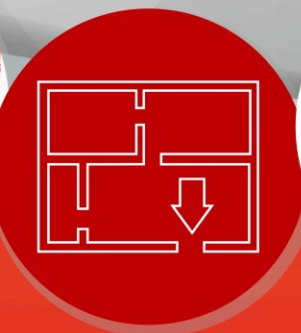


2022. 09. 7-8.

XI. Lakiteleki Tűzvédelmi Szakmai Napok



2022. 09. 7-8.

XI. Lakiteleki Tűzvédelmi Szakmai Napok

Li ion akkumulátorok tűzvédelmi kérdéseivel kapcsolatos nemzetközi kitekintés

Veresné Rauscher Judit

okl. építésmérnök, okl. tűzvédelmi tervező szakmérnök, építésügyi tűzvédelmi tervező

Tűzvédelmi Mérnökök Közhasznú Egyesület elnöke

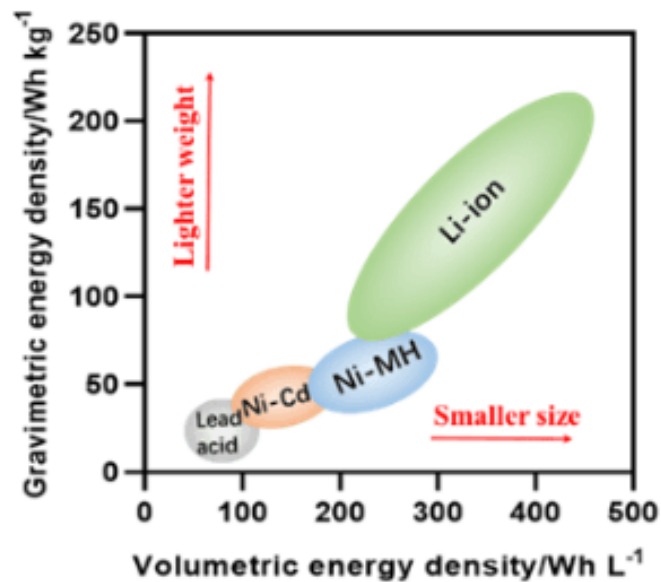
NKE Katasztrófavédelmi Intézet, tanársegéd

elnok@tmke.hu rauscher.judit@uni-nke.hu



Li ion akkumulátor – miért fontos?

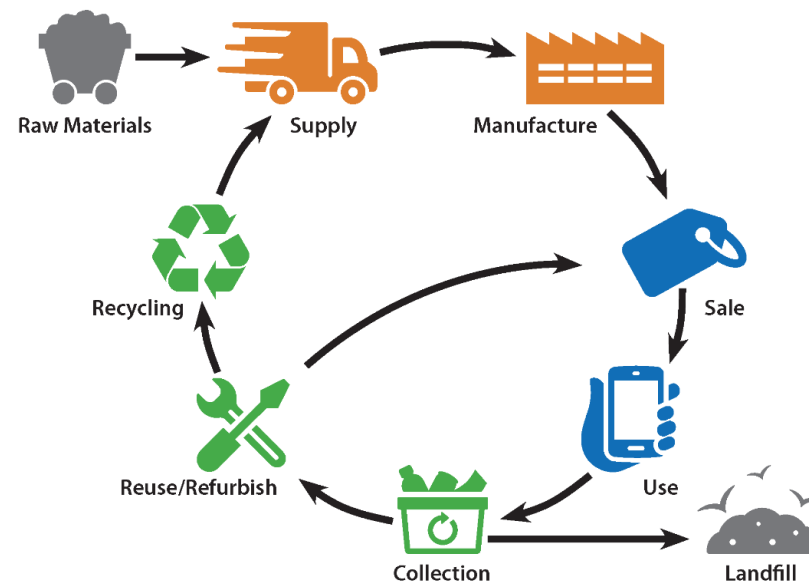
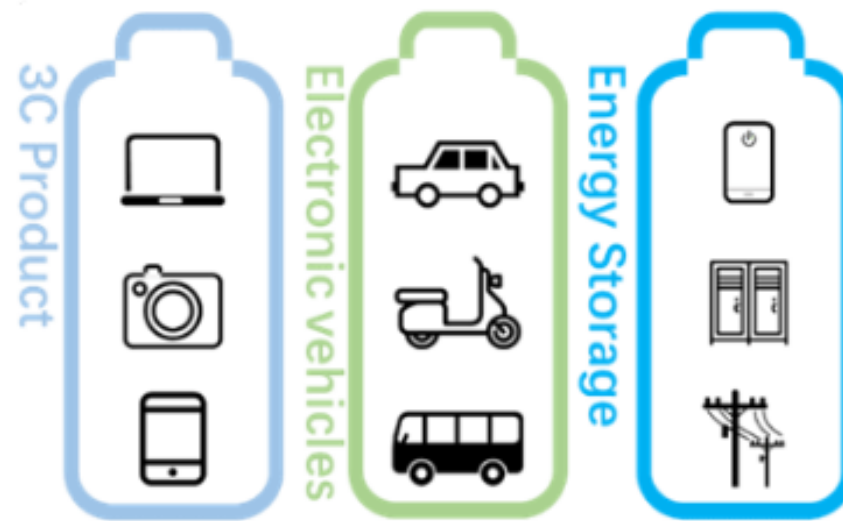
- jelenleg az uralkodó energiaforrás a hordozható eszközökben, elektromos járművekben és energiatárolásban
- tűzvédelmi problémák hátráltatják a terjedését
- 1990-es évek óta kutatási téma, a kutatások egyre nagyobb jelentőséget kapnak a megtörtént incidensek miatt



Veszélyek, kockázatok

Helyes kezelés mellett biztonságos, de lehetnek kockázatok:

- mechanikai sérülés
- hőterhelés
- túlterhelés
- nagy elektromos áram lehetséges
- mérgező, gyúlékony, robbanásveszélyes anyagok szivárgása
- magas tűzterhelés
- thermal runaway

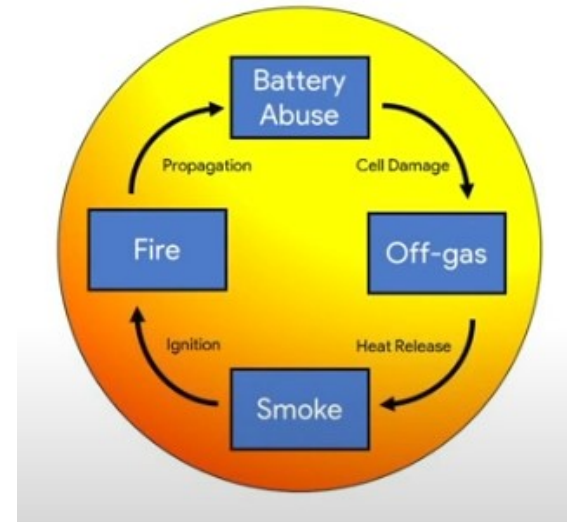


Li ion akkumulátor – miért fontos?



Speciális tűz-jellemzők:

- összetett jelenség
- fizikai és kémiai folyamatok
- burkolaton belül és kívül is zajlik
- külső oxigéntől és lángtól független
- extrém gyors hőmérséklet emelkedés
- éghető és mérgező gázok veszélye



Magyarországon egyelőre nincsen speciális jogi szabályozás...

Li ion akkumulátor - tüzesetek

ESS rendszerek tüzesetei:

- 2017-18 között 23 ESS tűz keletkezett Dél-Koreában, több mint 32.000.000 USD kárt okozva
- 2019. április, Arizona – 8 tűzoltó megsérült
- 2020. szeptember 15. Liverpool, 20 MW
- 2020. december 1. France
- 2021. április 6. Dél-Korea, 10MWh, 300.000 USD kár
- 2021. április 16. Beijing, 25 MWh

~500 telepet bezártak!!!

4 hazmat + 4 firefighter
27 rack / 14 module =
10.584 cell

módosítottak az ESS
szabványokon,
előírásokon



2022. február – Azori szigeteknél kigyulladt a Volkswagen csoport hajója (Facility Ace) luxusautókkal, 22 fős legényszetet kimentették, oltani nem lehetett a felborulás veszélye miatt



„hőkisülés” – *thermal runaway*



- megállíthatatlan láncreakció
- az akkumulátorban tárolt energia hirtelen felszabadul
- ~ 400 °C körüli hőmérséklet alakul ki
- hagyományos eszközökkel nem lehet oltani
- oltás után is visszagyullad(hat), amíg töltés van benne
- a veszélye 60°C-on kezdődik és 100°C-nál kritikus
- nem lehet pontosan tudni, mikor gyullad ki ténylegesen
- ha az egyik cella sérül, szinte biztosan átterjed

Mi okozhatja?

- belső rövidzárlat (mechanikus sérülés)
- külső rövidzárlat (deformáció okozta)
- túltöltés
- túl nagy áramfelvétel vagy kisütés (gyorstöltés)

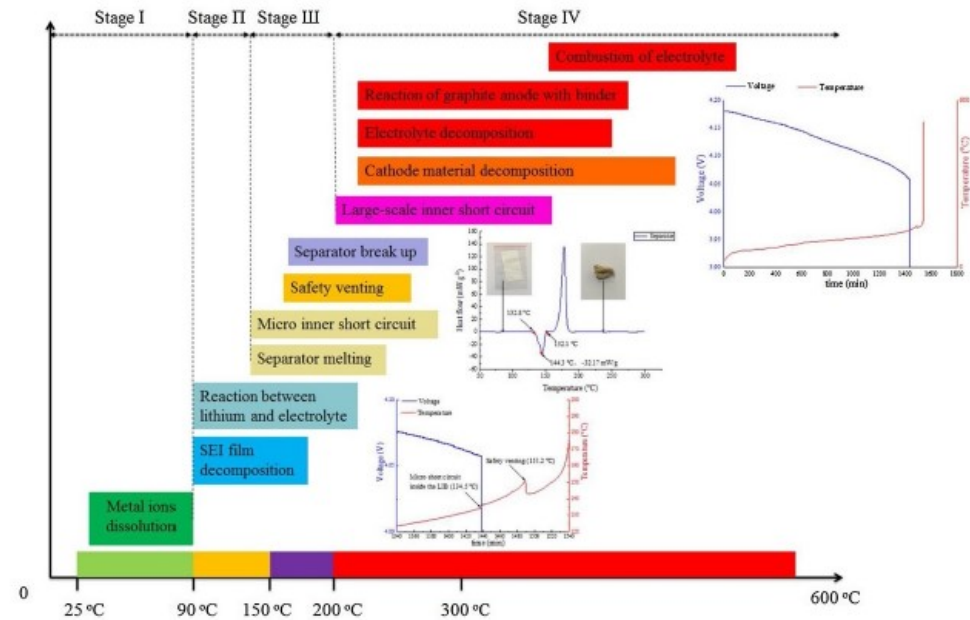


Figure 2. Stages of temperature-induced thermal runaway [26].

Li, H.; Duan, Q.; Zhao, C.; Huang, Z.; Wang, Q. *Experimental Investigation on the Thermal Runaway and Its Propagation in the Large Format Battery Module with Li(Ni_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3})O₂ as Cathode*. *J. Hazard. Mater.* **2019**

Kockázat minimalizálása?

- mechanikus és termikus stabilitás
- akkumulátorcsomagok felügyelete (BMS)
- több szintű védelem:
 - megelőzés
 - nagyon korai felismerés
 - oltás
 - utókezelés

NFPA – átfogó kutatások (USA)

1. fázis - 2011

technológia megismerése, meghibásodási módok és események, szabályzatok és felmerülő veszélyek felmérése

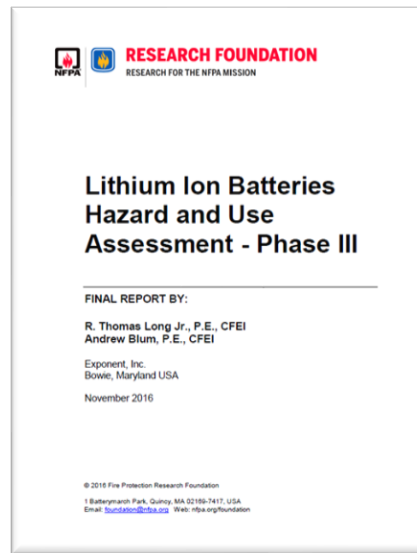
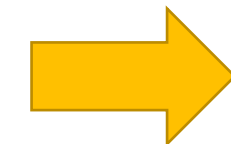
2. fázis - 2013

általános akkumulátorok és árucikkek gyúlékonysági jellemzői

13 valós léptékű tűzteszt, FM Global sprinkler rendszerrel, külső gyújtóforrással

3. fázis - 2016

8-24 raklap akkumulátor, sprinkler optimalizálás



- a tűzgörbe nagyon hasonló a Li-ion akkumulátor esetében a szabványos FM Global görbéhez
- sűrűn csomagolt Li-ion akkumulátorok 5 perc alatt „bevonódnak a tűzbe”
- ritkán csomagolt Li-ion akkumulátorok (már berendezésekben) gyorsabb tűzfejlődés, de kevésbé érte el az akkumulátorokat



<https://www.nfpa.org/News-and-Research/Data-research-and-tools/Hazardous-Materials/Lithium-ion-batteries-hazard-and-use-assessment>

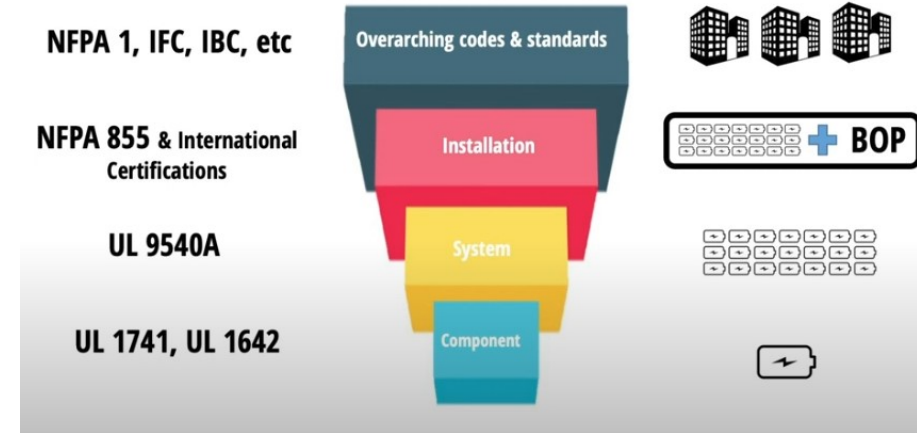
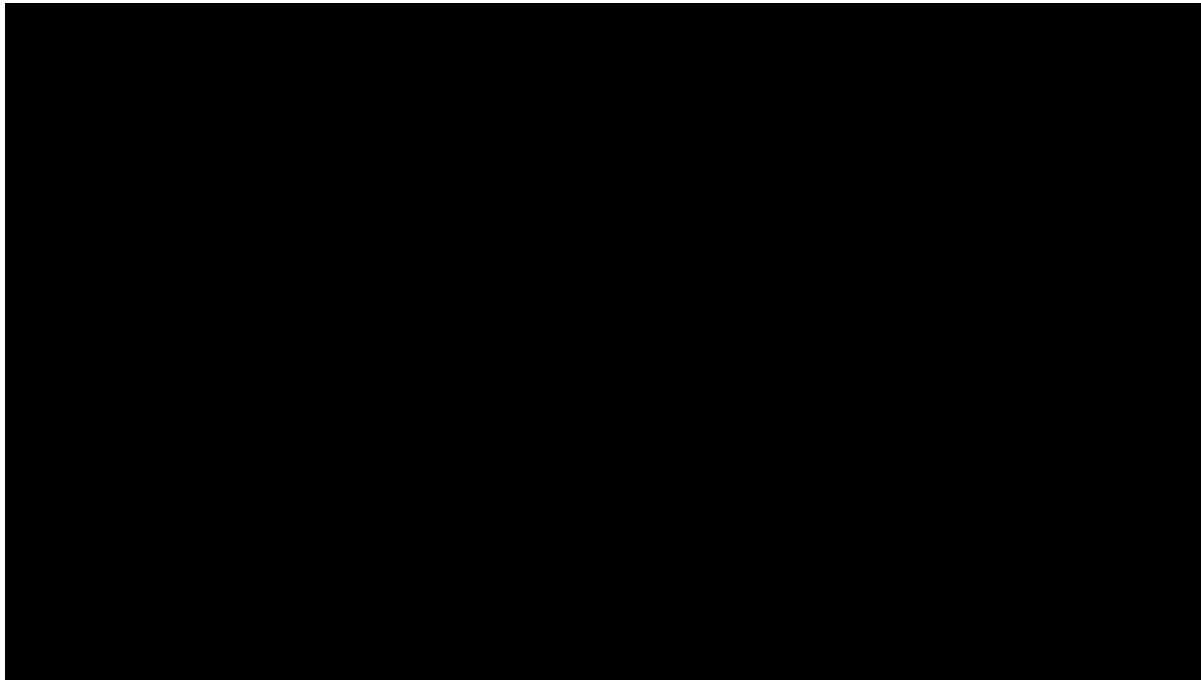
A. Blum and R. T. Long, "Hazard Assessment of Lithium Ion Battery Storage Systems," Final Report prepared for Fire Protection Research Foundation February, 2016.

R. T. Long and A.M. Misera, „Sprinkler Protection Guidance for f Lithium-Ion Based Energy Storage Systems," Final Report prepared for Fire Protection Research Foundation February, 2019.

National Fire Protection Association Standard 855, Standard for the Installation of Stationary Energy Storage Systems, Proposed Standard, anticipate issuance in 2019.

B. Ditch, D. Zeng, "Development of Sprinkler Protection Guidance for Lithium Ion based Energy Storage Systems" FM Global Technical Report March 2019.

NFPA és FM Global - átfogó kutatások (USA)



UL 9540A szabvány
akkumulátorok tűzeseti jellemzőinek tesztelése
4 szinten: cella, modul, egység és beépített állapot

<https://www.youtube.com/c/fmglobal>



Nemzetközi kutatások – akkumulátorok jellemzői

➤ Kísérleteznek nem gyúlékony elektrolit keverékekkel is, amikkel növelni lehet a biztonságot.

@Hao Zheng at all: A Nonflammable Electrolyte Combining Phosphate and Fluorinated Ether for $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ Cells, Fire Technology 56., 2020

➤ Akkumulátor modulok közötti elválasztásnál

- aerogél önmagában lassítja az áttérjedést, de nem akadályozza meg
- folyadékűtő anyag alkalmazása nem lassít egyértelműen, néha még gyorsíthatja is
- ezek megfelelő arányú keverése a legjobb megoldás

@Xiaolong Yang at all: An Experimental Study on Preventing Thermal Runaway Propagation in Lithium-Ion Battery Module Using Aerogel and Liquid Cooling Plate Together, Fire Technology 56., 2020

➤ Átfogó kutatásokat végeznek a 'thermal runaway' modellezésére, becslésére, diagnosztikai megoldásaira. Az alapvető megértés segíti a megelőzést...

Tran, M.-K.; Mevawalla, A.; Aziz, A.; Panchal, S.; Xie, Y.; Fowler, M. A Review of Lithium-Ion Battery Thermal Runaway Modeling and Diagnosis Approaches. Processes 2022, 10, 1192. <https://doi.org/10.3390/pr10061192>

➤ Átfogó tesztsorozat kaloriméterrel:

- képlettel meghatározták, hogy egy-egy teljesen feltöltött cella mekkora hőfokra melegedhetne fel az energia átalakulás során.
- Öngyulladásra képes és egyértelmű kapcsolat van a feltöltöttség és az égés intenzitása és ideje között, bár az égés kezdete (110 s) szinte azonos volt.
- 60 °C kezdődött a tömegvesztés, 180 °C látható láng, hőmérsékletcsúcs 680 °C
- kicsi fajhő

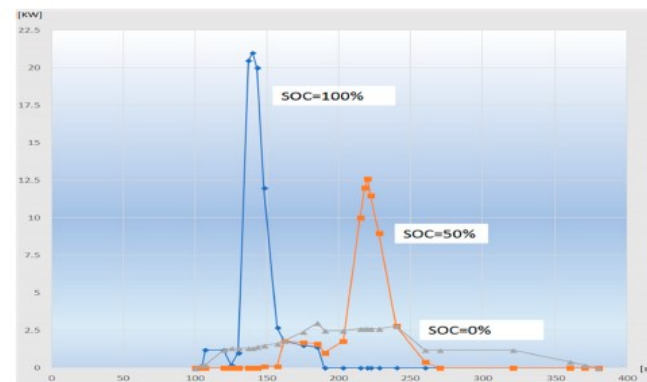


Figure 2. The heat release rate (HRR) as a function of time, depending on SOC (Own elaboration on the basis of the data from [18]).

Erd, A.; Stoklosa, J. Energy Dependencies in Li-Ion Cells and Their Influence on the Safety of Electric Motor Vehicles and Other Large Battery Packs. Energies 2020, 13, 6738. <https://doi.org/10.3390/en13246738>

CFPA – szakmai irányelv

Fire safety measures with
emergency power supplies

CFPA-E Guideline No 34:2015 F



 **CFPA**EUROPE

2015-ben adták ki a biztonsági energiaellátásra vonatkozó irányelvet – ebben inkább UPS rendszerekre vonatkozó ajánlások







- megfelelő szellőzés
- mechanikus sérülés elleni védelem
- éghető anyagok tárolásának tilalma
- víztől történő védelem

NINCS még általános ajánlásuk a Li-ion akkumulátorok használatával, tűzvédelmi kialakításaival kapcsolatban....

<https://cfpa-e.eu/category-guidelines/fire-prevention-and-protection/>

VdS – német irányelvek

3103:2019-6 (03) Lithium-Batterien – a besorolás, kockázati osztályozás

| Leistung | Lithiummetallbatterie (UN 3090) | Lithiumionenbatterie (UN 3480) |
|----------|--|--|
| gering | <p>≤ 2 g Li je Batterie</p>  | <p>≤ 100 Wh je Batterie</p>  |
| mittel | <p>> 2 g Li je Batterie und ≤ 12 kg brutto je Batterie</p>  | <p>> 100 Wh je Batterie und ≤ 12 kg brutto je Batterie</p>  |
| hoch | <p>> 2 g Li je Batterie und > 12 kg brutto je Batterie</p>  | <p>> 100 Wh je Batterie und/oder > 12 kg brutto je Batterie</p>  |

Általános biztonsági szabályok:

- Külső, belső rövidzárlat elleni védelem
- Hőhatás elleni védelem (napsütés!)
- Ahol nincs beépített tűzoltó rendszer, ott legalább 2,5 m magas épített elválasztás kell a különböző egységek között.
- A sérült, hibás elemeket azonnal el kell különíteni tárolás és gyártás során.

• Ha 7 m³ vagy 6 raklap felett, akkor a következő kategória

- Vegyes tárolás nem javasolt, tűzgátló szerkezetekkel vagy 5 m tűztávolsággal kell védeni.
- Tűzjelző és 24 órás felügyelet
- 60 m² vagy 3 m magasabb tárolásnál következő kategória.

• Még nincs elég adat a megfelelő szabályozáshoz, egyedi kockázatelemzés.

- Legalább 5 m tűztávolság, tűzgátló határolás
- Automatikus tűzoltó rendszerek

VdS – német irányelvek

2018-től kezdődően adnak ki javaslatokat...

VdS 3471:2021-02 (02) Ladestationen für Elektrostrassenfahrzeuge

VdS 3885:2020-12 (01) Elektrofahrzeuge in geschlossenen Garagen – Sicherheitshinweise für die Wohnungswirtschaft



Lakókörnyezetben kialakított töltő szabályai

- épített (passzív) tűzvédelem – csak nem éghető anyagok, burkolatok, szigetelések, tűzgátló határolás (min 30)
- tűzjelző rendszer, átjelzéssel, füst és hőérzékelő vegyesen
- zárt helyen tűzoltó berendezés kell a károk enyhítésére
- falitűzcsap beavatkozáshoz
- füstelvezetés
- használati szabályok
- gyors megközelítés, oltóvíz hosszabban, kármentő



| Hazard Level (HL) | Risiko | Energieinhalt (kWh) / Lagereinheit |
|-------------------|--------|------------------------------------|
| I | Gering | < 1 |
| II | Mittel | 1,0-50 |
| III | Hoch | > 50 |

Tabelle 1: Einstufung von Lithium Batterien

VdS 3856:2019-06 (01) Sprinklerschutz von Lithium-Batterien

Garázsban – OH2; min 60 perc; betáplálás

Eszköz tárolás – előnedvesíthető csomagolás, tárolási egység max 50 kWh, minden polcközben sprinkler

Akku tárolás – előnedvesíthető csomagolás; tárolási egység max 50 kWh; minden polcközben sprinkler, felette fémlemez; 2,4 m szabad közlekedő sáv; tárolási magasság max 1,5 m; fajlagos víztérfogatáram 17,5 mm/perc; K160; belmagasság max 12 m

EURALARM – szakmai irányelv 2022



Tömegközlekedési eszközök:

- repülőgépeken vannak olyan zsákok, amikben elkülöníthetőek a kis berendezések
- hajók meghajtása teljes elárasztással védhető
- utasok eszközeihez kézi oltókészülékek



Also customized to fit small electronic devices.

1970-ben alapított szervezet, 5000-nél több tag,
európai gyártók, szolgáltatók tömörülése



Lakossági energiatároló rendszerek:

- több terméket visszahívtak tűzveszély miatt
- mérethez köthető a valós kockázat
- beépített védelmi rendszerek kellene, amik minimális karbantartással fenntarthatóak
- bonyolult megoldások kerülendőek
- használati szabályok – éghető anyagok távolsága, megfelelő szellőzés a gázkiáramlás veszélye miatt

Akkumulátorok és akkumulátoros eszközök tárolása:

- gond, hogy alacsony töltöttség, de nem 0 és nem működik a BMS kontrollja sem → lehető legkisebb töltöttségi szint
- szellőztetés / gyors hő-füst elvezetés
- gyors kiürítés lehetősége
- csomagolás miatt raktártűz jellegű terjedés → állványok elválasztása
- tűzjelző rendszerek – füstérzékelés
- tűzoltó rendszerek – víz alapú

Elektromos autók – Euralarm és VdS 3471 3885



- nem veszélyesebbek, de ha kigyullad, akkor nehezebb kordában tartani és oltani!
- tüzek 50%-a töltés közben keletkezik



- lehetőleg NEM mélygarázsban, fedett garázsban parkolás és töltőhelyek kialakítása!!!
- épületszerkezetek extra védelme
- utókezelés, utómozgatás helyigénye
- ütközésvédelem
- töltők egy helyről lekapcsolása
- hatékony füstelvezetés, mérgező gázok várhatóak
- lehetőleg nem csoportos elhelyezés, szeparálhatóság, elárasztásos oltás lehetősége
- épületekben tűzjelző rendszerek, tűzoltó rendszerek

- töltőhely lehetőleg szabadban, nyitott garázsban vagy vezérelt mélygarázs, tűzjelzővel
- hatékony tűzoltás lehetősége
- elegendő oltóvíz pótlás
- zárt helyen hatékony füstelvezetés
- tiltani kell a sérült járművek tárolását (5 m tűztávolságú karantén)
- töltőhelyet meg kell jelölni (dugalj, felfestés)
- telepített töltőhely javasolt, nem mobil
- ajánlott töltési áram 10A, áramkör megszakítóval
- töltőhely mellett éghető anyag nem tárolható

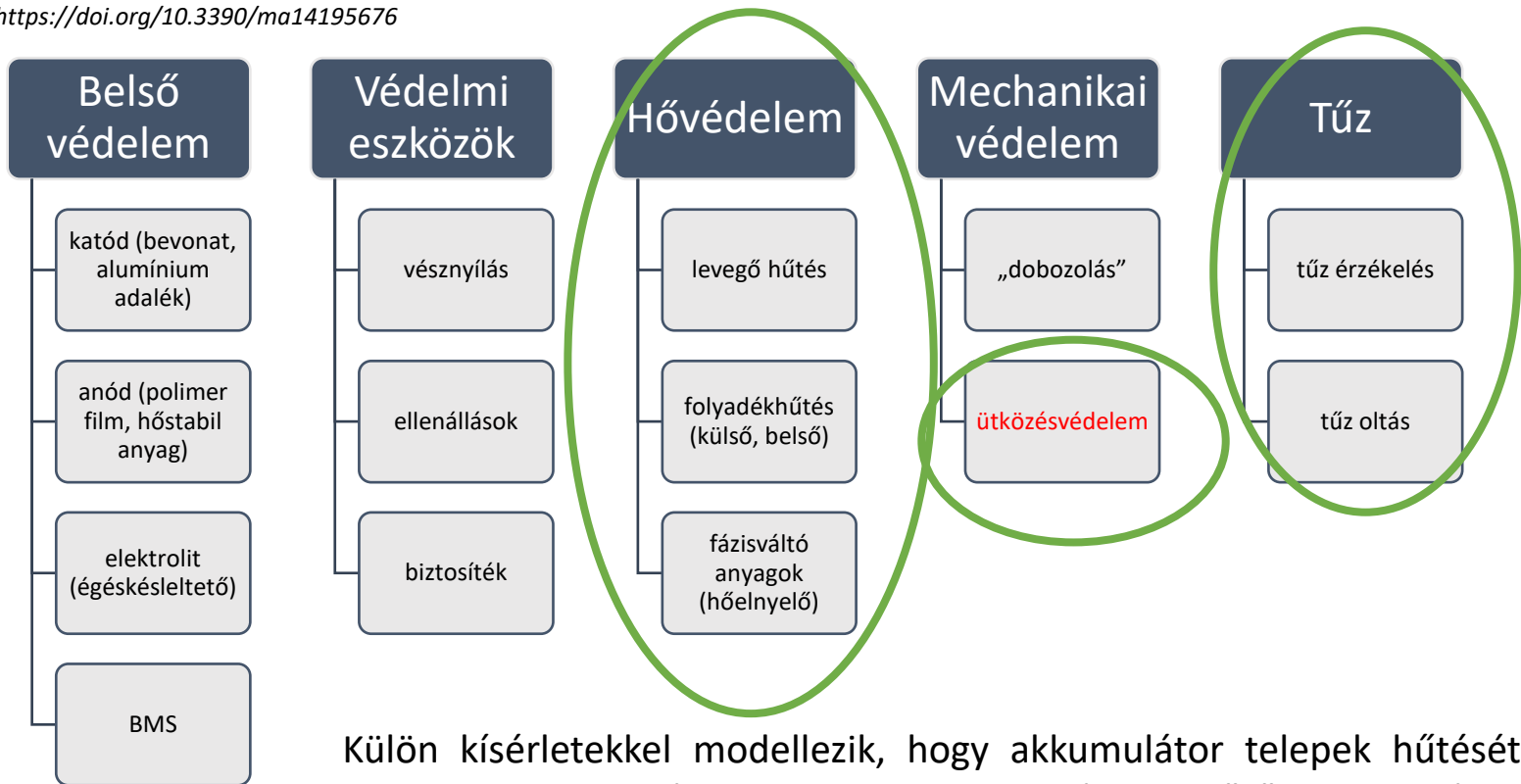
E-bike

- csak gyártói töltő, nem fagyveszélyes, száraz helyen, csak beltérben, éghető anyag nélkül
- felügyelet mellett (nem éjszaka), munkahelyen felügyelve, szobában tilos

megemelték a kötelezően elhelyezendő elektromos parkolókat és töltőhelyeket → jelenleg nincs mellé előírás rendelve... de gondolkodni szabad!

Nemzetközi kutatások – kárenyhítési stratégiák

Kaliaperumal, M.; Dharanendrakumar, M.S.; Prasanna, S.; Abhishek, K.V.; Chidambaram, R.K.; Adams, S.; Zaghib, K.; Reddy, M.V. Cause and Mitigation of Lithium-Ion Battery Failure—A Review. *Materials* **2021**, *14*, 5676. <https://doi.org/10.3390/ma14195676>



Külön kísérletekkel modellezik, hogy akkumulátor telepek hűtését hogyan kell kialakítani, mivel a hagyományos hűtő elrendezések mellett egyenlőtlen hőmérsékletek alakultak ki. – Közvetlenül a modulok felett javasolt elhelyezni a befűvást és növelni kell a kiáramlási sugarukat.

@Shuai Pan at all: Study on the Performance of Parallel Air-Cooled Structure and Optimized Design for Lithium-Ion Battery Module, *Fire Technology* 56., 2020

Belső passzív védelem mellett kell a külső védelem is:

- mátrixok szeparálása
- nitrogéndús közeg
- BMS rendszer továbbfejlesztése → lekapcsolás + szektorvezérlés
- belső lekapcsoló-kisütő áramkör + külső kijelzés LED → semleges kör

Erd, A.; Stoklosa, J. Energy Dependencies in Li-Ion Cells and Their Influence on the Safety of Electric Motor Vehicles and Other Large Battery Packs. *Energies* **2020**, *13*, 6738. <https://doi.org/10.3390/en13246738>

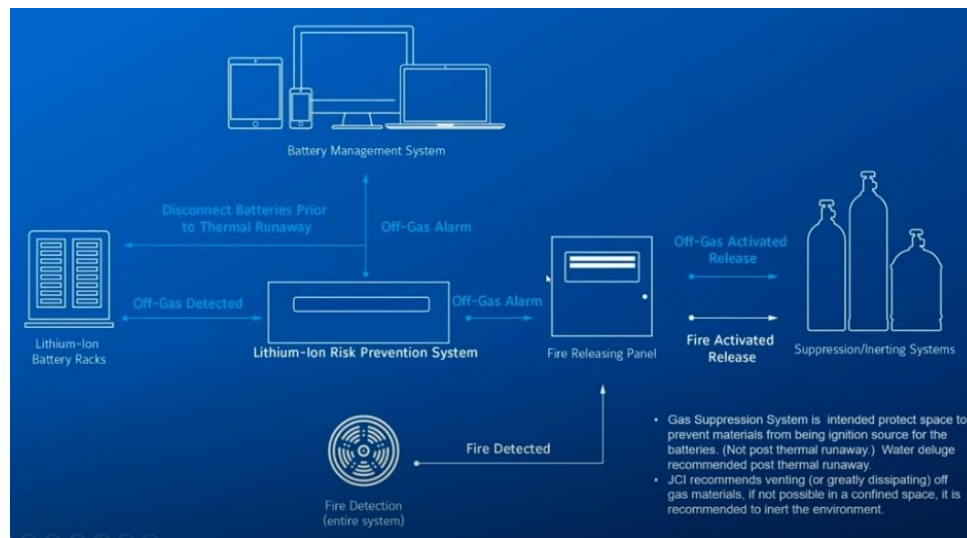
ESS energiatároló rendszerek

- konténeres kialakítás
- épületen belüli helyiségek
- hordozható eszközök (ideiglenes áramellátás)



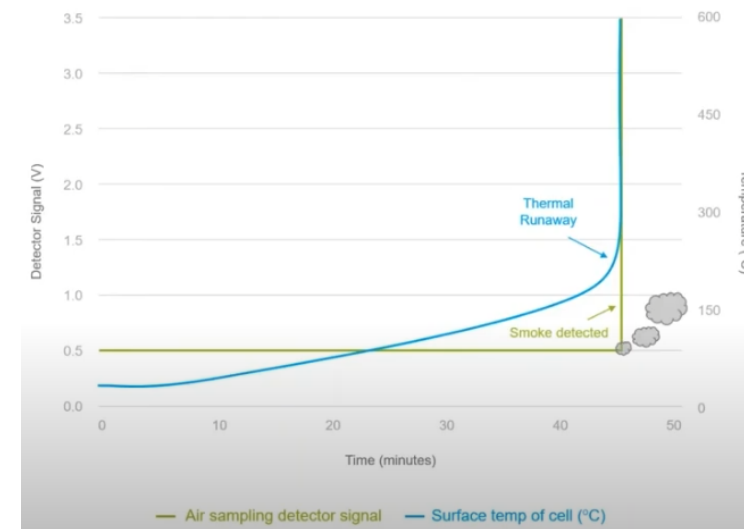
Az elem és rack tervezés lényege az energiatárolási kapacitás maximalizálása = tűzvédelmi szempontból a legrosszabb változat!

A tűzoltó rendszerek csökkenteni tudják a tűzfejlődés ütemét és a hőterhelést, de általában nem tudnak teljes oltást elérni.

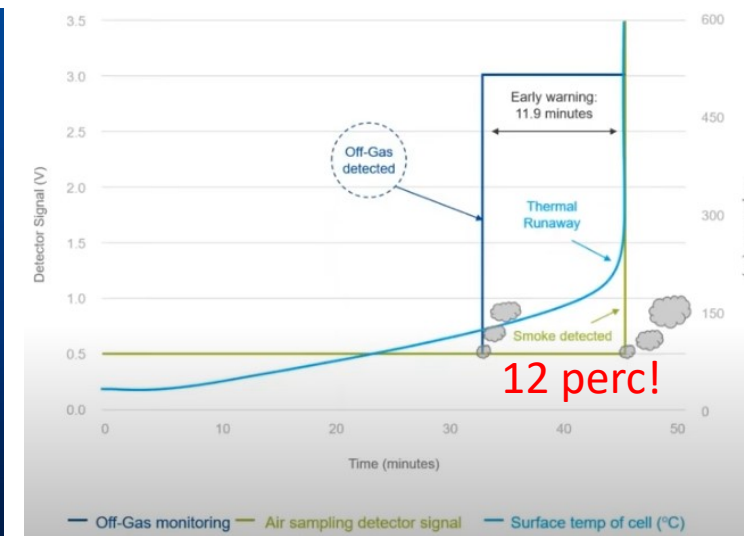


@Johnson Controls (ANSUL) & Levitt-Safety, Derek Sandahl, 2020

@orrprotection.com



füstérzékelő jele **X** a problémát?



gázérzékelő !

EURALARM – szakmai irányelv

Energiatároló rendszerek – tűz scenáriók

1. Külső tűz – betervedés akadályozása
2. Másodlagos elektronika tüze – betervedés akadályozása
3. Akkumulátor helyiség tüze – tűzjelzés és tűzoltás
4. Belső tűz – hőkisülés és továbbterjedés akadályozása – tűzjelzés és tűzoltás



euralarm
for a safer and more secure Europe



védelmi célok:

(hatósági) minimális védelem
↔
üzemeltetői elfogadható kár mértéke

tűzjelzés:

- elektromos tűz és gázok távozásának érzékelése (éghető gázok/hidrogén)
- lehető leghamarabb!

akkumulátor-kezelő (BMS):

- korai visszajelzés kell
- vészleállítások elvégzése

tűzoltás = korai teljes elárasztás!

- csökkenti a hőkisülés intenzitását és sebességét
- gátolja a továbbterjedést
- akadályozza az újragyulladást
- akadályozza az elektrolit-oxigén keverék robbanását



Nemzetközi kutatások – oltás technika

Összegző kutatás az oltóanyagokról:

oltási képesség → hűtő képesség → szigetelő
 képesség → mérgező → kevés maradék
 → kis költség

145 kutatási jelentés összegzése alapján

@L. Zhang, K. Jin, J. Sun, Q. Wang: A Review of Fire-Extinguishing Agents and Fire Suppression Strategies for Lithium-Ion Batteries Fire, Fire Technology 58., 2022

Ugyanazon légssebesség mellett vizsgálták vízköd nélkül az égés terjedését akkumulátor telepekben, majd vízköd rendszerrel is:

- a vízköd hatékonyabban gátolta meg a tovább terjedést,
- 3x bejuttatási faktorról szükséges kialakítani.

@Ahmed O. Said at al: Experimental Investigation of Suppression of 18650 Lithium Ion Cell Array Fires with Water Mist, Fire Technology 56., 2020

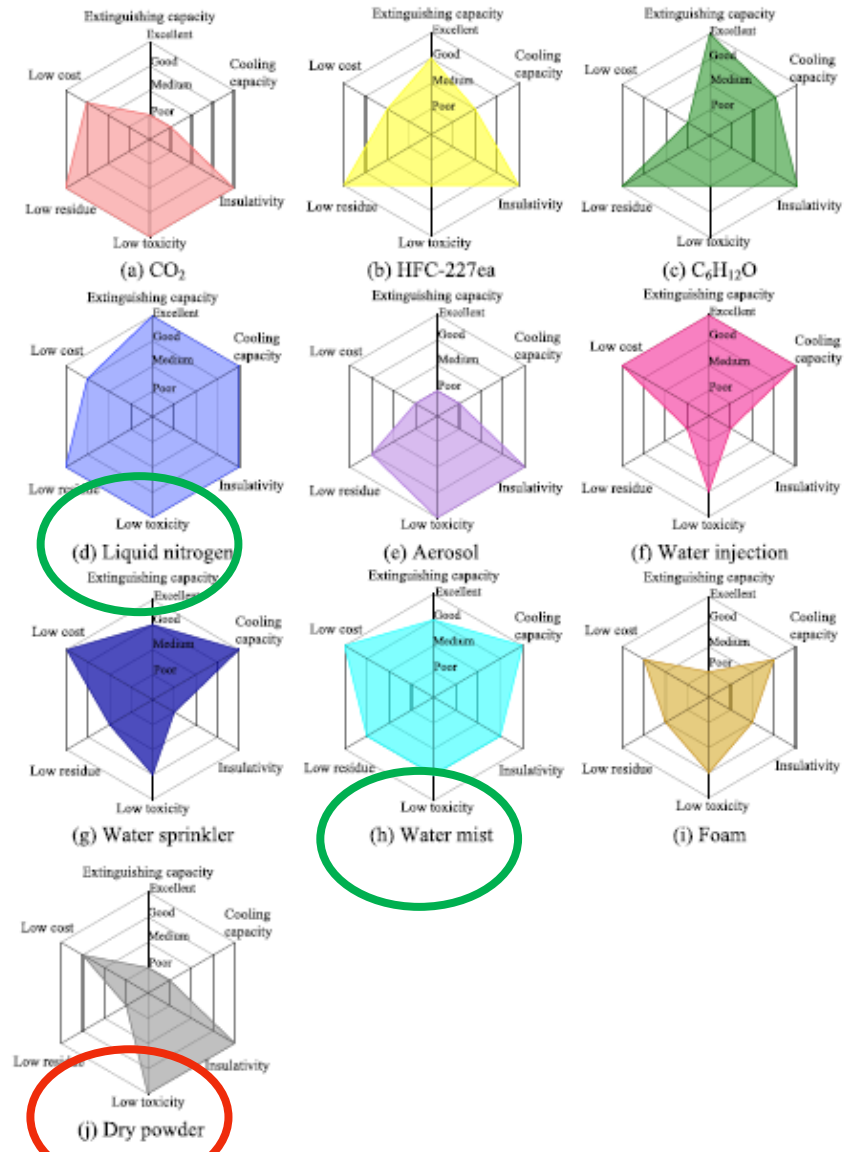


Figure 15. Characterization parameters of fire-extinguishing agents.

Oltási lehetőség - újdonságok

rászilárduló hab – teljesen „bezárja” – újrahasznosítható! (vermiculite)



@ Dr. Pántya Péter

létesítés / használat során lehetne ezeket is alkalmazni ...

<https://www.eurofeu.fr/eurofeu-distribution/metiers/extinction/extincteurs/gamme-extincteurs/lithex-descriptif.html>



PERFORMANCES

| | |
|----|-----|
| 1L | 3A |
| 2L | 5A |
| 6L | 13A |
| 9L | 13A |



6 l ≈ 180.000 ft

2022. 09. 7-8.

XI. Lakiteleki Tűzvédelmi Szakmai Napok



KÖSZÖNÖM A MEGTISZTELŐ FIGYELMET!