load of about 800 MJ m⁻² [50].

Regarding the explosion risk for BESS, a parallel was drawn to the potential risk of having a battery electric vehicle in the same garage, which would have a capacity at least twice as high (40⁶ – 229⁷ kWh). With the potential of having vehicle to grid (V2G)/ vehicle to house (V2H) connection, and the possibilities for single households to be more resilient towards energy distribution disturbances, the 20 kWh limit for single households was questioned. However, a wish to limit the maximum capacity

⁵ For calculations, see Appendix B

⁶ Average capacity from: <https://www.eonenergy.com/electric-vehicle-charging/running-costs-and-benefits/battery-capacity-and-lifespan.html>

⁷ Example used: Dodge RAM EV <https://www.ramtrucks.com/revolution/ram-1500-rev.html>

allowance for private use was raised. This maximum capacity limit could potentially be set to enable storage of power equal to for example three days of energy use for an average household. Setting such a maximum capacity allowance would require further studies.

It was also agreed upon that the manufacturers installation requirements should always be followed and that recommendations regarding placement of the BESS should always be made in coherence with the installation guidelines.

To reduce the explosion hazard, placement outdoors or in a well-ventilated area, separated from living spaces and preferably in a detached building (garage or storage building), were agreed to be satisfactory for AK1.

Regarding a recommendation to conduct risk assessments for all BESS in AK2 and AK3, the participants of the workshop were neutral or negatively tuned. The reasons for this were the following:

- The quality of the performed risk assessment would have too large variations and would not end up in more coherent fire protection measures. Instead, it would lead to that each municipality would have its own rules which would not set the national standard wished for.
- The question who should approve these risk assessments was also brought up.

For large BESS in AK2 or AK3, or for BESS in buildings/areas that require a high level of fire protection (health care, underground facilities etc.), a risk assessment should still be performed.

The discussion regarding fire cell requirements and fire resistance classification (i.e. EI 30, EI 60, EI 120) for BESS, not intended for private use, raised more questions than concluding remarks. The reason was possibly the lack of knowledge on how this would affect the consequences of an explosion. On the positive side, a recommendation of for example EI 60 could limit an external fire from spreading to the BESS and would in that regard be a good recommendation. The question was further discussed during workshop 2.

Regarding the safety distances for BESS in AK2-AK3, the safety distance (according to BBR) should be 8 m if the BESS is considered a building. Therefore, it was considered that all BESS should have a safety distance of at least 8 m to an adjacent building. This safety distance could be reduced if the suggested reduction can be motivated (risk analysis).

Additional points were also brought up during the workshop:

- Signage for BESS should be standardised, and all BESS should be marked in a similar way as photovoltaic installations (solar cells).
- Communicating fire alarms were considered a cheap and valuable safety function for AK1 installations. This would reduce the time for fire detection and more quickly get the attention by the owner (to enable a faster evacuation).

5.2 Workshop 2, Online 26th of September 2023

At the second workshop there were 89 external participants and four representatives from RISE present. The workshop was held online through Microsoft Teams and lasted for 3 h. Most of the participants were from the insurance industry, energy industry or fire and rescue representatives. Authorities such as Els akerhetsverket, Myndigheten f r Samh llskydd och Beredskap (MSB) and Boverket were also represented.

Background material was distributed to the participants beforehand, including background to the project, questions to discuss during the workshop and a first draft of the guidelines. Due to the large number of participants, surveys were used to collect information from the participants. The surveys used and the full results can be found in Appendix B. This section will provide a summary of the results from the surveys.

Regarding the question to limit the maximum capacity for BESS in AK1, 44% were positive towards a recommendation for the maximum capacity. Here, 86% of the representatives from the insurance industry were positive in limiting the maximum capacity. Surprisingly, only 50% of the representatives from the fire and rescue service were positive towards restricting the maximum capacity. The 22 persons who answered that they wanted a restriction of maximum capacity for AK1 were asked to give the recommended maximum capacity that should be recommended. The compiled answers resulted in a mean value of 40 kWh.

In the next survey, the participants were asked to grade the importance of different fire protection measures for AK1. In short, as minimum safety requirements, the participants wanted to see recommendations regarding signage but also to always follow the installation requirements. The BESS placement should preferably be outdoors (if the BESS is designed for outdoor use) or in a detached building (garage or storage building). As best practise, communicating fire alarms should be installed, and combustible material should not be in close vicinity (~ 1 m) to the BESS in AK1.

For BESS in AK2, only 13% wanted to limit the maximum capacity, 37% did not want a limit and 38% wanted a limit but that this limit could be exceeded if a risk analysis was performed (see Figure 5 and Appendix B).

Just as for AK1, the participants were asked to grade the importance of different fire protection measures also for AK2. In short, the minimum safety requirements highlighted were signage but also to install the BESS in a well-ventilated area and to consider external safety distances. As best practise, fire alarms, safety distances, separate ventilation and fire class were highlighted.

The safety distance for outdoor installations should follow BBR, i.e., 8 m. Most of the participants also thought that this safety distance could be reduce if using fire barriers of EI 60 or higher. In this regard, the explosion risks were not discussed during this workshop.

Regarding indoor installations in AK2, the following points were raised regarding the placement and safety distances:

- Separate ventilation should be required for BESS installed within a building in AK2.
- The space intended for BESS should be a dedicated space for BESS, meaning that no other materials should be stored there, and people should be restricted from accessing the BESS.
- The BESS should be placed in a fire cell of at least EI 60 fire integrity, but EI 120 was also mentioned, especially to avoid effects on the evacuation of people. However, no comments were made regarding the effect of fire classes on explosion consequences.

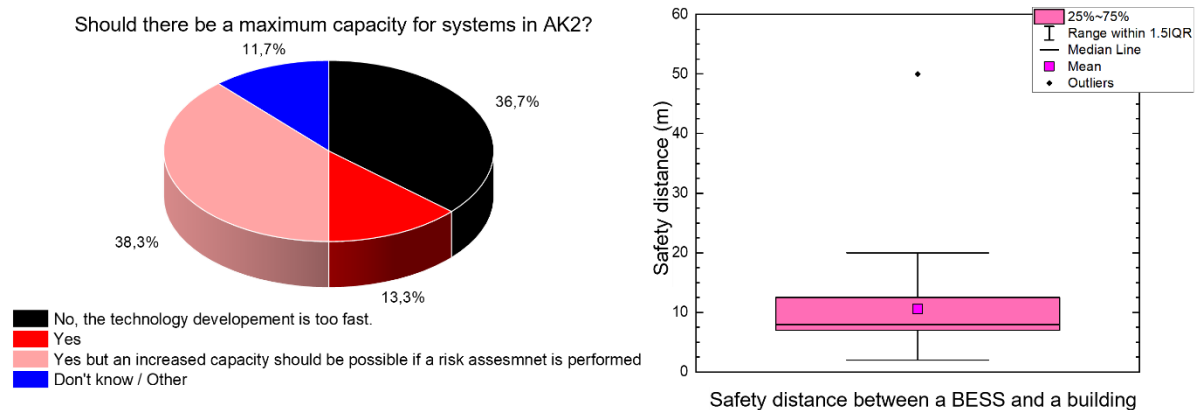


Figure 5. Survey results from the online workshop.

For BESS in AK3, the first question asked was if walk-in units should be treated in the same way as non-walk-in units regarding the safety distance recommendation of 8 m. *Yes*, was answered by 37% and only 8% answered *no*. The remaining participants answered *other*, with the following specifications:

- “Containers are safer, non-walk-in units should be treated as more hazardous.”
- “They are two completely different types of systems and should not be treated the same.”
- “There is no difference between walk-in and non-walk-in units, and they should therefore be treated similar.”

As can be seen in the above list, there were differences in opinion amongst the participants. Hence, the placement and potential consequences of fire and/or explosion should be a prioritised action and the classification of the system, e.g. as a walk-in or non-walk in, was not considered as important.

6 Guidelines

The guidelines presented in Appendix C assume that national (Swedish) laws and building regulations are complied with. These guidelines should thus be used as a supporting tool when the legal requirement updates do not maintain the same pace as the technology and knowledge development, or where an increased level of protection is sought.

It is important to note that insurance companies might have their own rules regarding installations of BESS. Therefore, it is recommended that the relevant insurance company is contacted before applying these guidelines. Additionally, installations of BESS at farms/stables should follow the regulations by *Lantbrukets Brandskyddskomité* [30].

These guidelines are based on the knowledge that was available at the time when the guidelines were written. Due to the rapid development in battery technology, the reader is encouraged to keep up-to-date on regulation revisions which may include BESS.

Furthermore, these guidelines only address BESS with lithium-ion batteries. It has not been included in the work to evaluate whether special requirements should apply to the reuse/remanufacturing of used batteries (second-life).

The following sections include a shortened summary of the guidelines in English, while the full guidelines (in Swedish) can be found in Appendix C. The guidelines are intended for BESS installations on the Swedish market. Responsibilities for property owners and the electrical installation company can be found in the Swedish version of the guidelines.

6.1 Application Categories (AK)

In this work, BESS are divided into three application categories (AK). For further information regarding the AK, see section 4, table 4.

- AK1 BESS for Single-family homes.
- AK2 BESS for Multi-dwelling blocks or businesses.
- AK3 BESS for Large scale commercial applications and mobile BESS.

6.1.1 Safety Assessment, Hazard Mitigation Analysis

For BESS >600 kWh,⁸ it is recommended that a safety assessment is carried out to ensure a satisfactory level of protection. This also applies to all BESS in AK3.

Properties/businesses in AK2 include a large variety of building types, owners and systems applications. An overall safety assessment should always be carried out to identify whether there are risks associated with the BESS in a particular setting.

⁸ Based on recommendations from NFPA 855

For buildings that require fire protection to be dimensioned analytically,⁹ the BESS and the accompanying risks should be included in this analysis. Furthermore, the below recommendations for *best practise* can in many cases be considered basic protection, which is why a simpler evaluation of these should be made for each individual case.

6.2 General Guidelines

For all application categories, it is primarily important to always follow the manufacturers and supplier's product instructions.

During thermal runaway in lithium-ion batteries, large amounts of flammable and toxic gases are released, which in some cases also occurs during a short time. Spaces intended for BESS should therefore be placed so that the smoke or gases from lithium-ion batteries during thermal runaway does not affect the building's main evacuation strategy. A rule of thumb may be to not place BESS within an evacuation route or in spaces that are directly connected to the evacuation route. BESS should also not be placed near sleeping areas.

Internal distances between cells/modules/racks should be designed so that thermal propagation is reduced. Verification of system design against fire can be tested according to, for example, IEC 62619 or UL 9540A.

If technical fire safety installations, detection systems, extinguishing systems, pressure relief, etc., are installed, they should be designed and adapted according to each system's specific needs.

A battery system is normally equipped with contactors that break the current in case of damage or voltage failure. To further ensure that direct current (DC) cables from the battery do not pose a risk during rescue operations they should be clearly marked, and the inverter should be placed in connection with the BESS, or a safety switch for outgoing cables should be installed. It is not always possible to enter a fire-exposed BESS, and the possibility of activating the safety switch from an adjacent space should be investigated in each case. It is important that a safety switch only breaks the outgoing current to maintain the function of critical internal safety systems such as the control system, battery management system (BMS), and heat regulation.

Spaces where a BESS is installed should be provided with signage adapted for the rescue service. Signage provides the rescue service with valuable information that helps them adapt the extinguishing operation to the prevailing conditions at an early stage. At the time of the production of the current guidelines, there was no standardised sign for BESS. When signage for BESS is standardised, that design should be used. The signage should be placed on the outside of the door leading to the BESS. If the BESS is located in a separate building, the sign should be placed on the outer door so that it is clearly visible to the rescue service. If there is more than one door leading to the BESS and which the rescue service may use in the event of an operation, signage should be available on each door leading to the space with BESS.

⁹ *Analytisk dimensionering*, <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/brandskydd/analytisk-dimensionering-med-bbrad/>

6.3 BESS for Single-Family Homes, Private Customers (AK1)

This section is intended for private customers (BESS intended for single-family homes) and is proposed based on that the size of the BESS meets the general needs and application of private customers. Private customers in AK1 are assumed to have limited financial resources and limited knowledge regarding maintenance and service. The guidance is therefore adapted to the knowledge and resources of private individuals so that a satisfactory level of protection can be maintained over time.

For BESS with capacity to supply the average power requirements of a household (during normal operation) for more than 24 hours, the guidelines in AK2 should be applied.

6.3.1 Guidelines (AK1)

- **Placement:** The BESS should not be placed in the primary residence, but rather in a complementary building such as a garage or storage. In some cases, it might be beneficial to place the BESS outdoors. This assumes that the specific product is tested and approved for such use. It is also important to consider any risk involving mechanical impact, such as accidentally being impacted by a car, when deciding on placement.

6.3.2 Best Practice (AK1)

- **Interconnected fire alarms:** Interconnected fire alarms can warn residents of a fire or gas release in spaces where detection otherwise can be delayed, such as garages and storages. Hence, they allow for faster evacuation and response, such as alerting the fire and rescue services at an earlier stage.
- **Preventive ventilation:** Ventilation can be used to reduce the risk of explosion during a thermal runaway in single cells by preventing a gas mixture from reaching a flammable level. The ventilation should not serve any other space than the space that contains the BESS and the exhaust should mouth outdoors.

6.4 BESS in Multi-Dwelling Blocks or Businesses (AK2)

The guidance in this section is aimed at groups of individuals, companies, associations, or other property owners/users. The guidance is designed and based on the BESS size that generally meets the needs and application of these actors. Furthermore, the following recommendations for an extended level of protection (best practise) can in many cases be considered basic, which is why an assessment of these should be made in each individual case.

6.4.1 Guidelines (AK2)

- Placement:** If placed inside a building, the BESS should be installed in a separate fire cell. Furthermore, nothing apart from equipment relating to the BESS should be stored in that space, to protect it from a potential external fire. If possible, it should also be placed at ground level to facilitate fire and rescue efforts.

If placed outside, adherence to an 8-meter separation between buildings, as per BBR 5:61, is required, and alternative protection involves limiting fire spread between buildings to the highest fire cell or firewall standard in each building. However, this does not account for the risk of explosion associated with BESS fires, hence an individual assessment should be conducted to account for e.g. windows or other sensitive parts of the building. Additionally, the BESS placement should consider a safe distance to fresh air intake vents.
- Fire alarm:** Having a fire alarm in and around the space where the BESS is stored can provide a better outlook in terms of emergency evacuation and alerting fire and rescue services during an early stage of the fire. Furthermore, such an alarm can be connected to e.g. a control room where the responsible quickly can be alerted of the unfolding situation.
- Preventive ventilation:** Ventilation connected directly to the outdoors can be used to reduce the risk of explosion, by preventing a gas mixture from reaching a flammable level if one or a few cells go into thermal runaway. This ensures that ventilation can continue in the early stages of thermal runaway even if fire dampers were to activate. Additionally, a negative pressure environment ensures that no flammable or toxic gas can leak through doors or other leakage points.
- Fire gas ventilation:** The fire and rescue services should have the possibility to ventilate fire gases without opening doors that connect the space containing the BESS with the rest of the building.
- Emergency response plan/card:** Contains information about placement, size, emergency break and fire safety installations which can assist the fire and rescue services during an operation. See further section 3.7.

6.4.2 Best Practice (AK2)

- Fire detection and evacuation alarm system:** Fire detection- and evacuation alarm systems allow for early evacuation, and by automatically forwarding the alarm to the emergency services, the chances of preventing fire spread increases. Furthermore, an optical (light) alarm device can be used outside the space containing the BESS to alert individuals that the area is not safe to enter.
- Extinguishing water management:** As fires in lithium-ion batteries can be very difficult to suppress, significant quantities of water might be required. Therefore, the ability to collect and dispose of extinguishing water, to prevent it from escaping to the environment, should be considered before installation.
- Preventive ventilation:** To further reduce the risk of an explosion during thermal runaway the ventilation can be equipped with a spark resistant (high

temperature) fan. However, as ignition sources always will be available (e.g. hot battery cells) inside of the BESS, the risk of explosion cannot be entirely prevented by a spark resistant fan.

- **Activation of fire gas ventilation:** The possibility of activating the fire gas ventilation from a safe location can ensure the safety of fire and rescue personnel, as there is a risk of an explosion when fresh air is let into the room.
- **Explosion relief system:** Systems for pressure relief can reduce the risk of pressure buildup during an explosion, potentially reducing the ensuing consequences.

6.5 BESS for Large-Scale Commercial Applications and Mobile BESS (AK3)

The guidelines below targets businesses, municipalities, and other actors who utilise BESS for commercial use. The guidelines were designed based on the size which typically meets the needs of these actors. Furthermore, it is always recommended to perform a risk analysis for BESS in this category, which should consider at least the following (in terms of fire spread and explosion hazard):

- Distance to other buildings.
- Distance to infrastructure, footways, gathering places, etc.
- Thermal propagation and internal distances within the BESS.
- Distance between separate BESS units.
- Risk of explosion.
- External factors such as weather, wind and mechanical impact.
- Fire and rescue service response time and ability to perform a safe operation.
- Handling of extinguishing water and nearby water protection areas.
- Handling of the BESS and potentially damaged battery cells after a fire.

For AK3, all points below can be considered a baseline recommendation, and hence no best practice is presented.

- **Placement:** It is preferable to avoid placing BESS in this category within buildings. If they are placed inside a building, the building should be a BESS dedicated building. If placed outside, the distance to other buildings should meet the corresponding requirement as towards other buildings (8 m) according to BBR 5:61. A safety distance of less than 8 m could be granted based on analytical dimensioning and should also consider the risk of explosion.
- **Preventive ventilation:** It is recommended that spaces for BESS are well-ventilated to avoid the accumulation of flammable gases within their flammability range, thus reducing the risk of explosion at early stages of thermal runaway.
- **Explosion control:** Buildings and enclosures utilised as BESS can be equipped with explosion relief panels/structures to reduce consequences in case of explosion.
- **Fire gas ventilation:** The fire and rescue services should have the possibility to safely vent fire gases.

- **Detection:** It is recommended that spaces containing BESS are equipped with fire detection. Additionally, gas detection and CCTV have specifically been mentioned as risk reducing measures as they may enable assessment of the state within the BESS enclosure without entering.
- **Fire hose connection/ Dry pipe systems:** Enclosures for BESS can be equipped with a dry pipe system. However, it should be considered that applying water may damage the remaining functioning battery cells and hence prolong the fire and rescue operation.
- **Emergency response plans:** Contains information about placement, size, emergency break and fire safety installations which can assist the fire and rescue services during an operation. See further section 3.7.

7 Conclusions and Future Work

In this study, it was found that there are limitations in the available data for BESS incidents. This makes it difficult to assess the likelihood of an event occurring and also to formulate critical safety measures, which may hamper risk assessments. However, a few serious incidents were found, and lessons learned from these incidents have been highlighted. During thermal runaway in lithium-ion batteries, toxic and flammable gases are released. Non-flaming fires tend to release a higher concentration of flammable gases than flaming fires, which may render a higher explosion risk.

The proposed fire safety solutions for BESS vary greatly across different countries, especially when it comes to safety distances. In Sweden, if the BESS is considered to be a building, the safety distance should be at least 8 m. However, this safety distance only considers fire spread and does not account for the explosion risk. Additionally, the following points were highlighted as very important:

- Safety at cell and system level, i.e., inherently safe designs which limit the thermal propagation through the system (module, pack, rack).
- Placement of the BESS, such as to minimize severe consequences in case of fire.
- Safety signage and emergency plans intended for the fire and rescue service to ease decision making during operation.
- The potential accumulation of flammable gas and the explosion risk should be considered.
- The design and testing of suppression systems is important to ensure that the suppression system installed works well for the specific BESS installation.
- Fire detectors and fire alarms will notify people in the vicinity or within the building and could therefore reduce the evacuation time and save lives. Additionally, CCTV and gas detectors (e.g., H₂, CO) could be used to safely assess the status at the inside of a BESS enclosure without entering.

Guidelines, presented in Appendix C, do not divide BESS based on their capacity but are based on the application. Three different application categories were proposed, but further division of the systems could be beneficial in the future to provide even more detailed guidance. To calculate the probability and risk, it would be important to collect data on BESS incidents and compare them with the total number of existing BESS. In Sweden, collection of data into an incident database, such as the MSB IDA database, would be helpful.

For future studies, a cost-benefit analysis of the proposed safety systems would be supportive if choosing between different systems. It is not clear in the literature how the consequences of an explosion would be affected by the fire cell (a stronger construction) or what impact the possibly prolonged fire scenario found for lithium-ion batteries could have on the rating of the fire integrity. Additionally, standardised signs should be produced so that the emergency services can quickly become aware that there is a BESS in the building. Lastly, there is still work to be done on early detection of lithium-ion battery thermal runaway/fire, design and effectiveness of suppression system, as well as on the dimensioning of ventilation for systems for enclosures with BESS.

References

- [1] M. Aneke, M. Wang, Energy storage technologies and real life applications – A state of the art review, *Appl Energy* 179 (2016) 350–377. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.097>.
- [2] Y. Huang, J. Li, Key Challenges for Grid-Scale Lithium-Ion Battery Energy Storage, *Adv Energy Mater* 12 (2022) 2202197. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/aenm.202202197>.
- [3] Y. Qiu, F. Jiang, A review on passive and active strategies of enhancing the safety of lithium-ion batteries, *Int J Heat Mass Transf* 184 (2022) 122288. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.122288>.
- [4] X. Hu, K. Zhang, K. Liu, X. Lin, S. Dey, S. Onori, Advanced Fault Diagnosis for Lithium-Ion Battery Systems: A Review of Fault Mechanisms, Fault Features, and Diagnosis Procedures, *IEEE Industrial Electronics Magazine* 14 (2020) 65–91. <https://doi.org/10.1109/MIE.2020.2964814>.
- [5] S. Xie, J. Sun, X. Chen, Y. He, Thermal runaway behavior of lithium-ion batteries in different charging states under low pressure, *Int J Energy Res* 45 (2021) 5795–5805. <https://doi.org/10.1002/er.6200>.
- [6] X. Feng, M. Ouyang, X. Liu, L. Lu, Y. Xia, X. He, Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: A review, *Energy Storage Mater* 10 (2018) 246–267. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ensm.2017.05.013>.
- [7] X. Liu, D. Ren, H. Hsu, X. Feng, G.L. Xu, M. Zhuang, H. Gao, L. Lu, X. Han, Z. Chu, J. Li, X. He, K. Amine, M. Ouyang, Thermal Runaway of Lithium-Ion Batteries without Internal Short Circuit, *Joule* 2 (2018) 2047–2064. <https://doi.org/10.1016/J.JOULE.2018.06.015>.
- [8] G. Zhang, X. Wei, X. Tang, J. Zhu, S. Chen, H. Dai, Internal short circuit mechanisms, experimental approaches and detection methods of lithium-ion batteries for electric vehicles: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 141 (2021) 110790. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2021.110790>.
- [9] A.R. Baird, E.J. Archibald, K.C. Marr, O.A. Ezekoye, Explosion hazards from lithium-ion battery vent gas, *J Power Sources* 446 (2020) 227257. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2019.227257>.
- [10] A.W. Golubkov, S. Scheikl, R. Planteu, G. Voitic, H. Wiltsche, C. Stangl, G. Fauler, A. Thaler, V. Hacker, Thermal runaway of commercial 18650 Li-ion batteries with LFP and NCA cathodes – impact of state of charge and overcharge, *RSC Adv* 5 (2015) 57171–57186. <https://doi.org/10.1039/C5RA05897J>.
- [11] A.W. Golubkov, D. Fuchs, J. Wagner, H. Wiltsche, C. Stangl, G. Fauler, G. Voitic, A. Thaler, V. Hacker, Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivin-type cathodes, *RSC Adv.* 4 (2014) 3633–3642. <https://doi.org/10.1039/C3RA45748F>.
- [12] O. Willstrand, M. Pushp, P. Andersson, D. Brandell, Impact of different Li-ion cell test conditions on thermal runaway characteristics and gas release measurements, *J Energy Storage* 68 (2023) 107785. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.est.2023.107785>.
- [13] O. Willstrand, R. Bisschop, P. Blomqvist, A. Temple, J. Anderson, Toxic Gases from Fire in Electric Vehicles, 2020. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-52000>.

- [14] H. Wang, H. Xu, Z. Zhang, Q. Wang, C. Jin, C. Wu, C. Xu, J. Hao, L. Sun, Z. Du, Y. Li, J. Sun, X. Feng, Fire and explosion characteristics of vent gas from lithium-ion batteries after thermal runaway: A comparative study, *ETransportation* 13 (2022) 100190. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.etrans.2022.100190>.
- [15] M.A. Hannan, M.M. Hoque, A. Hussain, Y. Yusof, P.J. Ker, State-of-the-Art and Energy Management System of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicle Applications: Issues and Recommendations, *IEEE Access* 6 (2018) 19362–19378. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2817655>.
- [16] C.O. Aydin, M. Geronimo, Energy storage procurement study, attachment F, 2023. <https://lumenenergystrategy.com/energystorage.html> (accessed August 1, 2023).
- [17] R. Zalosh, P. Gandhi, A. Barowy, Lithium-ion energy storage battery explosion incidents, *J Loss Prev Process Ind* 72 (2021) 104560. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jlp.2021.104560>.
- [18] J.A. Jeevarajan, T. Joshi, M. Parhizi, T. Rauhala, D. Juarez-Robles, Battery Hazards for Large Energy Storage Systems, *ACS Energy Lett* 7 (2022) 2725–2733. <https://doi.org/10.1021/acsenergylett.2c01400>.
- [19] X. Shen, Q. Hu, Q. Zhang, D. Wang, S. Yuan, J. Jiang, X. Qian, M. Yuan, An analysis of lithium induced potential incidents in battery electrical energy storage system by use of computational fluid dynamics modeling and simulations: The Beijing April 2021 case study, *Eng Fail Anal* 151 (2023) 107384. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107384>.
- [20] M. McKinnon, S. DeCrane, S. Kerber, Four Firefighters Injured in Lithium-Ion Battery Energy Storage System Explosion -- Arizona, Columbia, MD, 2020. <https://doi.org/10.54206/102376/TEHS4612>.
- [21] D. Hill, McMicken Battery Energy Storage System Event TEchnical Analysis and Recommendations, 2020. <https://www.aps.com/en/About/Our-Company/Newsroom/Articles/Equipment-failure-at-McMicken-Battery-Facility> (accessed December 6, 2022).
- [22] G. Marlair, A. Lecocq, A. Bordes, P. Christensen, B. Truchot, Key Learnings From Recent Lithium-ion Battery Incidents that have impacted e-mobility and Energy Storage Fast Growing Markets, *Chem Eng Trans* 90 (2022) 643–648. <https://doi.org/10.3303/CET2290108>.
- [23] Elsäkerhetsverket, Informationsbehov och elsäkerhetskrav rörande små- och storskalig energilagring av el, Kristinehamn, 2016.
- [24] J. Conzen, S. Lakshmipathy, A. Kapahi, S. Kraft, M. DiDomizio, Lithium ion battery energy storage systems (BESS) hazards, *J Loss Prev Process Ind* 81 (2023) 104932. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jlp.2022.104932>.
- [25] Räddningstjänsten Jämtland, Solcellsanläggningar och batterilagring, (2021) 1–16. <https://www.rjtamtland.se/wp-content/uploads/2021/05/Solceller-och-batterilagring-Vagledning-och-rekommendationer-20210302.pdf> (accessed December 1, 2023).
- [26] Storstockholms brandförsvär, Solcellsanläggningar och batterilagersystem, 319-728/2019 (2022) 1–16. https://www.storstockholm.brand.se/globalassets/dokument/vagledningsdokument-och-foreskrifter/2022/vl2019-12_vagledning-solcellsanlaggningar-och-batterilagersystem_221206.pdf (accessed December 1, 2023).

- [27] Räddningstjänsten Storgöteborg, Projektering och installation av solcellsanläggningar och batterilagersystem, (2023) 1–10. <https://www.rsgbg.se/globalassets/dokument/rad-och-anvisningar/rad-och-anvisning-122-solceller-och-batterilagersystem.pdf> (accessed December 1, 2023).
- [28] Räddningstjänsten Syd, Råd och anvisning för solcellsanläggningar och batterilagersystem, (2019) 1–7.
- [29] Räddningstjänsten Skåne Nordväst, Råd & Anvisningar för Solcellsanläggningar, (2018) 1–5. <https://media.helsingborg.se/uploads/networks/3/sites/128/2022/09/rad-och-anvisningar-for-solcellsanlaggningar.pdf> (accessed December 1, 2023).
- [30] Brandskyddsföreningen, Elinstallationer i lantbruk och hästverksamhet, Stockholm, 2023. <https://www.brandskyddsforeningen.se/globalassets/lbk/flikar/lbk-flik-5-2023-1.pdf> (accessed November 30, 2023).
- [31] S. Ma, M. Jiang, P. Tao, C. Song, J. Wu, J. Wang, T. Deng, W. Shang, Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: A review, *Progress in Natural Science: Materials International* 28 (2018) 653–666. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2018.11.002>.
- [32] R. Akolkar, Modeling dendrite growth during lithium electrodeposition at sub-ambient temperature, *J Power Sources* 246 (2014) 84–89. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.07.056>.
- [33] Y. Chen, Y. Kang, Y. Zhao, L. Wang, J. Liu, Y. Li, Z. Liang, X. He, X. Li, N. Tavajohi, B. Li, A review of lithium-ion battery safety concerns: The issues, strategies, and testing standards, *Journal of Energy Chemistry* 59 (2021) 83–99. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jechem.2020.10.017>.
- [34] B. Ditch, D. Zeng, Development of Sprinkler Protection Guidance for Lithium Ion Based Energy Storage Systems, Norwood, 2020. <https://www.fmglobal.com/research-and-resources/research-and-testing/~media/58F4DDFC28A146A59D5CEEC18EC4A6A8.ashx> (accessed June 15, 2023).
- [35] J. Hynynen, O. Willstrand, P. Blomqvist, M. Quant, Investigation of extinguishing water and combustion gases from vehicle fires, 2023.
- [36] L.D. Mellert, U. Welte, M. Tuchschnid, M. Held, M. Hermann, M. Kompatscher, M. Tesson, L. Nachef, Risk minimisation of electric vehicle fires in underground traffic infrastructures, 2020. https://plus.empa.ch/images/2020-08-17_Brandversuch-Elektroauto/AGT_2018_006_EMob_RiskMin_Undergr_Infrastr_Final_Report_V1.o.pdf (accessed October 24, 2022).
- [37] M. Held, M. Tuchschnid, M. Zennegg, R. Figi, C. Schreiner, L.D. Mellert, U. Welte, M. Kompatscher, M. Hermann, L. Nachef, Thermal runaway and fire of electric vehicle lithium-ion battery and contamination of infrastructure facility, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 165 (2022) 112474. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2022.112474>.
- [38] F. Amon, J. Gehandler, R. McNamee, M. McNamee, A. Vilic, Measuring the impact of fire on the environment (Fire Impact Tool, version 1) Project report and user manual, 2019. <https://doi.org/10.23699/tmpv-pj71>.
- [39] F. Amon, J. Gehandler, R. McNamee, M. McNamee, A. Vilic, Fire Impact Tool- Measuring the impact of fire suppression operations on the environment, *Fire Saf J* 120 (2021) 103071. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103071>.

- [40] T. Skjold, H. Hisken, S. Lakshmipathy, G. Atanga, M. Carcassi, M. Schiavetti, J.R. Stewart, A. Newton, J.R. Hoyes, I.C. Toliás, A.G. Venetsanos, O.R. Hansen, J. Geng, A. Huser, S. Helland, R. Jambut, K. Ren, A. Kotchourko, T. Jordan, J. Daubech, G. Lecocq, A.G. Hanssen, C. Kumar, L. Krumenacker, S. Jallais, D. Miller, C.R. Bauwens, Blind-prediction: Estimating the consequences of vented hydrogen deflagrations for homogeneous mixtures in 20-foot ISO containers, *Int J Hydrogen Energy* 44 (2019) 8997–9008. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.06.191>.
- [41] R. Peng, P. Ping, G. Wang, X. He, D. Kong, W. Gao, Numerical investigation on explosion hazards of lithium-ion battery vented gases and deflagration venting design in containerized energy storage system, *Fuel* 351 (2023) 128782. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128782>.
- [42] A. Kapahi, A. Alvarez-Rodriguez, S. Kraft, J. Conzen, S. Lakshmipathy, A CFD based methodology to design an explosion prevention system for Li-ion based battery energy storage system, *J Loss Prev Process Ind* 83 (2023) 105038. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jlp.2023.105038>.
- [43] DNV GL AS, Rules for classification: Ships, DNVGL-RU-SHIP Pt.6 Ch.2. Edition July 2020, 2020.
- [44] Transportstyrelsen, Transportstyrelsens riktlinjer för elektrifiering av fartyg, 2023. <https://www.transportstyrelsen.se/globalassets/global/publikationer-och-rapporter/sjofart/riktlinjer-elektrifiering-fartyg.pdf> (accessed December 1, 2023).
- [45] A. Barowy, A. Schraiber, R. Zalosh, Explosion protection for prompt and delayed deflagrations in containerized lithium-ion battery energy storage systems, *J Loss Prev Process Ind* 80 (2022) 104893. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jlp.2022.104893>.
- [46] E. Egeltoft, *Insatskort för energilagring och solcellsanläggningar*, 2023.
- [47] Brandskyddsföreningen, *Insatsplan* 2019, 2019. <https://www.brandskyddsforeningen.se/webbshop/litteratur-och-produkter/insatsplan/> (accessed November 22, 2023).
- [48] S. Shaw, *Energy storage systems based on the IBC, IFC, IRC and NEC*, 2022. https://www.iccsafe.org/wp-content/uploads/Energy-Storage-Systems-Book_FINAL.pdf (accessed November 22, 2023).
- [49] R. Bisschop, P. Andersson, C. Forsberg, J. Hynynen, *Lion Fire II - Extinguishment and Mitigation of Fires in Lithium-ion Batteries at Sea*, 2021. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-57323>.
- [50] J. Hynynen, O. Willstrand, P. Blomqvist, P. Andersson, Analysis of combustion gases from large-scale electric vehicle fire tests, *Fire Saf J* 139 (2023) 103829. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103829>.

APPENDIX A – Safety Standards for Lithium-Ion Batteries

Table A1. A few of the existing safety standards for cells and energy storage systems and tests included

Mode tested	UL			UN	IEC		
	9540A	2054	1642	38.3	62281	62619	62485-2
	Fire safety hazards within BESS	Household and commercial batteries	Lithium batteries	TDG, lithium batteries	Safety of primary and lithium cells and batteries during transport	Secondary cells and batteries	Battery installations, stationary batteries
Vibration		X	X	X	X		
Shock		X	X	X	X		
High temperature	X	X	X				
Temperature cycling		X	X	X	X		
Thermal abuse	X					X	
Thermal propagation	X					X	
External short circuit		X	X	X	X	X	
Internal short circuit						X	
Overcharge				X	X	X	
Forced discharge		X	X	X	X	X	
Cold discharge			X				
Impact/Drop		X		X	X	X	
External fire	X		X				
BMS requirements	X					X	
Protection against electric shock							X
Prevention of short circuit							X
Explosion hazards	X						X
Ventilation	X						X

APPENDIX B – Summary Workshop

Kom ihåg.
Arbetets slutresultat är en VÄGLEDNING
(ej något krav eller på annat sätt bindande att följa)

RI
SE

WORKSHOP

Sammanfattning

Vägledning brandskydd för batterienergilagrar
för att stödja energiomställningen

RISE Research Institutes of Sweden
Jonna Hynynen, Maria Quant,
Ola Willstrand, Oskar Grönlund
2023-10-11

Denna presentation innehåller
sammanfattning från WS den 14
sep (Borås) samt WS 26 sep
(Online). Sammanfattning av
enkätsvar finner ni från s. 37

Deltagare Workshops

RISE	Fortifikationsverket	Räddningstjänsten Storgöteborg
Arise AB	Försvarets Materielverk	Räddningstjänsten Syd
Brand & Redning Sønderjylland	Hovedstadens Beredskap	Senergia
Batterygrid Sweden AB	Högskolan Dalarna	SINTEF
Battery Loop	Iltnatar Solar	Stockholmregionens försäkring
Bengt Dahlgren	If Skadeförsäkring	Stockholm Exergi
Boverket	Kammarkollegiet	Svensk solenergi
Brandskyddsföreningen	Länsförsäkringar AB	Solkompaniet
Brandskyddslaget	LF Östgöta	Solelgrossisten Sverige
Dalarnas försäkringsbolag	Luleå Räddningstjänst	SÄRF
Dansk Beredskaber	Lunds Universitet	Telge Energi
DBI	Malmö stad	Trafikverket
Eisäkerhetsverket	Maple Energy	Utkiken
Energiengagemang	Measol	Vattenfall AB
Enequi	MSB	Vasakronan
E.ON	Northvolt	Volvo Energy
FM	Nordjyllands Beredskab	Winton Energy Group
Fabege	Otovo	WSP
FOI	Recurrent Energy Sweden	Zürich Insurance

RI
SE

Små system - Formulär frågor (Online)

- Begränsning av maxkapacitet
- Rekommendation kring brandskydd samt placering (**lägsta nivå**)
- Rekommendation kring brandskydd samt placering (**best practise**)

Lägsta nivå: Den lägsta skyddsnivån som du anser godtagbart i frågan

Best practice: Optimal skyddsnivå avseende kostnad/nytta. Beakta även vilket underhåll/service som åtgärden medför och som nyttjanderättshavaren förväntas kunna genomföra själv eller har råd att betala för.

Brandbelastning?

“Bilder på garage”

På grund av upphovsrättsliga skäl saknas bilderna i den elektroniska utgåvan.

4.8 kWh modul = 120 MJ (*Lion Fire II, 2021*), 20 kWh ~ 500 MJ

Däck, 27 MJ/kg, ett däck väger mellan 7 – 15 kg = 189 – 405 MJ

Analytisk dimensionering garage = 800 MJ/m²

Total volym gas - Explosionsrisk

Elbil, laptop, batterienergilagrar

1 - 2 L/Ah ≈ 0.6 L/Wh, LEL ~ 6%

Worst-case scenario:

100% SOC och att alla celler går i termisk rusning, och vi inte har någon antändning av gaserna och ingen ventilation.



Produkt	Elbil (V2G/V2H)	Laptop	Energilagrar (litet)
Kapacitet (Wh)	80 000	50	14 000
Rumstorlek med brännbar blandning med takhöjd 2.5 (m ²)	320	0.2	56

Risk elbil kontra BESS?

Frågor: Begränsning av maxkapacitet

- Är begränsning av maxkapacitet rätt väg för att minska:
 - Konsekvenserna vid brand?
 - Risken för explosion (mängd brännbar gas vid 20 kWh)?
- Hur tänker vi när en elbil i samma utrymme kan ha en betydligt högre kapacitet?
- Utveckling går fort, finns det en risk att den valda gränsen för en eventuell maxkapacitet "åldras dåligt"?

Avstånd till brännbart

Ditch Zeng, "Development of Sprinkler Protection Guidance for Lithium Ion Based Energy Storage Systems", FM Global, 2019

		Med sprinkler		Utan sprinkler	
		Ej brännbart	Brännbart	Ej brännbart	Brännbart
LFP	31 kWh			<0.9 m	1.2 m
	83 kWh	0.9 m	1.5 m	1.2 m	1.8 m
NMC	47 kWh			1.2 m	1.8 m
	125 kWh	1.8 m	2.7 m	2.4 m	4.0 m

RI
SE

Brandcellsindelning

Allmänt råd:

Utrymmen i byggnader med verksamhet som **medför stor sannolikhet för uppkomst av brand** och där en sådan kan få stora konsekvenser för utrymningssäkerheten bör delas in i egna brandceller. **Sådana utrymmen kan vara lokaler där man utför heta arbeten, garage, avskilda pannrum, storkök, avfallsrum och liknande**

Föreskrift:

Brandcellsindelning får helt eller delvis ersättas av brandtekniska installationer. (BFS 2011:26)

Medför batterienergilagring "stor sannolikhet för uppkomst av brand"?

Statistiken är bristfällig p.g.a. att det är en relativt ny teknik.

RI
SE

Säkerhetsavstånd funna i vägledningarna från andra länder

- 5 m från annan byggnad (med lägst EI 30), om distansen är 10 m eller mer så krävs ingen brandsektionering (EI 0). (NL)
- För "walk-in-units" ska batterienergilagret placeras minst 3 m från exposures (byggnader, gångvägar etc.). Distansten kan reduceras till ~ 0.9 m om barriär motsvarande EI 120 används. (NFPA)
- Maxkapacitet på 600 kWh om byggnaden ej är dedikerad för batterienergilagring. (NFPA & DK) Med sprinklersystem 1200 kWh. (DK)
- Säkerhetsavstånd till batterienergilagring >600 kWh, bör vara minst 5 m till yttervägg (EI 60). (DK)
- Interna säkerhetsavstånd bör vara minst 1 m mellan varje enhet om max 50 kWh/enhet (samt minst 5 m mellan varje installation med en samlad kapacitet av 600 kWh). (DK)
- Vid kapacitet >600 kWh ("i byggnad") rekommenderas brandsektionering av EI 120, och ett avstånd om minst 5 m mot yttervägg med EI 60, samt att det finns brandgasventilation. (DK)
- Minst EI 60 för batterienergilagring större än 20 kWh. (DK)

RI
SE

Frågor kring: Säkerhetsdistanser och åtgärder att förenkla insats.

- Rekommendation kring brandskydd samt placering (lägsta nivå, **se förklaring nästa sida**)
- Rekommendation kring brandskydd samt placering (**best practise**, **se förklaring nästa sida**)
- Vad bör man beakta för räddningstjänst insats?
- Betraktas en container som byggnad, distans om 8m? Beaktas en "icke walk-in unit" som byggnad?
- Ska samma säkerhetsavstånd gälla för mellan och stora BESS inomhus/utomhus. Svårt med 8 m distans?!

RI
SE

Lägsta nivå: Den lägsta skyddsnivån som du anser godtagbart i frågan

Best practice: Optimal skyddsnivå avseende kostnad/nytta. Beakta även vilket underhåll/service som åtgärden medför och som nyttjanderättshavaren förväntas kunna genomföra själv eller har råd att betala för.

RI
SE

Kort sammanfattning från workshop 1 (Borås, 14 sep)

Maxkapacitet för små system

- inget behov

Placering

- baskrav gällande avstånd till brännbart material etc. bör gälla eller en riskanalys
- inga rekommendationer gällande interna avstånd av batterier, upp till tillverkare

Brandskydd små system

- Märkning samt kommunicerande brandvarnare är rimliga krav

Brandskydd mellan och stora system

- Att sätta några grundkrav istället för en riskanalys kommer leda till en mer jämn nivå nationellt
- Avsteg är möjliga om samma skyddsnivå kan uppfyllas (RA)

Brandcell

- Skyddar mot brandspridning (internt och externt)
- Kan möjligen öka risken för/vid explosion

RI
SE

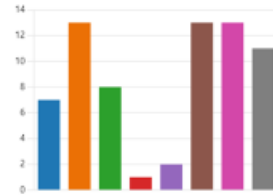
Enkät svar från 26 sep (Online)

68 svarande

1. Vilken typ av företag/organisation tillhör du?

Mer information Inskickat

- Konsultbolag 7
- Försäkring 13
- Fastighetsägare 8
- Batteritillverkare 1
- Bliindustri/BESS tillverkare 2
- Energiindustri 13
- Räddningstjänst, Myndighet 13
- Annat 11



Enkät summering – SMÅ System

Bör det finnas en maxkapacitet?

Vilken maxkapacitet isf?

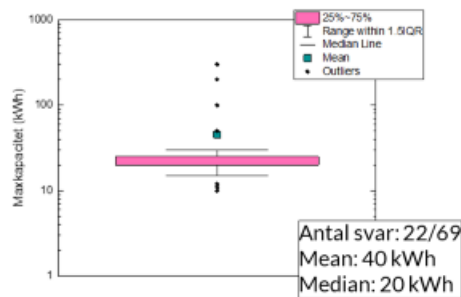
2. Tycker du att det bör finnas en begränsning på systemets maxkapacitet för batterilagrar som ska användas i småhus?

Mer information

- Ja 30
- Nej 23
- Vet ej 15



Industri	Antal JA-svar / Totalt antal svar
Batteri/bi/BESS Industri	2/4
Energiindustri	3/13
Fastighetsägare	1/8
Försäkring	13/15
Installatör	1/4
Konsult	3/6
RTJ, Myndighet	7/14
Övriga	2/5



Deltagare från försäkringsbranschen övervägande positiva till maxkapacitet

Enkät summering – SMÅ system

Vilken rekommendation anser du som rimlig för SMÅ batterilagrar (produkt t.ex. Tesla Power Wall, Huawei etc.) som används i t.ex. småhus, garage etc.?

MEST viktigt



MINDRE viktigt

REKOMMENDATION LÄGSTA NIVÅ

- Följa tillverkarens instruktioner
- Skyllning/märkning
- Säkerhetsavstånd till brännbart
- Kommunicerande brandvarnare
- Reglera placering
- Krav på ventilation
- Brandteknisk avskiljning
- Handbrandsläckare

REKOMMENDATION BEST PRACTISE

- Skyllning/märkning
- Kommunicerande brandvarnare
- Säkerhetsavstånd till brännbart
- Reglera placering
- Krav på ventilation
- Brandteknisk avskiljning
- Handbrandsläckare

Enkät summering – SMÅ system

6. Vilken rekommendation anser du som rimlig gällande placering av "små system"?

[Mer information](#)

Gradera alternativen, där 1 är mest rimlig och (-) "ej att rekommendera". Om två alternativ är lika rimliga så kan dessa graderas med samma siffra.

1 2 3 4 5 -

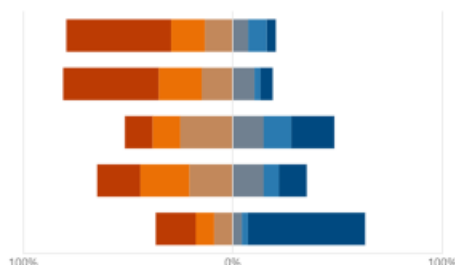
Placering utomhus (förutsatt att produkt är testad och godkänd för detta)

Placering i annan byggnad än bostaden (garage, förråd etc.)

Ingen ytterligare rekommendation än tillverkarens

Att likställa energilagrar med t.ex. eldstad (reglerar avstånd till brännbart)

Annan



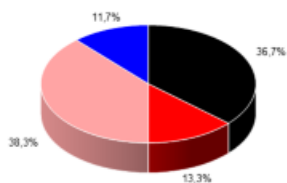
Svar för "Annan":

Minst EI30, undvik placering inomhus, skydda mot väder/vind/sol/temperaturväxlingar

RI
SE

Enkät summering – MELLAN system

Bör det finnas en maxkapacitet?



Nej, Utveckling går för fort. Det är inte lönsamt att begränsa efter storlek

Ja, det bör specificeras en maxkapacitet

Ja, fast system med större kapacitet kan vara ok om RA genomförs

Annan

Industri	Antal JA-svar / Totalt antal svar
Batteri/VA/BESS industri	1/2
Energiindustri	8/14
Fastighetsägare	0/7
Försäkring	9/13
Installatör	0/3
Konsult	7/7
RIJ, Myndighet	5/12
Annan	6

Annan (angett av dem som har svarat på enkäten): Säkerhetsåtgärder borde snarare baseras på placeringsutrymme, omgivning och riskanalys enligt given mall.; Utvecklingen går fort, och batterier kommer att vara en förutsättning för fossilfri elektrifieringen (upp mot 330 TWh behov år 2045). Då är det bättre att öppna upp för större installationer via riskanalys.; Man bör heller vurdere basert på batterikemi och type batteri heller enn størrelse; Maxkapaciteten borde kunna "stegras" från år till år med en rättning vart 5 år exempelvis för att följa utvecklingen.; Ok med större system vid riskanalys, men även här bör det finnas en gräns. Märker man att reglerna är utdaterade får man uppdatera när det är lämpligt.; Krav bör baseras på kapacitet, kWh. Kraven bör bli progressivt mer ju större anläggget är. Krav via lag på tillåtelse, bör också baseras på kapacitet.

RI
SE

Enkät summering – MELLAN system

Vilken rekommendation anser du som rimlig för batterilagrar för MELLAN mindre industrier, kontorsbyggnader, lägenhetshus, jordbruk etc.?

	REKOMMENDATION LÄGSTA NIVÅ	REKOMMENDATION BEST PRACTISE
MEST viktigt	Skytning/märkning	Skytning/märkning
	Separat ventilation ut mot det fria	Säkerhetsavstånd
	Säkerhetsavstånd	Brandvarnare, Brand och Utrymningslarm
	Brandteknisk avskiljning	Separat ventilation ut mot det fria
	Brandvarnare, Brand och Utrymningslarm	Brandteknisk avskiljning
	Riskanalys	Riskanalys
	Placering utomhus	Placering utomhus
MINDRE viktigt	Automatiskt släcksystem	Automatiskt släcksystem

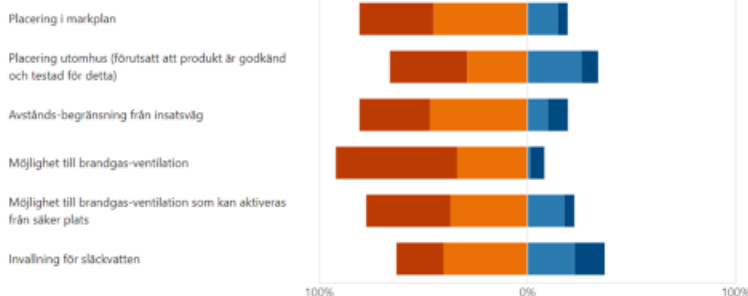
RI
SE

Enkät summering – MELLAN system

5. Vilka åtgärder bör vidtas för att möjliggöra räddningstjänstens insats?

Mer information

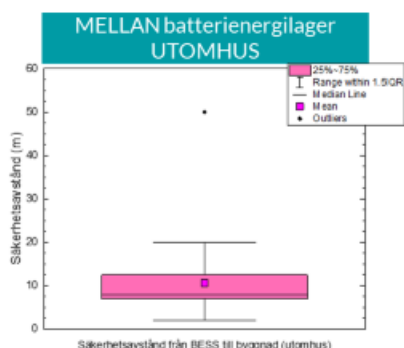
Mycket viktigt Viktigt Mindre viktigt Vet ej



RLSE

Enkät Summering – MELLAN System

Vilken rekommendation anser du som rimlig avseende avstånd till byggnad (system som placeras utomhus), fönster, brännbar fasad kontra obrännbar fasad etc.?



Notering: Ett batterienergilagert klassas inte alltid som byggnad

Kommentarer (givna av de som svarat på enkät):

- Finns redan beskrivet i BBR5:61 (analytisk dimensionering) (bara om det räknas som byggnad!!!)
- Beror på klassning och vad för säkerhetssystem som är installerat.
- Ej mot brännbar fasad/beklädnad
- 8m till övrig byggnad förutsatt att batterihuset är EI60
- Det beror på systemets konstruktion och hur det är uppbyggt (larm, integrerat släcksystem osv), det skiljer sig mellan tillverkare. Har installerat en del Huawei container lösningar och dom har väldigt tydligt angivet avstånd beroende på om det är bostadsområde, industri, lager osv.
- 8 meter (inget krav på fasad) 0 meter (brandklassad fasad obrännbar fasad utan öppningar)
- Vid placering i container är frågan inte superviktig då man då ska tänka att det ska brinna genom containern och sedan in genom yttervägg. Men för säga nått med tanke på att det kan vara byggnad med brännbar fasad minst 6 meter.
- Om det fins EI120, 1-2m eller minst 5m.
- Beror på var placering sker, men längre avstånd vid tätbebyggt område pga brand och rök.
- Detta blir bero på skyddsvärdet i intilliggande objekt. Normalt 8-10 meter beroende på batteristorlek och utformning för att ta höjd för både strålningsvärme och i viss mån även påverkan från batterigasexplosion.
- Vid obrännbar fasad utan fönster och ventilationsöppningar 10m avstånd. Vid brännbar fasad med fönster 20m
- minst 8m, gärna 15m. Flera tillverkares släckplan är flera timmars vattenläckning vilket innebär att EI60 och dylikt brandklasser bara är tillför att hinna utrymma personal men ingen av klasserna kommer se till att egendom inte skadas. Så brandseparering fungerar inte då energilagert både kan vara en orsak till brand och förlängning av brandförlopp. Håll det separat från övrig verksamhet.
- Jag tycker att säkerhetsavstånd generellt måste klargöras mot brandklassning. T.ex så kan man fråga sig om det är en skillnad på placering 1 meter från en vägg en brandcell med EI60 till nästa rum, jämfört med om det är en egen brandcell utomhus med EI60, varför skall den inte kunna placeras ca 1 meter från nästa byggnad?
- Bör rekommenderas att avgöras med en riskanalys.

Enkät Summering – MELLAN System

8. Vid placering utomhus

Bör brandteknisk klass godtas som alternativ utformning till skyddsavstånd?

Mer information

Ja 37
Nej 6
Vet ej 19



Notering: Ett batterienergilagert klassas inte alltid som byggnad

Kommentarer (givna av de som svarat på enkät):

- Beror på avståndet, EI60
- Tillräckligt för att RTJ ska hinna påbörja insats och förhindra spridning.
- Beroende av skyddsvärde i mottagande objekt, EI60 som utgångspunkt bör dock vara rimligt. RA bör kunna påvisa andra klasser. Hänsyn bör dock även tas till explosionstryck, i form av bortvänd tryckavlastning el.dyl.
- Finns redan beskrivet i BBR5:61
- EI 60 används traditionellt i Sverige. Ej lägre om det ska utgöra skydd mot fullskaligt brandförlopp.
- Samma som för invändig placering. Kanske Ei60

MELLAN batterienergilagert
UTOMHUS

Industri	JA / NEJ / VET EJ
Batteri/bil/BESS industri	1 / 1 / 0
Energiindustri	9 / 0 / 6
Fastighetsägare	3 / 0 / 4
Försäkring	10 / 2 / 1
Installatör	2 / 1 / 0
Konsult	6 / 0 / 1
RTJ, Myndighet	4 / 2 / 6
Annat	2 / 0 / 0

Vilken klass?
EI 60 = 17 svar
EI 120 = 7 svar

Enkät summering – MELLAN system

Vid placering inomhus, Bör det finnas rekommendation på avstånd till brännbart material och vilket avstånd till brännbart material anser du som rimligt?

MELLAN batterienergilagrar
INOMHUS
11 endast JA svar, 1 NEJ svar

(svar från dem som svart på enkät)

Separat ventilation till batterirum, e120 eller ei120 walls

beror på mängden brännbart material och hur resten smittar av sig vid brand. situationsanpassat

Så länge det finns tillräcklig EI så anser jag att det endast behöver vara fritt från brännbart material i det utrymme/rum som anläggningen är i.

6m

Ja, det bör finnas en rekommendation. Avståndet beror på vilken typ av brännbart material.

Som jag tror nämndes i presentationen bör ingen annan utrustning och/eller brännbart material finnas i utrymmet/rummet där BESS installeras.

Bör finnas en undre gräns för systemstorlek. Anläggningar under 20-25 kWh bör ej regleras.

Definitionsfråga på brännbart material. T.ex. så kan en växelriktare säkert anses vara brännbart material, den får dock inte stå för långt från energilagret ~1.5 meter.

Egen brandcell med endast batterilagarsystem, typ eldriftrum

Ja, 5 meter

1.5 meter

Fortsättning nästa sida

Skall inte vara brännbart material i samma utrymme

Ja, beror på storlek på varje batteripack/batterimodul

Ja det bör finnas. 8m

Svårt med avstånd, kanske mer viktigt att sätta en gräns på hur mycket det får vara i detta utrymme.

titta på riktlinjer för truckladning

Batterier bör vara i egen brandcell EI120 inom byggnad och i denna brandcell bör det inte förvaras brännbart material oavsett avstånd

Ja, beroende av batteri/modul/rack-utförande men generellt känns de riktlinjer som finns i ex. NFPA 855 rimliga. Bör även kunna hanteras i RA.

Enkät summering – MELLAN system

MELLAN batterienergilagrar
INOMHUS
11 endast JA svar, 1 NEJ svar

BBR reglerar inte den typen av frågor. Däremot bör det regleras vilket ytskikt som är rimligt. Det skulle kunna vara rimligt att för denna storlek av BESS reglera att verksamheten i utrymmet ska vara dedikerad batterilagrar, dvs motsvarande vad som gäller för fläktrum.

Ja men kanske inte en prioriterad åtgärd. Bör ha samma regler som elcentraler etc att utrymmet inte ska användas för annat. Rimligt att lager om t.ex. >200 kWh betraktas som driftrum och har bättre ytskikt osv. höjlet bör ge visst skydd mot utvändigt brandpåverkan.

Beror på ventilation/släcksystem etc

Brännbart material placeras i andra rummet

Går inte att svara på utan mer erfarenhet/kunskap. Det är dock inte så enkelt som att jämföra med en eldstad.

10m

1-2 meter

Ja det bör finnas. Danska och Holländska riktlinjerna känns rimliga.

Om det ska placeras inomhus bör relativt stora anlägg placeras i egen brandcell, tillsammans med goda ventilationsmöjligheter som automatiskt ventilerar ut explosionsfarliga gaser vid detektion.

10 m

Ja det bör finnas. Avståndet bör ligga runt 1,2 meter ungefär samma som betjäningstrymme.

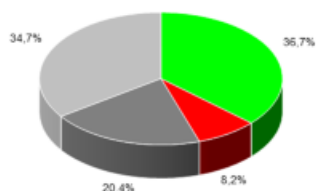
Det ska inte placeras inomhus, om det placeras inomhus ska det finnas sprinklersystem med egen brunn. Som kan se till att vatten kan användas under flera timmar. EI klasserna bör finnas till för att hinna utrymma personal men annars kommer de inte hjälpa mot branden.

RISE

Enkät summering – STORA & MOBILA

Anser du att "walk in" och icke-"walk in" batterienergilagrar ska behandlas likvärdigt avseende säkerhetsavstånd, så som avstånd till annan byggnad?

Ja
Nej
Vet ej
Annat



Industri	JA / NEJ / VET EJ
Batteri/bil/BESS industri	0 / 0 / 0
Energiindustri	4 / 2 / 2
Fastighetsägare	1 / 1 / 2
Försäkring	9 / 2 / 2
Installatör	2 / 0 / 0
Konsult	0 / 0 / 2
RTJ, Myndighet	4 / 1 / 2
Annat svar:	22 (se svar nästa sida)

RISE

Fortsättning från föregående sida

Anser du att "walk in" och icke-"walk in" batterienergilagrar ska behandlas likvärdigt avseende säkerhetsavstånd, så som avstånd till annan byggnad?

Ja, borde i stället styras av batterilagrets konstruktion.	
nej. Container enligt def med stålplåt min 2 mm är bättre o bör primeras	(svar från dem som svarat på enkät)
Om inneslutning med viss brandklass, så bör avståndskrav anpassas till detta.	
Det beror på även andra systemfaktorer, hur det är uppbyggt som helhet med komponenter osv.	
rekommenderat inte icke walkin container pga stora brand risk med stora installation. bättre med walkin lösningar med automatik släcksystem när öppna dörrar.	
Om det ska vara 8 meter pga att det är i en container och därmed byggnad känns lite fel. Risken för brand i en byggnad och konsekvenser av den branden är sällan lika stor som konsekvens av en brand i ett batterilager. Där vore det bra att sammanställa alla bränder som varit. Om RISE inte kan göra det kanske Utikiken kan.	
klassas likvärdigt avseende brandspridningsrisk	
Disse må behandles ulikt avhengig av klassifisering på kontainer og innpakning.	
Batterilagret bör inte klassas som byggnad. Avstånd mellan battericontainrar (icke walk-in) på ca 3-4 meter anser vi rimligt. 8 meter anser vi vara orimligt stort avstånd mellan battericontainrar (icke walk-in). Om walk-in klassas som byggnad så bör dessa inte behandlas likvärdigt med icke walk-in avseende säkerhetsavstånd.	
Ja om det är risken för brandspridning till annan byggnad som avses. Huruvida det är en container eller en container man kan gå in i spelare ju ingen roll i brandspridningshänseende. Sen kan man juni praktiken (utifrån BBR) argumentera för att inget avstånd behövs mellan containrar om man ändå hade fått bygga ihop dem i samma byggnad	
Lika. 6-8 meter är rimligt för båda lösningarna	
Om dom har samma effekt så tycker jag det.	
Det bör helt bero på utförandet i de aktuella fallen (primärt hur sektionerad walk in enheten är) kontra hur "öppet" det är mellan icke-walk-in systemets rack. Bedömning i ev. RA bör utifrån ovan ta hänsyn till troligt brandförlopp och spridningsrisk.	

RISE

Fortsättning från föregående sida

Anser du att "walk in" och icke-"walk in" batterienergilagrar ska behandlas likvärdigt avseende säkerhetsavstånd, så som avstånd till annan byggnad?

(svar från dem som svarat på enkät)

Ja, minst 8m för minimera brand till energilagrar och brandspridning från energilagrar. Invärtes avstånd i installationen enligt tillverkarens rekommendationer men mellan energilagrarinstallation och andra byggnader ska det vara ett säkerhetsavstånd oavsett om det är walk-in eller icke walk-in.	
Vid placering i det "fria" så anser jag att interna bestämmelser på säkerhetsavstånd mellan komponenter bör ligga hos tillverkarens rekommendationer. Avstånd till annan byggnad bör dock hanteras inom brandklassutvärdering.	
Likvärdigt ja, ser inte skillnaden på energilagrets betydelse på dom 2 modellerna. Däremot container borde ha lägre riskklass. vid krav på 8m kommer installationer vara betydligt svårare att elektrificera Sverige. då detta kommer vara mycket svårt att uppfylla i många fall där man är nära stora förbrukare/samhällen där mark är svårt att få. krav på 8 meter = nej, rekommendation på 8 m är mer ok.	
Likvärdigt. Tänker att både walk in och icke walk in kan ha samma skydd i väggarna t.ex (om man väljer att utföra dem så). Så det handlar väl om hur man utför de olika förvaringsmöjligheterna.	
Rent krasst spelar det ingen som helst roll huruvida du kan gå in i en container eller ej. Risk för brandspridning är den samma.	
Detta beror på typ av container och om denna har någon form av brandklassning.	
Det är två helt olika system och bör därför hanteras därefter.	
Nej, hur man minskar propageringsrisken bör gå framför ett specifikt avstånd. Dvs, en brandteknisk avskiljning bör kunna göra att avstånden görs mindre.	
Det borde bero på brandklassning av kapsling / container / utrymmet den är placerad i. Uppfyller containers exempelvis Ei60? Borde väl vara relevant.	

RISE

Enkät summering – STORA

Vilken rekommendation anser du som rimlig för batterilagrar för större industrier, produktionsbolag, elnätsföretag etc.?

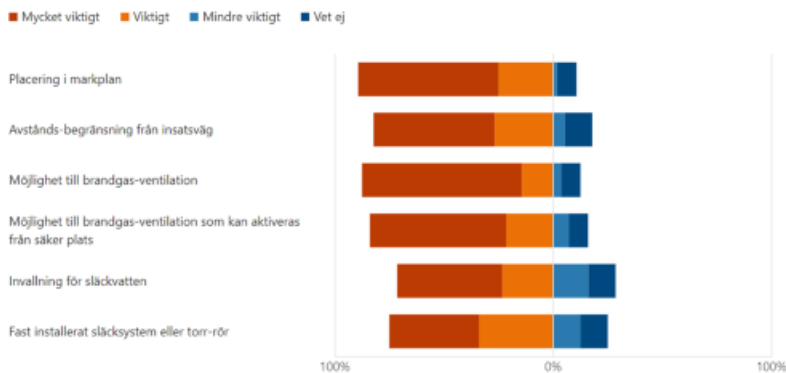
MEST viktigt	REKOMMENDATION LÄGSTA NIVÅ	REKOMMENDATION BEST PRACTISE
↑	Skytning/märkning	Skytning/märkning
	Skyddsavstånd till annan container/byggnad	Skyddsavstånd till annan container/byggnad
↓	Brandvarnare, Brand och Utrymningslarm	Separat ventilation ut mot det fria
	Separat ventilation ut mot det fria	Brandvarnare, Brand och Utrymningslarm
	Brandteknisk avskiljning	Brandteknisk avskiljning
MINDRE viktigt	Automatiskt släcksystem	Automatiskt släcksystem

RISE

Enkät summering – STORA system

4. Vilka åtgärder bör vidtas för att möjliggöra räddningstjänstens insats?

[Mer information](#)



RI
SE

Enkät summering – STORA & MOBILA

Finns det något annat som kan underlätta eller möjliggöra räddningstjänstens insats?

(svar från dem som svarat på enkäten)

utbildning till räddningstjänsten om batterier och brandteknisk
 Detaljerad karta placerad på avstånd från byggnaden för att kunna orientera sig inför släckning.
 Krävs uppenbarligen inte om det är många separata containrar.
 Elektrisk fränskiljning från säkert avstånd.
 Att fränkoppla HSP på ett säkert sätt för räddningstjänsten.
 Förslag på det skulle vara att räddningstjänsten sköter fränkoppling då dom med stor sannolikhet är först på plats. Då bör det finns i anslutning till batteripark en anslutningspunkt med nödfränkoppling i form av en lastfränskiljare. Ska detta göras säkert så måste ESA ta fram regler för nödfränkoppling av batterilager av räddningstjänsten, då jag anser att en traditionell fränkoppling via nätbolag med bevisväxling tar för lång tid att utföra när det råder brand i ett batterilager
 Se till att de har grundinfo om ditt system ex. genom bra dokumentation och/eller platsbesök
 Bör man låta BESS brinna upp pga stora utmaningar med kontaminerat släckvatten som går ner i grundvattnet? Och för att möjliggöra detta ställa krav på säkerhetsavstånd.
 Att ha två tillfartsvägar så räddningstjänst kan komma åt för släckningsarbete utan att behöva utsättas för rökgaser.
 Ha med räddningstjänsten i utvecklingen av batteriparken så samtliga parter är nöjda med säkerhetsavstånd, släcksystem, branddetekteringsystem, all typ av mätning (sensorer), rutiner, krisplan osv.
 Möjlighet till "bortforsling av container" under insats från övriga container
 Skytning och inte möta utrymmande personer i större mängder för att nå lagret. Viktigt med vattensläckning för batterierna för att minska riskerna för en stor brand. Ha inte driftrum i samma utrymme som energibatterilager.

Fortsättning nästa sida

RI
SE

Fortsättning från föregående sida

Enkel och tydlig märkning. Samverka med räddningstjänsten innan vi installation.
 Möjlig högeffektiv ventilation styrd av detektion av brännbar gas. (Tänkt att minska risken för att eventuell termisk rusning med utebliven brand leder till explosion, återigen osäker på om det är ekonomiskt försvarbart.)
 Hass och temperatur sensorer i containrar som leses av på utsida. Utvendig tillkobling för slukkevann
 Svarene ovanför er väldigt avhengig av om batteriene står i containere ute, eller om de står inne i et bygg. F.ex er automatiske slukkesystemer ikke like kritisk dersom et stort batterisystem står ute og det er god avstand til andre bygg og mennesker. Da vil det normalt også være lettere tilgang for brannjeneste.
 Anmälan, orienteringsritning, instatsplan.
 Anmälningsskildring= situationplan till RST
 Fri väg runt om för att beakta vindriktningen.
 Krav på insatsplan
 Tillgång till släckvatten för det kommer att behövas mycket för att kyla batterierna. Krav på vattensprinkler
 Räddningsplan på plats, obligatorisk årlig genomgång med lokalt brandförsvaret för eventuell brandåtgärd. Vart sitter nödstopp vart går det att stå på ett säkert avstånd, vart kan vatten kopplas på för torr-rören.
 Insatsplan, skadebegränsande åtgärder typ skyddsavstånd mellan moduler
 Säkerställd tillgång till vatten, tillräckligt utrymme för insats, nationellt harmoniserade insatskort med orientering, systeminformation och insatsvägledning, möjlighet till avläsning av gasdetektion inuti batterirum/-container som beslutsunderlag vid insats (avs. risk för ex-atmosfär).
 Många räddningstjänster är oroad över elfaran och kräver något form av nödstopp. Det kan diskuteras hur effektivt detta är, då man ej kan bryta bort all spänning. I regel är det bättre med system som har brandavskiljning inom containern alternativt att batterierna är placerade i separata skåp med avskiljande förmåga.
 Skytning, information/insatsplan
 Vid projektering så ska an ta hänsyn till insatsvägar om det är fler containrar t.ex. Varbergenergi som nu installerar 20MWh/10MW 10st battericontainrar, 50st fristående växelriktare osv. Finns risk när det blir så stor att man "bygger in" saker.
 Översiktsplan/situationsplan som underlättar insats. Beskriver installationen och dess utbredning och angreppspunkter.
 Insatsplan för objektet

RI
SE



APPENDIX C – Brandteknisk Vägledning för Batterienergilager med Litiumjonbatterier



Oskar Grönlund, Maria Quant, Marcus Rasmussen,
Ola Willstrand, Jonna Hynynen

Detta dokument är en bilaga till RISE Report 2023:117, *Guidelines for the fire protection of battery energy storage systems*, 2023

Innehåll

Inledning	2
Nomenklatur	3
Applikationskategorier (AK)	4
Allmänt för Batterienrgilager	5
Vägledning AK1	6
Utökad Skydds nivå	6
Vägledning AK2	7
Utökad Skydds nivå	9
Vägledning AK3	10

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport 2023:117

ISBN: 978-91-89896-04-8

2023

Utfört av RISE Research Institutes of Sweden: Jonna Hynynen, Marcus Rasmussen, Maria Quant, Ola Willstrand och Oskar Grönlund

Granskat av: Franz Evegren (Enhetschef Brandsäkertransport)

Projektet är finansierat av FORMAS – Ett forskningsråd för hållbar utveckling (no. 2022–02015).

Vi tackar följande projektpartners:

Polarium Energy Solutions AB genom Christer Lindkvist

Vattenfall AB genom Magnus Berg, Monica Löf, Mouaz Al Hamwi, och Ulrika Morild,

samt referensgrupp: Bengt Dahlgren, Brandskyddsföreningen, Brandsskyddslaget,

Länsförsäkringar, Räddningstjänsten Luleå, Räddningstjänst Storgöteborg,

Räddningstjänsten Syd, Storstockholms brandförsvaret, Södra Älvsborgs

Räddningstjänstförbundet, Totalförsvarets forskningsinstitut FOI, Utkiken samt Volvo Energy,

för ert deltagande i detta projekt.

Inledning

Denna vägledning förutsätter att aktuella lagar och byggnadsregler efterlevs. Vägledningen ska således nyttjas som ett stöttande verktyg då uppdatering av lagkraven inte håller samma takt som teknik- och kunskapsutvecklingen, eller då en förhöjd skyddsnivå eftersträvas. Det bör också uppmärksammas att försäkringsbolag kan ha egna riktlinjer för uppförandet av batterienergilagrar vilket bör kontrolleras innan installation. För installationer i lantbruk och hästverksamhet hänvisas läsaren till *Elinstallationer i lantbruk och hästverksamhet* [30].

Anläggningsinnehavaren har ansvar för att de fasta elinstallationerna är säkra. Innehavaren är den som äger eller har nyttjanderätt för en fastighet eller lokal. Enligt Elsäkerhetsverket är alla innehavare till elanläggningar är skyldiga att:¹

- *kontrollera att den som ska utföra elinstallationsarbete på anläggningen finns i Elsäkerhetsverkets register över elinstallationsföretag.*
- *ge elinstallationsföretagen som anlitas den information om anläggningen och arbetet som behövs.*
- *fortlöpande kontrollera anläggningen och den elektriska utrustning som anslutits till den.*
- *fastställa rutiner för den fortlöpande kontrollen.*
- *åtgärda anläggningen om brister upptäcks.*

Elinstallationsföretaget har följande skyldigheter vid arbete på anläggningen:¹

- *ta reda på vilka förutsättningar som råder för arbetet så att utförandet blir rätt.*
- *utföra elinstallationsarbetet på rätt sätt.*
- *utföra arbetet i enlighet med företagets egenkontrollprogram.*
- *se till att bara personer med auktorisation som elinstallatör eller andra personer som omfattas av företagets egenkontrollprogram utför elinstallationsarbetet.*

Vägledningen är baserad på och författad med den kunskap som fanns tillgänglig vid tiden då vägledningen skrevs.² På grund av den snabba utvecklingen av batterienergilagrar och batteriteknologin uppmanas läsaren att hålla sig uppdaterad om ny kunskap och revideringar av riktlinjer, standarder etc. samt tillämpningen av dessa.

I den bakomliggande litteraturstudien och under utförda workshops gjordes bedömningen att en vägledning baserad på kapacitet tidigt skulle bli inaktuell med hänsyn till den snabba teknikutvecklingen. En kapacitetsbaserad vägledning riskerar även att begränsa användaren från att vara självförsörjande av el vid en kris som resulterar i ett långre elavbrott.

Vägledningen behandlar enbart batterienergilagrar med litiumjonbatterier. Vägledningen har inte beaktat riskreducerande åtgärder som berör val av cellkemi eller konfiguration av celler och moduler, utan har en konservativ utgångspunkt utifrån dagens kommersiella litiumjonbatterier. Det har heller inte ingått i arbetet att utvärdera huruvida särskilda krav ska gälla för återanvändning av batterier (second-life).

¹ Elsäkerhetsverket, *Din anläggning – ditt ansvar*, <https://www.elsakerhetsverket.se/yrkespersoner/aga-en-elanlaggning/din-anlaggning-ditt-ansvar/>

² Bakgrundsinformation finns i tillhörande litteraturstudie, *Guidelines for the fire protection of battery energy storage systems*, RISE Report 2023:117, 2023

Nomenklatur

Analytisk dimensionering

Föreskriftskraven i BBR uppfylls på annat sätt än genom att följa de allmänna råden.

Brand och utrymningslarm

Brandlarmcentral med komponenter för detektering och evakuering som uppfyller SS-EN54.

Cell/battericell

Cell/battericell är den minsta enheten som kan generera elektricitet. Ett batteri eller batterisystem består av ett antal battericeller som sammankopplas för att tillsammans ge en lämplig spänning och/eller kapacitet.³ I dagligt tal används ofta ordet batteri för det som rent tekniskt är en enskild cell/battericell.

Kommunicerande brandvarnare

Kommunicerande brandvarnare är brandvarnare som uppfyller SS-EN 14604 och är sammankopplade. Vid detektion av en av systemets brandvarnare ger denna signal till övriga brandvarnare att ljuda.

Mikroproduktion och mikroproducent

Mikroproduktion av el är småskalig elproduktion från solkraft eller vindkraft med en maxeffekt på 43.5 kilowatt.⁴ Mikroproducent är den som levererar överskottsel från egen anläggning.⁵

Termisk rusning

Ett stadie av snabb och okontrollerbar självuppvärmning som för en litiumjonbattericell kan innebära generering av en stor mängd toxisk och brännbar gas och eventuellt brand.

Utrymningsväg (enligt Boverket)

En utrymningsväg är en utgång till en säker plats. En utrymningsväg kan vara ett utrymme i en byggnad som leder från en brandcell till en sådan utgång. Med säker plats avses plats i det fria där brand och brandgaser inte kan påverka utrymmande personer. Säker plats kan exempelvis vara en gata i det fria eller terrass, gårdsplan eller liknande under förutsättning att man kan nå gata i det fria därifrån. En utrymningsväg kan omfatta dörrar och förbindelsevägar såsom korridorer eller trappor inom egna brandceller, loftgångar eller liknande utrymnen utomhus.⁶

³ Definition *batteri* från <https://batteriforeningen.se/definition-av-ett-batteri/> (2023-11-13)

⁴ <https://ei.se/konsument/el/solenergi-och-solceller#h-Mikroproduktion> (2023-11-13)

⁵ Definition *mikroproducent* från <https://ei.se/konsument/el/solenergi-och-solceller#h-Mikroproduktion> (2023-11-13)

⁶ Definition *utrymningsväg* från https://www.boverket.se/contentassets/a9a584aa0e564c8998d079d752f6b76d/konsoliderad_bbr_2011-6.pdf (2023-11-13)

Applikationskategorier

Denna vägledning har delats in i tre kategorier av batterienergilagring som baseras på användare och applikation. Detta är ett sätt att uttrycka vägledande rådgivning som i grunden baseras på storlek men som inte mäts i kapacitet, med undantag för batterienergilagring större än 600 kWh.

Vägledningen har delats in i följande **applikationskategorier (AK)**:

1. Batterienergilagring i småhus (privatpersoner)
2. Batterienergilagring i flerbostadshus eller kommersiella fastigheter (grupper av privatpersoner eller företag)
3. Batterienergilagring för storskaligt bruk i större industriella anläggningar eller i anläggningar för energiproduktion

För större batterienergilagring än 600 kWh rekommenderas att användare/leverantör säkerställer erforderligt brandskydd genom riskanalys, oavsett AK.

AK1. Batterienergilagring i småhus (privatpersoner)

AK1 riktar sig till privatpersoner med batterienergilagring för eget bruk i småhus. Till denna kategori hör även privatpersoner som klassas som mikroproducenter och således säljer överskottsel till elhandelsbolagen.

Exempel på applikationer kan vara batterienergilagring för effektoptimering och minskad kostnad för elhandel, laddning av elfordon eller lagring av solenergi.

AK2. Batterienergilagring i flerbostadshus eller kommersiella fastigheter (grupper av privatpersoner eller företag)

AK2 riktar sig till grupper av privatpersoner, företag, föreningar eller andra fastighetsägare/nyttjare som har för avsikt att lagra energi genom litiumjonbatterier enbart för den aktuella fastighetens egna bruk. Till denna kategori hör även mikroproducenter bland ovan nämnda aktörer som säljer överskottsel till elhandelsbolagen.

Exempel på applikationer kan vara batterilagring för laddning av elfordon, stora UPS-installationer⁷ eller lagring av solenergi inom bostadsrättsföreningar, kontorsbyggnader, industrier, vård och omsorg, samlingslokaler m.m. För byggnader som kräver att brandskyddet dimensioneras analytiskt bör även hantering av batterienergilagring och de risker som medföljer inkluderas i denna analys.

AK3. Batterienergilagring för storskaligt bruk vid större industriella anläggningar eller vid anläggningar för energiproduktion

AK3 riktar sig till företag, kommuner eller andra aktörer som har för avsikt att nyttja batterienergilagring för storskaligt kommersiellt bruk (ej mikroproducenter). Till kategorin hör även leverantörer som försörjer andra aktörer med tillfällig elförsörjning genom mobila batterienergilagring. Exempel på applikationer kan vara batterienergilagringssparker eller uthyrning av mobila containere till festivaler, byggarbetsplatser eller andra verksamheter med tillfälliga behov av mobil elförsörjning i större omfattning.

⁷ Med stora UPS-installationer avses installationer som syftar till att upprätthålla hela eller delar av byggnaders nödvändiga funktioner inom exempelvis sjukvårdsanläggningar eller stora serverhallar. UPS-installationer som försörjer små tekniska installationer ingår ej i denna applikationskategori.

Allmänt för Batterienergilager

För samtliga AK gäller i första hand att alltid följa tillverkarens och leverantörens produktanvisningar.

Placering

Vid termisk rusning inom litiumjonbatterier frigörs stora mängder brännbar och toxisk gas, vilket i vissa fall även sker under kort tid. Utrymmen ämnade för batterienergilager bör därför placeras så att gaserna från litiumjonbatterier under termisk rusning inte påverkar byggnadens huvudsakliga utrymningsstrategi. En tumregel är att inte placera batterienergilager inom utrymningsväg eller i utrymmen som står i direkt förbindelse med utrymningsväg. Batterienergilager bör inte heller placeras i närhet till utrymmen för sovande personer.

Termisk propagering

Interna avstånd mellan celler/moduler/rack bör utformas så att termisk propagering minskas. Verifiering av systemdesign gentemot termisk rusning och brand kan testas enligt till exempel IEC 62619 eller UL 9540A.

Brandtekniska installationer

Om brandtekniska installationer, detektionssystem, släcksystem, tryckavlastande konstruktion etc., installeras bör de designas och anpassas utifrån varje systems specifika behov.⁸

Säkerhetsbrytare

Ett batterisystem är normalt försett med kontaktorer som bryter strömmen vid skada eller spänningsbortfall. För att ytterligare försäkra att likströmskablage från batteriet inte utgör en risk vid räddningsinsats bör växelriktaren placeras i anslutning till batterienergilagret, alternativt bör en säkerhetsbrytare för utgående kablage monteras. Notera dock att om samma växelriktare är del av en solcellsanläggning kan det vara viktigare att minimera likströmskablage från solcellspanelerna då dessa generellt är svårare att säkra av på grund av lägre kortslutningsström. Alla delar som riskerar att vara spänningssatta även efter fränkoppling från elnätet bör vara tydligt uppmärkta för räddningstjänstens kännedom. Information kring fränkoppling och brytare bör finnas i insatsplan/insatskort.

Det är inte alltid möjligt att beträda ett brandutsatt utrymme med batterienergilager och möjlighet att aktivera säkerhetsbrytaren från angränsande utrymme bör undersökas för respektive fall. Det är viktigt att en säkerhetsbrytare endast bryter utgående ström för att om möjligt bibehålla funktion av kritiska interna säkerhetssystem såsom styrsystemet, *battery management system* (BMS), och värmereglering.

Skyltning

Utrymmen där batterienergilager finns installerat bör förses med skyltning anpassad för räddningstjänsten. Skyltning förser räddningstjänsten med värdefull information som bidrar till att de tidigt kan anpassa släckinsatsen efter rådande förutsättningar. Vid tidpunkten för aktuell vägledning saknades standardiserad skylt för batterienergilager.⁹ När skyltning för batterienergilager standardiseras bör den standardiserade utformningen tillämpas.

⁸ Se vidare litteraturstudie, avsnitt 3.

⁹ Se vidare litteraturstudie, avsnitt 3.6.

Guidelines for the fire protection of battery energy storage systems, RISE Report 2023:117, 2023

Skyltar bör placeras på utsida av dörr som leder till batterienergilagret. Om batterienergilagret är placerat i en separat byggnad bör skylten placeras på ytterdörr så att den är tydligt synlig för räddningstjänsten. Om det finns mer än en dörr som leder till batterienergilagret och som räddningstjänsten kan tänkas nyttja vid insats bör skyltning finnas på varje dörr som leder till utrymmet med batterienergilagrar.

AK1 – Vägledning

Vägledningen i detta avsnitt riktar sig till privatpersoner och är utformade baserat på storleken av batterienergilagrar som möter privatpersoners generella behov och applicering. Privatpersoner antas ha begränsade ekonomiska resurser för åtgärder samt begränsad kunskap gällande underhåll och service. Vägledningen är därför anpassad till privatpersoners kunskap och resurser för att en god skyddsnivå ska kunna bibehållas över tid.

Privatpersoner som installerar batterienergilagrar med kapacitet att försörja det egna hushållets behov vid normaldrift¹⁰ i mer än ett dygn bör i stället följa vägledningen för AK2.

Placering av Batterienergilagrar

Batterienergilagrar bör i första hand inte placeras i byggnad för sovande personer, utan hänvisas i stället till separat byggnad, såsom garage eller förråd. Det bör finnas möjlighet till brandgasventilation i utrymmet, vilket kan säkerställas genom dörr eller fönster ut mot det fria. I vissa fall kan det vara fördelaktigt att placera batterienergilagret utomhus, förutsatt att aktuell produkt är testad och godkänd för detta. Litiumjonbatterier är generellt känsliga för höga och låga temperaturer och det bör alltid säkerställas att aktuell produkt är testad och godkänd för svenskt utomhusklimat. Följ alltid leverantörens och tillverkarens anvisningar.

Batterienergilagret bör placeras på en ändamålsenlig plats fritt från löst brännbart material i dess direkta närhet. Brand i batterienergilagrets närhet skulle kunna initiera termisk rusning i litiumjonbatterier, vilket skulle ge ett betydande bidrag till brandens intensitet samt rökutveckling, vilket kan försvåra räddningstjänstens insats.

Vid val av placering bör risken för mekanisk påverkan beaktas, exempelvis påkörning i garage.

AK1 - Utökad skyddsnivå

I detta avsnitt behandlas åtgärder som ger vägledning åt den som har ambition om utökad skyddsnivå.

Kommunicerande Brandvarnare

Med kommunicerande brandvarnare ges förutsättningar att tidigt bli varse om en brand i annars svårupptäckta utrymmen (garage, förråd, etc.). Kommunicerande brandvarnare ger således bättre möjlighet för personer att utrymma och räddningstjänsten kan kontaktas i ett tidigt skede av branden. Kommunicerande brandvarnare kommunicerar via radiovågor och har en begränsad räckvidd som påverkas av bland annat vägg tjocklek, material och andra störningar. Installationen bör därför anpassas därefter och testas regelbundet för att säkerställa dess funktion.

¹⁰ Notera att detta gäller för normal drift och att användaren kan förväntas försörja sitt hushåll under flera dygn genom att minska förbrukningen.

Explosionsförebyggande Ventilation

Ventilation direkt till det fria kan vid termisk rusning av enstaka battericeller minska risken för explosion genom att brännbara och explosiva gaser ventileras ut. Ventilationen bör inte vara gemensam med andra utrymmen eller byggnader, för att inte riskera spridning av toxiska- och brännbara gaser. Ytterligare information om ventilationens inverkan finns att läsa i tillhörande litteraturstudie.¹¹

AK2 – Vägledning

Vägledning i detta avsnitt riktar sig till grupper av privatpersoner, företag, föreningar eller andra fastighetsägare/nyttjare. Vägledningen är utformad och baserad på den storlek som generellt möter dessa aktörers behov och applicering.

Vidare kan rekommendationer för utökad skydds nivå i många fall anses vara grundläggande, varför en enklare värdering av dessa bör göras i varje enskilt fall.

Placering

Batterienergilagrar som placeras inom byggnad bör placeras i ett ändamålsenligt utrymme utformat som en egen brandcell. Batterienergilagrar bör inte placeras i utrymmen som står i direkt anslutning till utrymningsvägar eller utrymmen för sovande personer. I utrymmet bör inget annat än utrustning tillhörande batterienergilagret förvaras. Egen brandcellsindelning och begränsning av utrymmets innehåll är även viktigt för att skydda batterienergilagret från en extern brand. Detta då en brand i batterienergilagrets närhet kan initiera termisk rusning i litiumjonbatterier och ge ett betydande bidrag till brandens intensitet och rökutveckling.

Placering i markplan är fördelaktigt för att underlätta räddningstjänstens insats och kan förenkla dimensioneringen av exempelvis brandgasventilation, då dörrar och fönster till det fria kan nyttjas.

I vissa fall kan det vara fördelaktigt att placera batterienergilagret utomhus. Avstånd till byggnad bör då uppfylla motsvarande krav som för avstånd mellan byggnader (8 meter) enligt BBR 5:61.¹² Tillfredställande skydd enligt BBR 5:61 kan även erhållas om brandspridning mellan byggnader begränsas med skydd som motsvarar det högsta kravet för brandceller eller brandväggar i respektive byggnad. För batterienergilagrar är detta inte alltid lämpligt då hänsyn även bör tas till risken för explosion. Vid kortare avstånd än 8 meter bör en särskild bedömning göras där hänsyn tas till exempelvis närhet till fönster eller andra känsliga delar av byggnaderna.

Litiumjonbatterier är generellt känsliga för höga och låga temperaturer och det bör alltid säkerställas att aktuell produkt är testad och godkänd för svenskt utomhusklimat. Följ alltid leverantörens och tillverkarens anvisningar.

Vid val av placering bör avstånd till friskluftsintag och möjlighet till avstängning av ventilationssystemet beaktas.

Vid val av placering bör risken för mekanisk påverkan från exempelvis påkörning beaktas.

¹¹ *Guidelines for the fire protection of battery energy storage systems*, RISE Report 2023:117, 2023

¹² https://www.boverket.se/contentassets/a9a584aa0e564c8998d079d752f6b76d/konsoliderad_bbr_2011-6.pdf (2023-11-14)

Branddetektering

Med detektion och akustiskt larmdon i utrymmet för batterienergilagring samt omgivande utrymmen/korridorer ges förbättrade förutsättningar för att initiera utrymning samt för att kontakta räddningstjänst i ett tidigt skede av branden. Vidare kan larmet med fördel kopplas till lämplig funktion, så som driftcentral, för att driftsansvarig snabbt ska bli varse om en incident.

Om det inom fastigheten finns en brandlarmanläggning rekommenderas att dess omfattning utökas till detektering av brand även i batterienergilagret.

Explosionsförebyggande Ventilation

Ventilation kan minska risken för explosion vid en termisk rusning av enstaka battericeller genom att brännbara och explosiva gaser ventileras ut. Utrymmen för batterienergilagring bör förses med separat ventilation som mynnar ut till det fria. Att ventilationen är separerad hela vägen till det fria möjliggör att ventilationen kan fortgå i det tidiga skedet av en termisk rusning (inga brandskyddsspjäll som stänger) och det minskar risken för spridning av toxiska gaser via ventilationssystemet. Det är fördelaktigt att hålla ett undertryck i utrymmet för att förhindra att brännbara och toxiska gaser tränger ut genom dörrar och andra otätheter under en termisk rusning. Ytterligare information om nyttan med ventilation kan läsas i tillhörande litteraturstudie.¹³

Brandgasventilation

Det bör finnas möjlighet för räddningstjänsten att ventilerar ut brandgaser från utrymmet utan att öppna dörrar som förbinder batterienergilagret med övriga delar av byggnaden. Detta kan åstadkommas genom exempelvis dörr till det fria, brandgaslucka som kan öppnas från det fria eller kanal till det fria med brandtålig fläkt. Det har påvisats att placering av lucka eller kanalutsug i taknivå ger effektivare ventilering av gaser som produceras under termisk rusning i litiumjonbatterier.¹⁴ Vid brandgasventilation föreligger risk för explosion eftersom det tillför syre till rummet. Ackumulerade brännbara gaser riskerar då att hamna inom dess brännbarhetsområde.

Insatskort

Insatskort med information om placering, storlek, nödstopp och brandtekniska installationer kan vara till stor hjälp för räddningstjänsten vid en insats. Insatskort kan placeras i anslutning till brandförsvarstablå om byggnaden är försedd med brandlarm alternativt i skåp låst med brandkårsnyckel som placeras i huvudentrén. För vidare information gällande insatskort hänvisas till följande utredning: *Insatskort för energilagring och solcellsanläggningar*.¹⁵

Riskanalys

AK2 inkluderar en stor variation av byggnader, aktörer och applikationer. En övergripande riskbedömning bör alltid utföras för att identifiera om det föreligger särskilda risker med

¹³ *Guidelines for the fire protection of battery energy storage systems*, RISE Report 2023:117, 2023

¹⁴ DNV Report No. 2019-1025, Rev 4, Technical Reference for Li-ion Battery Explosion Risk and Fire Suppression, 2019

¹⁵ Egeltoft E., *Insatskort för energilagring och solcellsanläggningar*, Brandskyddslaget för Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB), under granskning (2023)

batterienergilagrar i respektive verksamhet eller byggnad. För byggnader som i övrigt kräver att brandskyddet dimensioneras analytiskt bör även hanteringen av batterienergilagrar och de risker som medföljer inkluderas i denna analys.

För större batterienergilagrar än 600 kWh rekommenderas en riskanalys alltid att utföras för att säkerställa en god skyddsnivå, se vidare AK3.

AK2 - Utökad skyddsnivå

I detta avsnitt behandlas åtgärder som ger vägledning till den som har ambition om utökad skyddsnivå. Vidare kan nedan rekommendationer för utökad skyddsnivå i många fall anses vara grundläggande, varför en enklare värdering av dessa bör göras i varje enskilt fall.

Brandlarmanläggning med Utrymningslarm

Med ett brand- och utrymningslarm ges förutsättningar för att initiera utrymning i ett tidigt skede av en brand. Om brandlarmet dessutom är vidarekopplat till SOS/räddningstjänst ges förbättrade förutsättningar för räddningstjänsten att begränsa branden till batterienergilagret eller hindra att en extern brand når batterienergilagret. Ett brandlarm kan även bidra till att räddningstjänsten lättare kan lokalisera branden via information i brandlarmscentralen eller brandförvarstablån. Om brandlarm finns i byggnaden kan även ett optiskt larmdon placeras utanför utrymmen med batterienergilagrar som vid detektion i utrymmet varnar personer från att gå in. En brandlarmanläggning medför en betydande ökning i tillförlitligheten jämfört med andra typer av detekterande system.

Invallning för Släckvatten

Litiumjonbatterier i termisk rusning kan vara mycket svårsläckta och kräver generellt påföring av stora volymer vatten för att begränsa brandspridningen. Vid placering av batterienergilagrar bör därför släckvattenhantering beaktas för att förhindra att eventuellt släckvatten når grundvatten eller annan känslig miljö.

Ventilation – Gnistsäker fläkt

För att ytterligare minska risken för explosion i ventilationskanalen under termisk rusning av litiumjonbatterier kan ventilationen förses med gnistsäker fläkt. Tändkällor förväntas finnas kvar inom batterienergilagret, vilket resulterar i att en gnistsäkerfläkt inte helt kan eliminera explosionsrisken.

Aktivering av Brandgasventilation

Under brandgasventilation föreligger risk för explosion eftersom det tillför syre till rummet. Ackumulerade brännbara gaser riskerar då att hamna inom dess brännbarhetsområde. Manöverdon för brandgasventilation som innebär att räddningstjänsten kan aktivera brandgasventilationen från säker plats medför därför ökad säkerhet under räddningstjänstens insats.

Tryckavlastning

Lösningar för tryckavlastning minskar risken för tryckuppbyggnad inom utrymmet och således även konsekvenserna av en eventuell explosion. Exempel på tryckavlastningar kan vara dörrar,

fönster eller luckor mot det fria som öppnas respektive brister vid tryckökning eller som öppnas automatiskt genom detektion av brandfarliga gaser i utrymmet. Snöröjning bör beaktas vid utformningen av tryckavlastande konstruktioner.

Det kan vara kostnadseffektivt att samnyttja metoder för tryckavlastning med möjlighet till brandgasventilation för räddningstjänsten.

AK3 – Vägledning

Vägledningen i detta avsnitt riktar sig till företag, kommuner och andra aktörer som installerar batterienergilagrar i storskalig omfattning för kommersiellt bruk. Vägledningen är utformad baserad på den storlek som generellt möter dessa aktörers behov och applicering.

Det rekommenderas att alltid utföra en riskanalys för att säkerställa en god skyddsnivå för batterienergilagrar under denna AK. Riskanalysen bör beakta följande gällande brandsäkerheten:

- Avstånd till annan byggnad
- Avstånd till infrastruktur, känsliga verksamheter, gångvägar, samlingsplatser etc.
- Termisk propagering och interna säkerhetsdistanser inom batterienergilagret
- Avstånd mellan separata energilagringssystem (så som två containers eller liknande)
- Explosionsrisk
- Yttre faktorer så som väder, vind och mekanisk påverkan (exempelvis påkörning, nedfallande objekt)
- Räddningstjänstens insattid/framkörningstid och förmåga
- Släckvattenhantering och närliggande vattenskyddsområden
- Hantering av batterienergilagret och eventuellt skadade battericeller efter brand

Utöver riskanalysen bör följande kapitel alltid beaktas.

Placering

Om batterienergilagrar placeras inom byggnad så bör det vara en ändamålsenlig byggnad där personer inte förväntas vistas stadigvarande och där risker beaktats genom utförd riskanalys.

Vid val av placering bör risken för mekanisk påverkan beaktas, från exempelvis påkörning eller nedfallande is från rotorblad på vindkraftverk.

Avstånd till annan byggnad bör hanteras genom riskanalys där konsekvenser för närliggande byggnader vid en brand och explosion bör beaktas. Avstånd till annan byggnad bör som minst uppfylla motsvarande krav som för avstånd mellan byggnader (8 meter) enligt BBR 5:61.¹⁶ Tillfredställande skydd kan enligt BBR 5:61 även erhållas om brandspridning mellan byggnader begränsas med skydd som motsvarar det högsta kravet för brandceller eller brandväggar i respektive byggnad.

För batterienergilagrar är detta inte alltid lämpligt då hänsyn även bör tas till risken för explosion. Vid kortare avstånd än 8 meter bör en särskild bedömning göras där hänsyn tas till exempelvis närhet till fönster eller andra känsliga delar av byggnaderna.

¹⁶ Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd, BBR
https://www.boverket.se/contentassets/a9a584aa0e564c8998d079d752f6b76d/konsoliderad_bbr_2011-6.pdf
 (2023-11-14)

För att minska konsekvenserna av brand och brandspridning mellan separata energilagringssystem (eller till batterienergilagret) bör externa avstånd mellan enheter avgöras som en del i riskanalysen. Här bör explosionsrisken och dess konsekvenser också tas i beaktning.

Explosionsförebyggande Ventilation

Ventilation kan minska risken för explosion vid en termisk rusning av enstaka battericeller genom att brännbara och explosiva gaser ventileras ut. Det rekommenderas att utrymmen för batterienergilagring utformas väl ventilerade för att undvika att brännbara gaser ackumuleras inom dess brännbarhetsområde och således minska risken för explosion. Ytterligare information om nyttan med ventilation kan läsas i tillhörande litteraturstudie.¹⁷

Tryckavlastning

Byggnader och containers som nyttjas för batterienergilagring i AK3 kan förses med tryckavlastande konstruktion för att minska konsekvenser vid eventuell deflagration. Exempel på tryckavlastning kan vara luckor mot det fria som öppnas respektive brister vid tryckökning eller som öppnas automatiskt genom detektion av brandfarliga gaser i utrymmet. Vid deflagration kan utslående jet-flammor förväntas, vilket ger skäl för att dessa placeras i tak och inte riktas mot annan byggnad, gångväg etc. Tryckavlastande strukturer och dess funktion bör finnas beskrivna i insatskort för att räddningstjänst snabbt ska få kännedom om dessa.

Brandgasventilation

Om litiumjonbatterier försätts i termisk rusning bildas en brännbar och explosiv gasblandning som dessutom är mycket toxisk. Utrymmen där batterienergilagring finns installerade bör därför förses med möjlighet till brandgasventilation utformad att kunna aktiveras av räddningstjänsten från en säker plats.

Under brandgasventilering föreligger risk för explosion eftersom det tillför syre till rummet. Ackumulerade brännbara gaser riskerar då att hamna inom dess brännbarhetsområde. Manöverdon för brandgasventilation som innebär att räddningstjänsten kan aktivera brandgasventilationen från säker plats medför därför ökad säkerhet under räddningstjänstens insats.

Om möjligt kan styrning eller manuell aktivering av tryckavlastande konstruktion, så som luckor, dörrar etc., tillgodose behovet av brandgasventilation.

Detektion

Det rekommenderas att utrymmen för batterienergilagring inom denna AK förses med branddetektion och akustiskt larmdon. Detektionen bör vara sammankopplad med någon typ av övervakningsfunktion. Det rekommenderas även att detektionen är kopplad till ett optiskt larmdon, dels för att varna personer från att öppna dörren till utrymmet, dels för att räddningstjänsten lättare ska kunna lokalisera utrymmet eller containern. På containers kan detta sitta på utsidan av containern och inom byggnader bör det finnas både i anslutning till huvudentrén samt i direkt anslutning till det detekterade utrymmet.

¹⁷ *Guidelines for the fire protection of battery energy storage systems*, RISE Report 2023:117, 2023

Det är fördelaktigt om detektionssystemet inkluderar en brandlarmanläggning som är vidarekopplad till SOS Alarm eller räddningstjänsten. En brandlarmanläggning medför en betydande ökning i tillförlitligheten jämfört med andra typer av detekterande system.

Gasdetektion och videoövervakning inuti batterilagret med utvändigt avläsning har i arbetet förts fram som en extra riskreducerande åtgärd för att möjliggöra, förenkla och reducera risker vid insats för räddningstjänst. Då räddningstjänst genom dessa system kan få information kring vad som sker inuti utrymmet, batterienergilagret, utan att öppna upp minskar risken för tillförsel av syre som skulle kunna leda till explosion.

Brandslangsanslutning för Räddningstjänstens

Utrymmen med batterienergilagret kan förses med möjlighet till vattenpåföring utan att öppna upp utrymmet. Detta kan exempelvis åstadkommas genom att batterienergilagret förses med en anslutning som passar till räddningstjänstens brandslang. Det är fördelaktigt om anslutningen leder till ett torrörsystem som fördelar släckvattnet jämnt över batterienergilagret, vilket ger förbättrad kylning av brandgaserna och kan motverka att branden sprider sig från batterienergilagret. Om utrymmet är tätt är det viktigt att utrymmet är dimensionerat för att stå emot det ökade vattentrycket.

Insatsplan och Insatskort

Insatsplan alternativt insatskort med information om till exempel placering, storlek, cellkemi, nödstopp och brandtekniska installationer kan vara till stor hjälp för räddningstjänsten vid en insats. För mer information gällande insatsplan och insatskort hänvisas till följande utredning: *Insatskort för energilagring och solcellsanläggningar*.¹⁸

¹⁸ Egeltoft E., *Insatskort för energilagring och solcellsanläggningar*, Brandskyddslaget för Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB), under granskning (2023)

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,800 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 800 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB Box 857, 501 15 BORÅS, SWEDEN Telephone: +46 10-516 50 00 E-mail: info@ri.se , Internet: www.ri.se	Fire Safe Transport RISE Report 2023:117 ISBN: 978-91-89896-04-8
--	--