

ELEKTROMOS JÁRMŰVEK TÁROLÁSÁNAK ÉS TÖLTÉSÉNEK TŰZVÉDELME

1. VEZETŐI ÖSSZEFOGLALÓ

1.1. Célok

Tanulmányunkat az Ingatlanfejlesztői Kerekasztal Egyesület (IFK) megbízásából készítettük, amelynek legfontosabb célja az alábbiak:

- Az elektromos járművek építményeken belüli tárolásának biztonságosabbá tétele tűzvédelmi szempontból.
- Az elektromos járművek építményeken belüli tárolásához és töltéséhez kapcsolódó tűzvédelmi előírások megalkotása illetve a meglévő szabályok átalakítása.

1.2. Probléma felvetés

Az e-mobilitás, azon belül a lakossági használatú, részben vagy teljesen elektromos hajtású járművek gyors terjedésével a hagyományos járművektől eltérő, az akkumulátorokból kiinduló tüzesetek is megjelentek. Ugyan a mai napig nem mutattak ki különbséget a hagyományos robbanómotoros meghajtású járművek és az elektromos járművek tűzkeletkezésének gyakorisága között, azonban egy elektromos járművek tüzeinek lefolyása alapvetően eltér a hagyományos meghajtású járművekéétől. Jellemző a tűz teljesítményének gyors növekedése mellett a rendkívül nehéz olthatóság, továbbá a tűzoltást követő újragyulladás, ami az akkumulátorok, illetve azok járműveken belüli elhelyezésének tűzvédelmi sajátosságaiból adódik. Építményeken belül, parkolóházakban a tűzoltás még nehezebben végezhető el, mert sűrűn álló járművek és szűk belső tér mellett a jelenleg ismert megoldások – tűzoltó takaró, vagy a jármű vízzel telített konténerbe emelése – nem alkalmazható. Mindezek miatt egy zárt garázsban bekövetkező elektromos autótűz esetében a tűz jelentős kiterjedésével kell számolni.

A gyors tűzfejlődés, az extrém magas hőmérséklet és a súlyosan mérgező füstgázok miatt a zárt garázsban tartózkodó személyek menekítése nem garantálható a jelenlegi tűzvédelmi szabályok betartása esetén. A zárt mélygarázsban bekövetkező elektromos autótűznek a magas hőmérséklet és a tűz kiterjedtsége miatt az épületszerkezetek jelentős károsodásával, sőt megsemmisülésével, az épület működésképtelenné, használhatatlanná válásával kell számolni. Ezen a téren már sajnos konkrét példák is rendelkezésre állnak. A zárt garázsokban történő elektromos autó tárolásnak és töltésnek aránytalanul nagy életvédelmi és anyagi kockázatai vannak. A szabályozási oldalon ezzel szemben, elsősorban az európai uniós normákhoz történő igazodás miatt olyan előírások születtek, amelyek kifejezetten előírják a zárt garázsok számára az elektromos autók befogadásának kötelezettségét és a töltőhelyek biztosítását.

Ez a technológia olyan gyors fejlődésben van, hogy az ezzel kapcsolatos biztonsági, tűzvédelmi, és egyéb előírások többéves lemaradásban vannak, ami megnehezíti a biztonságos használattal kapcsolatos ajánlások elkészítését.

Kijelenthetjük, hogy a nagyteljesítményű akkumulátor tüzek – különösen ideértve az elektromos járművek tüzeit - a jelenleg ismert módszerekkel nem vagy nagyon kis hatékonysággal olthatók el.

1.3. Javaslatok

Munkamódszerünk a hazai tapasztalatok összegyűjtése mellett a nemzetközi szakirodalom alapos áttekintése és kiértékelése volt. Ezek alapján javaslatokat fogalmaztunk meg, amelyeket széleskörű szakmai egyeztetést követően mindenki által elérhető irányelvben javaslunk megjelentetni. Ezek rövid kivonata az alábbi:

- Az előírások szerint elektromos töltőhellyel rendelkező parkolók lehetőség szerint az épületek környezetében, a szabadban, közterületen kerüljenek elhelyezésre.
- Épületeken, építményeken belül fedett/zárt térben ne kerüljön telepítésre gyors- vagy villám-töltő.
- Az elektromos töltőhelyek kijelölésénél vegyék figyelembe a garázsokon belüli menekülési útvonalakat, hogy az ott tartózkodók kijutása biztonságos legyen.
- A töltők építményeken belüli elhelyezésére készüljön részletes szabályozás annak érdekében, hogy töltőn lévő elektromos jármű tüze ne veszélyeztesse az érintett helyiség kiürítését, továbbá a tűzoltók a lehető legkönnyebben meg tudják közelíteni ezen járműveket. Szabályozásra vonatkozó tervezet mellékelve.
- Épületeken belüli töltők környezetében a tűzveszélyt nem növelő, nem éghető szerkezetek és burkolatok alkalmazása ajánlott.
- Elektromos járművek tárolására és töltésére szolgáló épület, építmény – beleértve a nyitott parkolóházat is – beépített tűzjelző berendezéssel legyen ellátva, a Tűzoltóság felé automatikus tűzjelzés továbbítással.
- A töltőhelyek környezetében 2, 3, legfeljebb 4-6 gépkocsiállásonként a parkolóállások körül – a parkolóállások közlekedési út felé néző oldala kivételével - megfelelő tűzállóságú elválasztó szerkezetek készüljenek a tűz terjedésének korlátozására.
- Két-vagy háromszintes, nem automatikus kiszolgálású gépkocsitárolókban egymás fölött ne legyenek elektromos vagy plug-in hibrid járművek elhelyezve. Teljesen automatikus kiszolgálású gépjármű tárolónál a beépített tűzjelző berendezés mellett beépített oltóberendezés telepítése ajánlott, továbbá nem javasolt töltőberendezés kiépítése sem.
- Parkolóházak esetében javasolt az érkező gépkocsik előzetes hőkamerás ellenőrzése a behajtást megelőzően.
- Elektromos járművek tüzeinek oltására is alkalmas kézi oltókészülékek legyenek elhelyezve az érintett építményrészekben (a gépkocsitárolók ma már általában kamerás figyelő rendszerrel ellátottak, így a lopásvédelem is biztosított).

Végül a tűzvédelem mérnöki módszereinek alkalmazása – tűzszimulációk – esetén javaslatokat fogalmaztunk meg az elektromos járművek esetén jellemző tűzfolyamatok, tűzlefolyások, szcenáriók során a nemzetközi publikációkban rendelkezésre álló valós léptékű tűzteszt kis számának figyelembe vételére; a sprinklerrel védett gépkocsitárolókban a beépített oltóberendezés hűtő hatásának lehetséges figyelembevétele mellett az oltóhatás figyelmen kívül hagyására.

Kelt Budapest, 2022. december 14.

TARTALOMJEGYZÉK

1.	VEZETŐI ÖSSZEFOGLALÓ	1
1.1.	Célok	1
1.2.	Probléma felvetés	1
1.3.	Javaslatok	2
2.	BEVEZETÉS	4
2.1.	Előzmények	4
2.2.	A tanulmány céljainak meghatározása	5
2.3.	A tanulmány készítése során alkalmazott módszerek	5
3.	FOGALMAK	6
4.	ELEKTROMOS JÁRMŰVEK JELLEMZŐI ÉS TÖLTÉSÜK LEHETŐSÉGEI	7
4.1.	Az elektromos járművek osztályozása	7
4.2.	Akkumulátorok típusai, fő jellemzői	8
4.3.	Az elektromos járművek töltési lehetőségei	9
5.	JÁRMŰVEK TÜZEINEK VIZSGÁLATA.....	10
5.1.	Gépjárműtárolók tüzeseti tapasztalatai	10
5.2.	Elektromos járművek tüzeinek lefolyása	11
5.3.	Hagyományos és elektromos járművek tűzkeletkezési okainak összehasonlítása.....	12
5.4.	Hagyományos gépjárművek tűzlefolyása	13
5.5.	Elektromos járművek tűzoltási kérdései	14
5.6.	Elektromos járművek tűzkeletkezési gyakorisága	15
6.	A HAGYOMÁNYOS BELSŐ ÉGÉSŰ MOTORRAL HAJTOTT ÉS AZ ELEKTROMOS AUTÓK ÉGÉSI JELLEMZŐINEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA.....	16
7.	GÉPJÁRMŰTÁROLÓK TŰZVÉDELMI KIALAKÍTÁSA	18
7.1.	Építményszerkezetek tűzvédelmi jellemzői	18
7.2.	Beépített tűzjelző berendezés	18
7.3.	Beépített oltóberendezés	19
7.4.	Hő- és füstelvezetés kialakítása	20
8.	ÖSSZEFOGLALÁS, JAVASLATOK.....	23
8.1.	Az elektromos járművekkel kapcsolatos általános tűzvédelmi jellemzők összefoglalása..	23
8.2.	A szakirodalom feldolgozásából származó eredmények összefoglalása	23
8.3.	Műszaki-tűzvédelmi javaslatok.....	23
9.	SZAKIRODALMI HIVATKOZÁSOK.....	28
10.	RÖVIDÍTÉSEK, JELÖLÉSEK ÉS MAGYARÁZATUK.....	30

2. BEVEZETÉS

2.1. Előzmények

2020-ban ugrásszerűen, 66 százalékkal bővült az új elektromos autók piaca – a 3047 tisztán elektromos modell forgalomba helyezéséhez számottevően hozzájárult a 2020. május 20-án, majd ismételtén 2021. május 17-én bejelentett vásárlási támogatás is. A Magyarországon futó több mint 30 ezer zöld rendszámú autó közül 2021. április végéig 14 411 volt tisztán elektromos gépjármű; 2022. januárig további 71%-kal nőtt ez a szám, így jelenleg már több, mint 21.540 tisztán elektromos autó közlekedik az országban. A Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH) március végén közzétett összefoglalása szerint a magyarországi elektromos autókba 7,1 gigawattóra (GWh) energiát töltöttek az autósok a nyilvános elektromos töltőállomásokon tavaly. Az egy évvel korábbi adatokhoz képest 25 százalékkal nőtt a töltések száma, és 30 százalékkal a töltésekre fordított energia mennyisége.

Magyarországon az elektromos áramtermelés 90 százaléka szén-dioxid-mentes lesz 2030-ra, a teljes karbonsemlegességet pedig 2050-re kell elérni. A 25 ezer főnél nagyobb lélekszámú városokban kizárólag elektromos buszokat lehet forgalomba állítani 2022-től. A kormány elindította a „Zöld busz program”-ot, így minden második autóbusz környezetbarát lehet a nagyvárosok helyi közlekedésében 2030-ra. 123 busz évente minimum 8 ezer tonna szén-dioxid kibocsátástól mentesíti a környezetet, ezt a mennyiséget 120 ezer kifejlett fa tudná megkötni. A Program keretében 2020 és 2029 között összesen 35,9 milliárd forint áll rendelkezésre a nagyobb városok és közlekedési közszolgáltatók számára, elektromos meghajtású buszok és önjáró trolibuszok beszerzésének támogatására.

Ennek azonban infrastrukturális igénye is van, vagyis ki kell építeni a szükséges töltőhálózatot, ám sok esetben nincs elegendő elektromos teljesítmény, ezért a helyi villamos hálózatot is fejleszteni kell. 2021 első negyedévi adatok alapján a nyilvános elektromosautó- töltők száma 45%-kal nőtt, akkor 1627 db engedélyköteles töltő üzemelt az országban.

A jelen tanulmány az Ingatlanfejlesztői Kereszteszt Egyesület (IFK) megbízásából készült. A megbízás célja az elektromos járművek épületekben történő elhelyezési kockázatának vizsgálata. Megbízó kérése, hogy a tanulmány az alábbi területeken vizsgálja meg az elektromos járművek elhelyezésével kapcsolatos körülményeket.

1. A tűz okai, körülményei és valószínűsége
 - Az elektromos járművek tűzkeletkezésének körülményei
 - A legnagyobb tűzkockázati tényezők
 - Az elektromos járművek tüzeinek statisztikai valószínűsége zárt garázsban (töltés közben és anélkül)
 - Az elektromos járművek tüzeinek fizikai tulajdonságai, tűzfejlődés, hőmérséklet, a fejlesztett gázok veszélyessége
2. Tűz terjedése és tűzoltási lehetőségek parkolóházakban, mélygarázsban
 - Javasolt intézkedések a tűz megelőzésére, izolálására.
 - A keletkező mérgező gázok épület kiürítését befolyásoló hatása
 - Elektromos jármű tüzeinek terjedése nyitott vagy zárt gépkocsitárolóban, ha az elektromos jármű mellett, robbanómotoros (dízel, benzin üzemű), illetve elektromos jármű parkol
 - Hagyományos és elektromos járművek tűzoltási lehetőségei nyitott vagy zárt gépkocsitárolóban
 - Javasolt intézkedések a tűz oltásának megkönnyítésére

- Milyen eszközökkel, tapasztalattal és felkészültséggel rendelkezik ma Magyarországon a tűzoltóság egy ilyen tűz oltására.
 - Egy e-autó zárt garázstűz esetében vélhetően milyen forgatókönyv szerint zajlanának az események és mennyi idő lenne ennek a lefutása:
 - *Az elektromos járműtűz kialakulása*
 - *Tűzfejlődés*
 - *Az épület kiürítése*
 - *A tűzoltóság kiérkezése a helyszínre*
 - *A tűzoltás megkezdése*
 - *A tűzoltás folyamata*
 - *A tűz eloltása*
 - *A tűzkárok vizsgálata*
3. Az épületszerkezetek várható károsodása a tűz következtében
- A tűznek az épületszerkezetekre gyakorolt hatásai. A vasbeton tartószerkezet várhatóan milyen mértékben és mekkora területen károsodik. Ez a károsodás veszélyezteti-e az épület globális állékonyságát?
 - A gépészeti és elektromos rendszerek várható károsodása
 - A tüzet követően az épület használatbavételre való alkalmassága
4. Változások a vagyonbiztosítás, a kockázatkezelésben
- Elektromos járművek tárolása töltéssel és anélkül.
 - Elektromos járművek tárolása a jelenlegi gépkocsitárolási feltételektől eltérő ajánlásokkal.
 - *Nagyobb elhelyezési távolságok*
 - *Védőeszközök használata (beépített tűzjelző és oltóberendezés, tűzoltó takaró, stb.)*
 - *Épületen belül alkalmazható töltő típusok megjelölése*
 - *Egyéb korlátozó intézkedések, pl sérült karosszériájú e-autók kitiltása a garázsokból*

2.2. A tanulmány céljainak meghatározása

A tanulmány készítésének idején, azaz 2022-ben Magyarországon az elektromos járművek épületen belüli elhelyezésének és töltésének témakörében jogszabályi előírás, a megfelelő műszaki megoldásokat bemutató irányelv vagy átfogó tanulmány nem áll rendelkezésre, bár a témába vágó szakcikk már évek óta jelennek meg magyar nyelven is. Jelen tanulmányunk céljai az alábbiak:

- a villamos járművek tüzeseteinek megelőzésére javaslatok tétele;
- a villamos járművekből származó tüzek során épületszerkezetekre gyakorolt hatásainak tisztázása, különös tekintettel az eltérésekre hagyományos gépjárművek tüzeseteinek lefolyásához képest;
- javaslattétel a villamos járművek különböző épületekben történő elhelyezésének és töltésének szabályaira.

Nem tárgya és nem célja a tanulmánynak az elektromos járművek gyártásával, karbantartásával, javításával, újrahasznosításával kapcsolatosan felmerülő tűzvédelmi kérdések feltárása és ezekkel kapcsolatos műszaki – tűzvédelmi javaslatok tétele.

2.3. A tanulmány készítése során alkalmazott módszerek

A nemzetközi szakirodalomban az elektromos járművekkel kapcsolatban számos kutatási jelentés, publikáció, sőt irányelv, szabvány érhető el. Mivel valós léptékű tüztesztek elvégzésére Magyarországon nincs lehetőség, a tanulmány összeállításánál az elérhető külföldi anyagokból

indultunk ki. Áttanulmányoztunk számos, a közösségi portálokon elérhető, elektromos járművek tüzesetéről készült videót. Műszaki – tűzvédelmi javaslatainkat tehát a rendelkezésre álló ismeretek áttekintésével, kiértékelésével, illetve hazai körülmények közé történő illesztésével tettük meg, a megbízói szempontrendszer figyelembevételével.

3. FOGALMAK

Jelen tanulmány az alábbi jogszabályok, előírások egymással harmonizált fogalmait alkalmazzuk:

- Az épített környezet védelméről szóló törvény (1997. évi LXXVIII. tv.) [1];
- A tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról szóló 1996. évi XXXI. Törvény [2];
- Az Országos Településrendezési és Építési Követelményekről szóló, többször módosított 253/1997.(XII.20.) Kormány rendelet [3],
- a 8/2022 (IV.14) BM rendelettel módosított 54/2014 (XII.05.) BM rendelettel kiadott Országos Tűzvédelmi Szabályzat (továbbiakban: OTSZ) [4],
- a tűzvédelmi műszaki irányelvek közül az alábbiak:
- Tűzterjedés elleni védelem (1.5:2022.06.13.),
- Kiürítés (2.5:2022.06.13.),
- Hő- és füst elleni védelem (3.4:2022.06.13.)
- Tűzoltó Egységek Beavatkozását Biztosító Követelmények (azonosító: TvMI 4.3: 2022.06.13.);
- Beépített tűzjelző berendezés tervezése, telepítése (azonosító: TvMI 5.3: 2022.06.13.);
- Beépített tűzoltó berendezés tervezése, telepítése (azonosító: TvMI 6.4: 2022.06.13.);
- Villamos berendezések, villámvédelem és elektrosztatikus feltöltődés elleni védelem (azonosító: TvMI 7.5:2022.06.13.);
- Számítógépes tűz- és füstterjedési valamint menekülési szimuláció (azonosító: TvMI 8.5: 2022.06.13.);
- Építményszerkezetek tűzvédelmi jellemzői (azonosító: TvMI 11.3:2022.06.13.);
- Robbanás elleni védelem (azonosító: TvMI 13.3:2022.06.13.);
- Kockázati osztályba sorolás (azonosító: TvMI 14.2:2022.06.13.).

A felhasznált fogalmak közül a legfontosabbak az alábbiak: gépjármű, gépjárműtároló (Kockázati osztályba sorolás TvMI), nyitott gépjárműtároló (Hő- és füst elleni védelem TvMI), tűzfolyamat (Számítógépes tűz- és füstterjedési valamint menekülési szimuláció TvMI).

A fentiekén túl az alábbi fogalmakat használjuk, illetve javasoljuk bevezetni:

Hagyományos gépkocsitároló: olyan gépkocsitároló, amelybe a járműveket kezelőszemélyzet vagy a járművek tulajdonosai juttatják és távolítják el, segédberendezések (pl. parkolólift vagy kétszintes tárolóberendezés) nélkül;

parkológépes vagy parkolóemelővel ellátott gépjárműtároló: amelybe a járműveket kezelőszemélyzet vagy a járművek tulajdonosai juttatják és távolítják el, segédberendezések segítségével (két-vagy háromszintes tárolóberendezés);

Kizárólag gépkocsiliften keresztül megközelíthető gépkocsitároló: olyan gépkocsitároló, amelyet kizárólag gépkocsiliften keresztül lehet gépjárművel megközelíteni, beleértve a rollereket és kerékpárokat is;

Automatikus kiszolgálású gépkocsitároló: olyan gépkocsitároló, amely kizárólag automatikus vezérlésű gépi kiszolgálású, amelynek tárolóterületén kezelőszemélyzet nem

tartózkodik, csak üzemben kívüli időszakban tartózkodnak karbantartók és a járművek kezelőszemélyzet vagy a járművek tulajdonosai nélkül, automatikusan kerülnek betárolásra.

Megjegyzés: a fenti kategóriák között átfedések is lehetnek (pl. egy többszintes gépjárműtároló lehet kizárólag gépkocsiliften keresztül is megközelíthető). Nem részleteztük az egyéb, gépjárművek mozgatásának segítésére szolgáló berendezéseket (pl. fordítókorongok, gépjármű mozgató tálcák), mivel ezek jelen tanulmány tárgyát képező elektromos járművek szempontjából nem jelentenek többlet veszélyt.

4. ELEKTROMOS JÁRMŰVEK JELLEMZŐI ÉS TÖLTÉSÜK LEHETŐSÉGEI

4.1. Az elektromos járművek osztályozása

Az elektromos járművek közé az alábbiak tartoznak:

- **Hibrid járművek (HEV):** ezek alapvetően belsőégésű motorral (jellemzően Atkinson ciklusú szívó benzines motorral) üzemelnek, elektromos üzemből önállóan nem vagy csak pár kilométert képesek haladni. Az elektromotor szerepe a benzinmotor által biztosított erő növelése gyorsításnál, aminek köszönhetően a benzinmotor a hatásfok, illetve fogyasztás szempontjából kedvező Atkinson ciklus működésű lehet. Az akkumulátorok teljesítménye a működési elvből adódóan viszonylag csekély és csak a belsőégésű motor tölti, hálózatról nem tölthető. A működési módjuk rendkívül változatos, a belsőégésű motor mellett 1-3 villanymotorral ellátottak egyaránt vannak, a villanymotorok a belsőégésű motorral párhuzamosan, különböző nyomatékösszegző vagy fordulatszámösszegző módon egyaránt kapcsolódhatnak.
- **Tölthető hibrid járművek (PHEV):** a hibrid járművekhez képest nagyobb, hálózatról is tölthető akkumulátor, amellyel 16-115 km közötti hatótáv érhető el (Porsche 918 Spyder – Polestar 1 PHEV). Városban, kis és közepes távon a jármű elektromos üzemből, hosszú távon viszont a belsőégésű motorral tud közlekedni.
- **Hatótávnövelt elektromos járművek (EREV vagy REX):** itt a belsőégésű motor generátort hajt meg, ami az akkumulátort tölti; utóbbi lehet hálózatról is tölthető, de anélkül gyártott hatótávnövelt jármű is létezik. A belsőégésű motor itt nincs közvetlen kapcsolatban a hajtáslánccal, a járművet az elektromotor hajtja. Ilyen jármű a Chevrolet Volt, az Opel Ampera, egyes BMW i3 típusok – ezeket azonban nagyrészt már nem gyártják. Vannak olyan hatótávnövelt elektromos járművek, amelyekben a belsőégésű motor bizonyos sebesség fölött, országúti vagy autópályás menet esetén - sebességváltó nélkül - mégis összekapcsolódik a kerekekkel (pl. Honda Civic, Honda CR-V).
- **Teljesen elektromos üzemből járművek (EV):** belsőégésű motor nélküli, kizárólag villanymotorral működő járművek, amelyekben a hálózatról tölthető akkumulátor ennek megfelelően akár 100 kW is lehet, a hatótávolság 250-450, sőt akár a 600 km-t is elérheti. A teljesen elektromos üzemből járművek közé nemcsak személy- és egyéb gépkocsik, hanem elektromos rollerek, kerékpárok és egyéb személyi közlekedési eszközök is tartoznak, igen különböző kapacitású akkumulátorokkal. Ilyen jármű a Tesla összes típusa, a Porsche Taycan, a különböző Audi e-tron típusok stb.

A VdS3885:2020-12 (01) [5] az akkumulátorokat azok egységteljesítményétől függően sorolja veszélyességi csoportokba. Az 1 kWh alatti egységteljesítményű akkumulátorok kevésbé, az 1-50 kWh közötti egységteljesítményű akkumulátorok közepesen, az 50 kWh fölötti akkumulátorok fokozott veszélyt jelentenek. A jelenlegi trend az egyre nagyobb egységteljesítményű akkumulátorok alkalmazása a tűzveszélyt növeli.



1-2 sz. képek. Közepes és nagy hatótávolságú elektromos jármű alváza és hajtáslánca (balra: BMW i3, jobbra: VW ID3)

4.2. Akkumulátorok típusai, fő jellemzői

Az elektromos járművekben leggyakoribb lítium-ion akkumulátorok fő részei: anód, katód, szeparátor, elektrolit és kivezetések (pólusok). Savas akkumulátorok alkalmazása az elektromos járművekben ma már nem jellemző, mivel energiasűrűségük alacsony, mindössze 35-50 Wh/kg. Az elektromos járművekben jellemző, leggyakoribb akkumulátorok az alábbiak (a katódként alkalmazott vegyület alapján osztályozva):

- Lítium mangán oxid (LMO),
- Lítium kobalt oxid (LCO),
- Lítium-nikkel-kobalt-alumínium oxid (NCA),
- Lítium-nikkel-mangán-kobalt oxid (NMC)
- Lítium-vas-foszfát (LFP): az energiasűrűség 100-130 Wh/kg
- Nátrium-nikkel- klorid: az energiasűrűség 90-120 Wh/kg

Töltés során lítium ionok a katód felől az anód felé áramlanak, a kisütés során a folyamat megfordul; a katódot és az anódot a szeparátor választ szét elektromosan. Az elektrolit általában gyúlékony anyag; különböző karbonátokból (pl. propilén karbonát) vagy lítium-hexafluorofoszfátból (LiPF₆) áll.

Míg a hagyományos járművekben régebben 12 V, ma 24 vagy 48 V az elektromos hálózat feszültsége, az elektromos járművekben alkalmazott akkumulátorok által biztosított feszültség 650 V is lehet.

A lítium-ion akkumulátorok akkor kezdték felváltani a korábban használt nikkel metál-hibrid akkumulátorokat, amikor a megfelelő védelmi áramkörök és jobb szeparátorok rendelkezésre álltak, ugyanis a lítium-ion akkumulátorok hő- és feszültségérzékenysége nagyobb. Az akkumulátor szerkezetébe épített biztonsági eszközök (BMS) a kapcsolódó kockázatok csökkentése érdekében a töltöttséget, túláramot, a túlmelegedést vagy a nyomást figyelik, ezek az árammegszakító eszközök (CID) és pozitív hőmérsékleti együttható (PTC) eszközök. A biztonsági szellőző létfontosságú a megnövekedett belső nyomás esetén. A biztonsági szellőzőnyílás lehetővé teszi a megnövekedett nyomás kiszellőztetését, ami gátolja az akkumulátor házának károsodását. A TR súlyossága vagy hatása részben összefügg a nyomásnövekedéssel és ezt követően a nyomás felszabadulásával a cella belsejéből. Amikor a belső nyomás eléri a kritikus határt, a biztonsági szellőzőnyílás megnyílása hatékonyan csökkenti a kifelé irányuló nyomást a cella burkolatán. A CID-t általában túlmelegedés okozta megemelkedett hőmérséklet aktiválja, túltöltés és rövidzárlat esetén; akkor működik, amikor a gőznyomás az alumíniumlemezre hegesztett forrasztások elengednek és felszabadítják a nyomáscsökkentő lapot. A PTC elektródák fő célja az akkumulátorok védelme a tervezettől eltérő elektromos körülmények esetén, mint például a túltöltés vagy kisülés.

4.3. Az elektromos járművek töltési lehetőségei

Az elektromos járművek töltői között jelentős különbségek vannak; osztályozásuk alapja a csatlakozó mellett a töltés sebessége. Az otthoni vagy munkaidő alatti töltésre hosszabb idő is rendelkezésre áll, így épületen belül viszonylag kis kapacitású töltők is elegendők. Az autópályák, illetve főutak mentén lehet szükség utazást segítő töltőkre, amelyek nagy teljesítményű (legalább 40 kW) villámtöltők, többnyire egyenáramú (DC), 44-50 kW CHAdeMO, vagy CCS csatlakozóval rendelkeznek, de akad olyan is, amin van 43 kW-os váltakozó áramú (DC) Type 2 csatlakozó is. Ezek a töltők akár már 15-20 perc alatt is megfelelő mennyiségű energiával töltik fel az akkumulátort. Ha megérkeztünk valahova, akkor érdemes célállomás töltőre tenni az autót. Ezek jellemzően kis teljesítményű, 22 kW-os AC töltők.

Az akkumulátortöltők további kategorizálása:

- Otthoni töltők: lassú töltők, 10-16 amperrel töltik az autót, teljesen lemerült állapotról 8-10 óra alatt töltik fel, ezek váltóáramú töltők Type 1 (Nissan Leaf, Kia Soul,), Type 2 (Tesla Model S, VW eGolf, Renault Zoe), jellemzően 2,3-3,6 kW leadásra képesek (ha három fázison működik, akkor ez lehet 11 kW is). A töltési idő függ az akkumulátor méretétől és az invertertől is. 3,6 kW-os inverter esetén egy 24 kWh akkumulátorú Nissan Leaf feltöltése 16 A-es töltővel ~7-8 óra.
- Gyári töltő: a villanyautókhoz jár egy gyári töltő (Nissan Leaf, BMW i3, Kia Soul), ami 10 A teljesítménnyel képes tölteni, ezzel az autót bárhol fel lehet tölteni.
- Fali töltő: az otthoni töltés kényelmes változata, csak a falról le kell emelni a kábelt és az autóhoz csatlakoztatni.
- Utcai gyorsöltő: ez a kategória tartalmazza az összes 3,6-40 kW-os váltóáramú töltőt. Az ELMŰ által üzemeltett oszlop 22 kW-os, az E-ON által telepített 11-22 kW-os. Type2-es töltővel lehet csatlakozni hozzájuk. Az ELMŰ töltőinél a töltés ideje alatt a parkolás ingyenes. Az E-ON töltői szállodáknál és éttermek közelében találhatók, ahol hosszabb ideig tartózkodik az autós. Ezeken az oszlopokon nincs kábel, azt vinni kell. A gyorsöltőnél a töltési sebesség nagyobb mértékben függ az autó inverterétől.
- Villámtöltő: 40 kW-nál nagyobb kapacitású töltők, jellemzően egyenáramú (DC), ezek a töltők arra lettek kitalálva, hogy elősegítsék a lehető leggyorsabb továbbhaladást az akkumulátor 80%-ra feltöltésével. A japán autógyártók által kifejlesztett CHAdeMO rendszert használja a NISSAN, Kia, Mitsubishi, Citroen, Peugeot. A Type 2 továbbfejlesztéséből lett a CCS csatlakozó, amit a BMW és VW támogat. Tesla Model S Type2 csatlakozón egyenárammal is tölthető, így a Tesla Supercharger hálózat ilyen csatlakozóval rendelkezik.

Természetesen a csatlakozók egymással nem kompatibilisek és az átjárhatóság minimális. A Tesla készített olyan adaptert, amely a CHAdeMO csatlakozót át tudja alakítani a számára megfelelőre.

Magyarországon többnyire CHAdeMO rendszerű oszlopok vannak, azonban léteznek már dupla vagy tripla szabványt támogató töltők is. Azonban egyszerre nem lehet CHAdeMO és CCS szabványú autót tölteni, de van olyan oszlop, amelyiken CHAdeMO/CCS töltés mellett lehet Type2-es csatlakozón keresztül tölteni váltóárammal.

A villámtöltőknél nem szabad hosszabb időre otthagyni az autót. Az utolsó 15-20 %-a a töltésnek nagyon lassan történik az akkumulátor kímélése érdekében.

A töltés során az alábbi veszélyek okozhatnak tüzet:

- nem megfelelő töltő alkalmazása vagy töltő nem megfelelő csatlakoztatása,
- a töltőberendezés vagy a töltőkábel sérülése,
- a töltő környezetében víz vagy éghető folyadékok jelenléte,

- elektromágneses mező jelenléte,
- szomszédos jármű tüzeinek áttérjedése.

5. JÁRMŰVEK TÜZEINEK VIZSGÁLATA

5.1. Gépjárműtárolók tüzeseti tapasztalatai



3-4 sz. képek. 2017.12.31 – 2018.01.01. Liverpool – nyitott gépjárműtároló tüzesete

2017. szilveszter éjszakáján Liverpool-ban egy nyitott gépjárműtárolóban keletkezett tűz. A liverpooli tüzesetben érintett nyitott gépkocsitárolóban sem automatikus tűzjelző berendezés, sem tűzszakaszolás nem volt. A tűz szilveszter éjszakáján keletkezett, így későn vették észre; a tűzoltás során oltóvízellátási problémák is felléptek. Összesen 1400 autó semmisült meg, egyes helyeken a vasbeton födémek is súlyosan károsodtak.



5 sz. kép. 2020.01.07 Stavanger Airport, Sola, Norvégia

2020. januárjában a norvégiai Stavanger repülőtér területén található parkolóházban keletkezett tűz. A norvégiai tüzesetben egy 3000 jármű tárolására szolgáló acélszerkezetű gépjárműtároló volt érintett. Sprinkler berendezés nem volt, viszont tűzszakaszolás létesült - összesen 300 autó

megsemmisült, az épület egy részén 5 emelet omlott össze, továbbá az aznapi összes repülőjáratot törölni kellett a tűz során keletkező füst miatt. A tűz emberéletet nem követelt.



6-7 sz. képek. 2020.10.16 Górczewska (Lengyelország), zárt pincszinti gépjárműtároló tüzesete

A lengyelországi tüzeset egy lakóépület pincszintjén keletkezett, ahol sem beépített tűzjelző berendezés, sem hő- és füstelvezetés, sem beépített oltórendszer nem volt. 15 autó semmisült meg, a födémszerkezet javíthatatlanná vált, a csatlakozó lakóépület 2 hétre áram és víz nélkül maradt, ráadásul a biztosító nem fizetett, mivel az épület biztosítása nem terjedt ki az elektromos autókra.

A fenti példákból jól látható, hogy a járműtüzek az épületekre, épületszerkezetekre jelentős hőfelszabadulással, magas hőmérsékleti hatásokkal járnak.

5.2. Elektromos járművek tüzeinek lefolyása

A lítium ion akkumulátorok tűzkeletkezésének folyamata az akkumulátor meghibásodását követő gázfeljődéssel kezdődik (HF, CO, CO₂, POF₃, stb.), amely eleinte az akkumulátoron belüli nyomást növeli meg, majd a nyomáslevezetőkön keresztül a környezetbe jut. A gázok megjelenése a tűzjelzés szempontjából is fontos. Emellett melegedés kezdődik, amely az akkumulátort alkotó anyagok termikus bomlását eredményezi, amelynek során füst keletkezik. A termikus bomlást követi a meggyulladás, a tűz.

Ha egy akkumulátor melegedni kezd – amelyet a 4.1. fejezetben ismertetett okok bármelyike előidézhet – 60°C fölött, általában 100°C körüli kritikus hőmérséklet felett megállíthatatlan láncreakció indul el, amelynek során az akkumulátorban tárolt energia felszabadul és az akkumulátorban az éghető elektrolit meggyullad. Ezt a folyamatot, thermal runaway-nak, magyar fordításban hőmegfutásnak nevezzük. Ha az egyik cella sérül, szinte biztosan áttérjed a szomszédos cellákra a tűz. Jelenleg nincs bizonyítottan hatásos technológia a hőmegfutás cellán belüli megállítására.

Fentiek miatt az elektromos járművek akkumulátoraiból felszabaduló gázok és a melegedés kritikus fontosságú információ a tűzkeletkezés megelőzésében. A melegedést a jelenlegi műszaki lehetőségek mellett legkönnyebben infrakamerákkal lehetne érzékelni, azonban ezek ára a tűzjelző rendszerek jelenlegi érzékelőihez képest jóval magasabb. Az akkumulátorcsomagok felügyelete (BMS, Battery Management System) felel a túltöltés megelőzéséért, ezen rendszerek információit is lehetne használni a veszélyek beazonosítására.

Az amerikai The Fire Protection Research Foundation 2013-ban készített átfogó kutatást a lítium-ion akkumulátorokkal összefüggésben [6]. Ennek keretén belül többféle vizsgálat zajlott, volt amelyik kizárólag az akkumulátorra és annak tűzben való viselkedését vizsgálta (pl. tűz közben

felszabaduló gázok felszabadulása), voltak továbbá járművek, illetve járművek modelljeinek valós léptékű tűztesztjei is. Felépítettek egy valós léptékű autó modellt (VFT – Vehicle Fire Trainer), amelynek a kialakítása nagyban hasonlít elektromos autóra. A modell 150 cm magas, 178 cm széles és 520 cm hosszú. Hasonló a kialakítása, mint egy városi terepjárónak és hátul hozzáférhető. Két különböző akkumulátorral is elvégezték a kísérleteket. Mind a két akkumulátor lítium-ion technológián alapul. Az egyik vizsgált akkumulátor 4,4 kWh teljesítményű volt, amit a csomagtartó alá helyeztek el. Ez egy tölthető hibrid jármű (Plug-in hibrid) esetén tipikus jellemző akkumulátor. A másik vizsgált akkumulátor egy 16 kWh-s, amelyet a padlólemez alá hosszában helyeztek el T alakban kialakítva, jellegzetesen a hatótáv-növelő robbanómotorral rendelkező elektromos autóban alkalmazott akkumulátorokra. Mind a két akkumulátor 100 %-os töltöttségi szinttel látták el a kísérlet során. A tűzteszt során az akkumulátorok felületén mért maximális hőmérsékletek 797 °C és 1513 °C között mozogtak. Az eredmények összefoglalva:

- A mért hőmérsékletek magasabbak voltak, mint a hagyományos járművek tüzeire jellemző hőmérsékletek, illetve jelentősen meghaladták az ISO 834 zárttéri hőmérséklet-idő kitéti görbét (a vizsgálat 7,5-22. perci között).
- Minden tesztben pattogó hangok voltak megfigyelhetők, valamint fehér füst jelent meg a sérült akkumulátorokból szivárgó elektrolitok égése miatt.
- Vizet használtak az oltás során, több időre és jóval több vízre volt szükség az oltáshoz, mint egy hagyományos jármű esetében.

Valós léptékű tűztesztetekkel kimutatták, hogy az akkumulátorok töltöttségi szintje nagymértékben befolyásolja a tűz teljesítményének csúcserőjét és időbeli alakulását.

5.3. Hagományos és elektromos járművek tűzkeletkezési okainak összehasonlítása

A hagyományos meghajtású járművek leggyakoribb tűzkeletkezési oka az üzemanyagrendszer meghibásodása; ha az üzemanyag a forró motorblokkra jut, meggyullad. Tűzkeletkezési ok lehet súrlódás is, amely jellemzően a fékek meghibásodása révén jelentkezik, vagy a kipufogórendszer meghibásodása; jellemző még a katalizátor által termelt hőtől meggyulladó éghető anyag, akár a jármű alatti száraz aljnövényzet. A hagyományos járművekben is jelentős tűzkeletkezési ok az elektromos hiba. Sajátos meghibásodás oka egyes dízelüzemű járművek kartergáz visszavezető rendszeréből a szívócsőrendszerben lerakódó olajos korom, ami az EGR hűtőt eltömve az egyébként is forró gázok, lerakódások további melegezését, majd meggyulladását okozza, amely az éghető műanyag szívócső meggyulladásával a teljes motortérre kiterjedő tüzet eredményeznek.

Az elektromos járművek tűzkeletkezési okai a hagyományos járművekétől részben eltérnek. Az elektromos hibák, a fékek meghibásodása mellett a hagyományos hajtásláncú járművekre jellemző üzemanyagtüzek, a kipufogórendszer tüze az elektromos járművekre természetesen nem jellemző. Az elektromos hibákból eredő tüzek közül a legkomolyabb az akkumulátorok tüze; a napjainkban legjellemzőbb lítiumion-akkumulátorok az alábbi okok miatt gyulladhatnak meg:

- Az **akkumulátor** olyan mértékű **sérülése**, amely kihat a szeparátor integritására. A sérülés baleset vagy az alváz egyéb okból történő sérülése (pl. járdaszegélyen történő fennakadás, vagy útközben nagyméretű akadályon történő áthajtás) következtében jöhet létre. Az akkumulátorok a járművek alsó részén, védett helyen vannak, és ütközésekre méretezik őket, illetve többféleképp is tesztelik a járműveket, az akkumulátorok külső behatás okozta sérülése mégsem zárható ki teljes mértékben.
- **Túltöltés**, amely a fémes lítium kiválását okozza az anódon, miközben a katód szén-dioxid gázt fejleszt. Utóbbi az égést ugyan nem táplálja, de addig növeli a belső nyomást, amíg a burkolat felhasad; a levegőben lévő nedvesség reagál a lítiummal és ez vezet az akkumulátor

meggyulladásához. Túltöltést és tüzet okozhat a töltőberendezés szabályozó rendszereinek szoftveres módosítása, hackelése is.

- **Mélykísülés**, amelynek során az elektródákon kristályok (dentritek) képződnek, amelyek átszúrják az anódot és a katódot elválasztó vékony szeparátort, ami zárlathoz, a zárlat pedig melegeedéshez, végül az akkumulátor meggyulladásához vezet.

Megjegyzés: mind a túltöltést, mind a mélykísülést az akkumulátorokat kezelő rendszer (BMS, Battery Management System) felügyeli az akkumulátor töltöttségének, állapotának figyelemmel kísérésével, a másodlagos adatok kiszámításával, az adatok jelentésével, a környezeti viszonyok kiértékelésével és ezek alapján szükség szerint beavatkozással.

- Ha az akkumulátor pólusai fémtárgyakhoz érnek, akkor hő keletkezik, illetve az elektrolit kifolyhat, amely gyúlékony anyag (általában metil-karbonátok keveréke). Ez bekövetkezhet mechanikai hatás (pl. ütközés, ütődés) esetén is. A mechanikai hatás a szeparátor sérülését is eredményezheti. Emiatt az akkumulátorok pólusait tárolás közben védeni kell (leggyakrabban műanyag fedelekkkel, takaróelemekkel).
- **Külső magas hőmérséklet vagy tűzkitét.** Ekkor az anódot és a katódot elválasztó szeparátor elolvadhat, ami zárlathoz, a zárlat pedig melegeedéshez, végül az akkumulátor meggyulladásához vezet. [6]

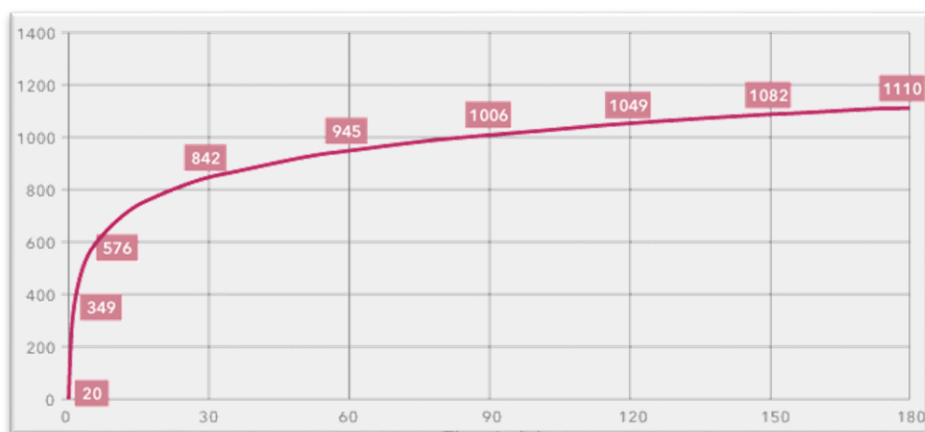
Különösen fontos körülmény, hogy a szakirodalom szerint az elektromos járművek tüzei jelentős hányadban töltés közben keletkeznek; az VdS3471 3885 szerint ez elérheti az 50 %-ot is.

Tűzvédelmi szempontból további kihívást jelent, hogy lítium-ion akkumulátorok égéséhez szükséges oxigén megfelelő mennyiségben keletkezik az anód és a katód bomlásából adódóan, tehát a környezetből történő oxigén elvonás nélkül is képesek égni. A bomlástermékekből származó gázok az akkumulátoron belüli nyomást megnövelik, amely az akkumulátor burkának felhasadásához vezet, így a gyúlékony elektrolit is ki tud jutni a környezetbe.

Jellemző továbbá a balesetet követő tűzkeletkezés is [7]. Ebben is van különbség a hagyományos meghajtású és az elektromos járművek között. Míg a hagyományos meghajtású járművek ütközéskor bekövetkező tüzei jellemzően az üzemanyag ellátó rendszer sérüléséből származnak, az elektromos járművek tüzei az akkumulátor sérüléséből erednek. Ezt a veszélyt csökkenti az akkumulátorok minél védettebb elhelyezése a jármű alsó részén, továbbá a jármű szerkezetének és az akkumulátor szerkezeti megerősítése, azonban adódóan az elektromos járművek nemcsak közvetlen a balesetet követően tudnak meggyulladni, hanem akár jóval később is. Az akkumulátorcsomag kisebb sérülése esetén ugyanis a melegeedés lassan is elindulhat, jóval későbbi hőmegfűtést és tűzkeletkezést eredményezve. Kisebb ütközés, koccanás esetén ez nem zárható ki akár egy parkolóházban vagy épülethez tartozó mélygarázsban sem.

5.4. Hagományos gépjárművek tűzlefolysa

A különböző tüzek épületszerkezetekre gyakorolt hatását azok teljesítmény-idő diagramjaival, vagy a hőmérséklet-idő kitéti görbékkel lehet legjobban leírni. A tartószerkezetek tüzeseti méretezésénél a hőmérséklet-idő kitéti görbék használata elterjedtebb, ezeket támogatják a tartószerkezetek tüzeseti méretezését tartalmazó Eurocode szabványok.



8 sz. kép: A ISO 834 szerinti hőmérséklet-idő kitéti görbe

A különféle épületszerkezeteken végzett szabványos tűzvédelmi vizsgálatokat az ISO 834 ún. cellulóz hőmérséklet-idő görbe szerint végzik. Eszerint 30 perc elteltével 842 °C, 60 perc elteltével 945 °C, 90 perc elteltével 1006 °C a hőmérséklet kitéti, amely a szabványos vizsgálatoknál egyenletesen, 5 % tűrésen belül éri a vizsgált szerkezetet.

Hu, Y., Zhou, X., Cao, J kutatásukban egy kisbusz tüzesetének hőmérséklet-idő kitéti diagramját mutatják be [8]. A tűz a kísérlet tapasztalatai alapján 750 s, azaz már 12,5 perc elteltével elérte az 1000 °C-ot és hosszú percekken át, 1600 s-ig tartja is. A kísérlet alapján már a hagyományos járművek tüze során mérhető hőmérsékletek is az ISO 834 zárttéri hőmérséklet-idő kitéti görbék fölött futnak, ami két problémát vetít elő: az egyik az ilyen magas hőmérsékletek tartószerkezetekre gyakorolt hatása, a másik a tartószerkezetek méretezési problémái az ISO 834 zárttéri hőmérséklet-idő kitéti görbénél magasabb hőmérsékletekre; az Eurocode szabványok méretezési módszerei ugyanis általában az ISO 834 kitéti görbe szerintiek.

5.5. Elektromos járművek tűzoltási kérdései

Elektromos járművek tüzeinek oltása jelentős mértékben eltér a hagyományos, belsőégésű motorral hajtott járművek tüzeinek oltásától. Ez két tényezőn múlik:

- az egyik az akkumulátorcsomagok tűzoltási szempontból kedvezőtlen elhelyezkedése a járművek alvázában integrálva,
- a másik különösen kedvezőtlen tényező, hogy az akkumulátorok tüzeit hagyományos eszközökkel nem lehet oltani; nagymennyiségű vízzel történő hűtés során ha a lánggal égés megszűnik, a hűtés megszüntetése esetén az akkumulátor visszagyulladhat, akár az oltást követően sokkal később is, amíg töltés van benne.

Kézi oltókészülékek akkumulátorok tüzeinek oltására csak korlátozottan alkalmazhatók, bár megjelentek olyan oltókészülékek, amelyeket a gyártók kifejezetten akkumulátortüzek oltására javasolnak. A nagymennyiségű vízzel történő oltás csökkenti a tűz teljesítményét, azonban nem zárható ki a visszagyulladás. Az akkumulátorokból felszabaduló mérgező gázok jelenléte és az áramütés veszélye miatt nem javasolt hogy a Tűzoltóság kiérkezése előtt, védőfelszerelés nélküli személyek megkezdjék a tűzoltást.

A hatékony módszerek közé az elektromos járművek tüzeinek oltására szolgáló tűzoltó takaró és a jármű vízzel teli konténerbe történő helyezése tartozik. Mindkét módszer helyigénye jelentős, a tűzoltó takarót épületen belül nehezen, nem minden esetben lehet alkalmazni; szűk helyen, ahol az égő jármű mellett más járművek is parkolnak, csaknem lehetetlen a használatuk. Eltávolításuk során

számítani kell visszagyulladásra. A vízzel teli konténer alkalmazása épületen belül kizárható a helyigénye miatt.



9-10 sz. képek. Tűzoltó takaró és alkalmazása. Forrás: Fire Isolator, www.fireisolator.com



11-12 sz. képek. Tűzoltó konténer és alkalmazása. Forrás: Fire Isolator, www.fireisolator.com

A Rosenbauer érdekes, elektromos járművekre specifikusan kifejlesztett tűzoltó berendezést fejlesztett, amely épületen belül, szűk térben is alkalmazható. Kifejlesztésénél figyelembe vették hogy a járművek akkumulátora a karosszéria alsó részén található, így leghatékonyabban – bár nem a legkönnyebben alulról közelíthető meg. A berendezés két részből áll: vezérlőegység és a tűske; a berendezés tűskéjét a kigyulladt elektromos jármű akkupakkja alá tolják. A csövekkel és vezetékekkel a vezérlőegységhez csatlakoztatott tűske ezután átfúrja az akkupakkok falát, és vízzel árasztja el a villanyautó akkumulátorterét.



13-14 sz. képek. Tűzoltó tűske és alkalmazása. Forrás: Rosenbauer

5.6. Elektromos járművek tűzkezelési gyakorisága

A szakirodalom és a statisztikák áttekintésével [9] nem jelenthető ki hogy az elektromos járművek parkolóházakban történő töltése miatt nagyobb gyakorisággal keletkezne tűz. Ugyanakkor egyes adatok szerint az elektromos járművek tüzeinek 50 %-a töltés közben következik be. A

töltőberendezésekre vonatkozó elektromos szabályok megfelelőek; különösen fontos, hogy töltésre nem megfelelő aljzatokból ne történhessen töltés. Ezzel együtt sok a bizonytalanság a töltők tűzveszélyességéről és kialakításának megfelelőségéről, így a töltők épületen belüli elhelyezését konzervatív szemlélettel, a biztonság javára történő korlátozásokkal javasoljuk.

6. A HAGYOMÁNYOS BELSŐ ÉGÉSŰ MOTORRAL HAJTOTT ÉS AZ ELEKTROMOS AUTÓK ÉGÉSI JELLEMZŐINEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Minden jármű nagy mennyiségű éghető anyagot tartalmaz, beleértve az energia ellátó rendszert vagy az üzemanyagot és az éghető műanyag alkatrészeket [3]. A mai járművek esetében a járműben használt műanyagok tömege több száz kg is lehet, ami több, mint a folyékony üzemanyag (benzin vagy gázolaj). Az égéskésleltetés nélküli műanyagok égéshője (pl. 38,4 MJ/kg a polietilén és 27 MJ/kg a polisztirol esetében) nem sokban különbözik a benzintől (47 MJ/kg), így az égő műanyag alkatrészekből származó teljes hőkibocsátás jelentős mértékben hozzájárulhat a jármű tűzéséhez.

Sun, Peiyi & Bisschop, Roeland & Niu, Huichang & Huang, Xinyan tanulmánya alapján az akkumulátortűzek 5-10-szer több energiát szabadíthat fel a tárolt elektromos energiából, attól függően, hogy milyen az akkumulátor töltöttségi szintje [10].

Feltételezve, hogy a lángoló égés hője hétszerese a tárolt elektromos energia szorzatának, egy tisztán elektromos jármű 400 km megtételére alkalmas 90 kWh-s EV akkumulátorcsomagjának elégetéséből származó teljes hőmennyiség:

$$Q_{LIB} = 90 \text{ kWh} \times 7 \times 3,6 = 2,3 \text{ GJ}$$

Összehasonlításképpen egy tipikus benzin üzemanyagú jármű esetén ha az üzemanyag-fogyasztása 7,5 l/100 km, ugyanazon 400 km-es hatótávolsághoz szükséges benzin térfogata 30 liter, az égés során felszabaduló teljes hőmennyiség

$$Q_G = 30 \text{ l/100 km} \times 47 \text{ MJ/kg} \times 0,75 \text{ kg/l} = 1,057 \text{ GJ}$$

Fentieknek megfelelően az akkumulátorok égése során felszabaduló teljes hőmennyiség több mint kétszerese a benzintankból felszabaduló teljes hőmennyiségnek.

A tűzvédelmi mérnöki gyakorlatban az égés során felszabaduló teljes hőmennyiség helyett a hőfelszabadulás (Heat Release Rate, HRR) jobban írja le a tűz intenzitását és az ebből adódó kitétet. A hőfelszabadulás (HRR) az alábbiak szerint fejezhető ki:

$$HRR [MW] = \dot{m}\Delta H_e = A_f \dot{m}'' \eta \Delta H_c$$

ahol

ΔH_e : az égéshő (MJ/kg)

A_f : a tűz kiterjedése, területe (m²)

$\dot{m}''$: fajlagos tömegvesztés sebessége (kg/s, m²)

η : égés hatékonysága, amely függ az oxigén ellátottságtól

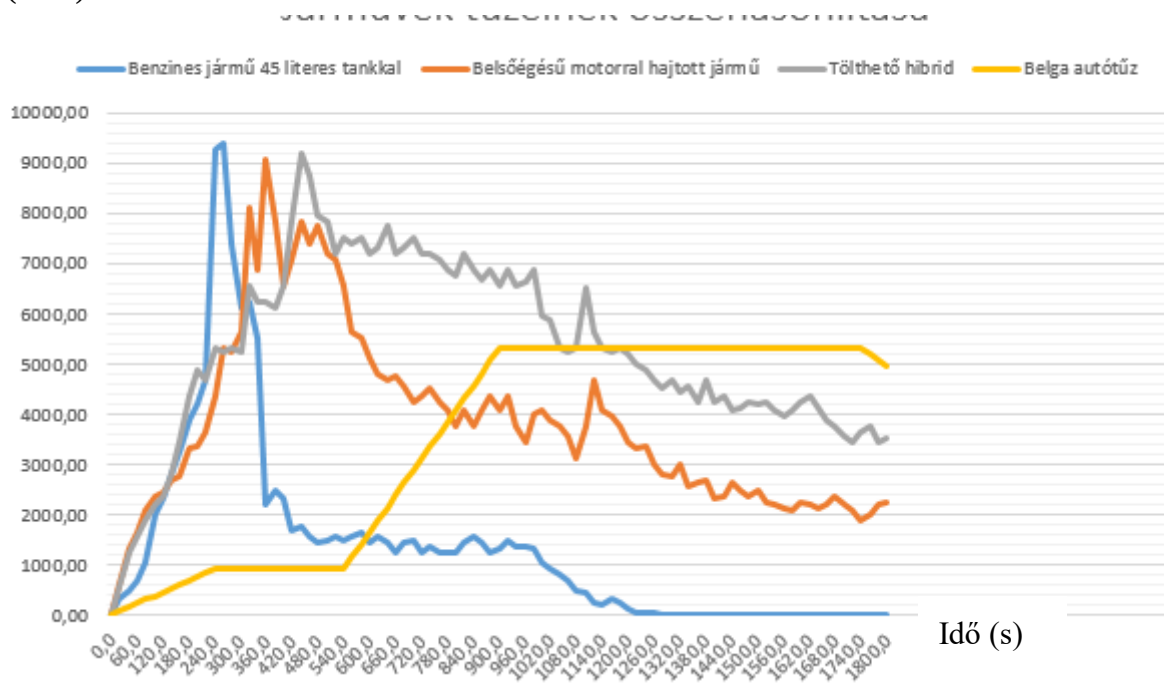
H_c : akkumulátorokra vonatkozó égéshő, amely függ az akkumulátor összetételétől és a töltöttségi szinttől

A hőfelszabadulás mellett annak időbeli eloszlása a tűzvédelmi mérnöki gyakorlatban – a szimulációk bemenő adataként – a legfontosabb információ. Sun, Peiyi & Bisschop, Roeland & Niu, Huichang & Huang, Xinyan tanulmányának 3.2. pontjában közölnek egy összehasonlítást

hagyományos benzinüzemű és különböző elektromos járművek valós léptékű tűztesztjeiből [10]. Az eredményeket összevetettük a hazai tűzszimulációs gyakorlatban is alkalmazott belga NBN S 21-208-2:2014 szabványban foglalt, tűzmodellezésnél figyelembe vehető hőfelszabadulás időbeli eloszlásával, amelynek csúcsértéke 5,2 MW; ezt a görbe 900 s elteltével éri el.

Tűz teljesítmény
(MW)

Különböző járművek tűzteljesítménye



15. sz. kép. Különböző járművek valós léptékű tűztesztjeinek összehasonlítása

A 15. sz. képen látható görbék közül a kék és a narancs színű benzin üzemanyagú, hagyományos kialakítású járművek, a szürke pedig egy tölthető hibrid jármű tűztesztjének eredménye. A görbék csúcsértéke hasonló, 9 MW körüli, ami a korábbi, 1980-as és 1990-es években elvégzett valós léptékű járműtűztesztetekhez képest nemcsak magasabb, hanem az időbeli lefolyásuk is erősen eltérő. Különösen jellemző a tölthető hibrid jármű tűzteljesítményének lassú csökkenése; még fél óra elteltével is közel 4 MW. Ennek alapján megállapítható hogy a tartószerkezetekre mind a mai hagyományos járművek, mind az elektromos járművek tüze esetén nagyobb tűzteljesítmény, ezen keresztül jelentősebb tüzeseti hőmérséklet kitét hat mint a tűzállósági méretezés alapját általában képező ISO 834 zárttéri hőmérséklet-idő kitéti görbe.

A fenti, valós léptékű tűztesztetekkel mért hőfelszabadulás-idő diagramokat jellemzően 1 jármű tüzesetével vizsgálták. Amennyiben egy gépkocsitárolóban nincs beépített oltóberendezés, nem zárható ki a tűz áttérjedése a szomszédos járműre, vagy járművekre, ami jelentősen növelheti a hőfelszabadulást. A fenti görbéket a tűzszimulációs gyakorlatban tehát csak akkor szabad alkalmazni, ha a tűz áttérjedését a szomszédos gépjárművekre beépített oltóberendezés korlátozza vagy megakadályozza. Ez fokozottan érvényes az elektromos járművek akkumulátoraira, amelyek jellemzően a járművek alvázának magasságában, ütközések esetén a legvédelettebb helyen találhatók. Megjegyzendő, hogy egy jármű tüzeinek teljesítményét hagyományos sprinkler beépített oltóberendezés általában nem tudja jelentősen befolyásolni, mivel a jármű éghető anyagai a jármű belsejében találhatók, ahol a sprinkler oltóhatása korlátozott a járművek fém teteje és a motorháztető oltóanyag bejutását korlátozó hatása miatt. Mindez elektromos járművek tüzeinek modellezésénél fokozott óvatosságot és az egyes szimulációs feladatoknál konzervatív megközelítést, széleskörű szakirodalmi kutatást és az egyre gyarapodó eredmények figyelembe vételét igényli; a

szakirodalomban 10 perc alatt 16 MW-ot elérő tűzscenário javaslatot is találunk [22]. A vízköddel oltó rendszerek elektromos járműtüzekre vonatkozó valós léptékű tűztesztje elektromos járművekkel várhatóan az idei évtől kezdődik meg.

7. GÉPJÁRMŰTÁROLÓK TŰZVÉDELMI KIALAKÍTÁSA

7.1.Építményszerkezetek tűzvédelmi jellemzői

A gépjárműtárolók leggyakrabban alkalmazott szerkezeti anyaga a monolit vagy előregyártott vasbeton, de acélszerkezetek és egyes esetekben faszerkezetek alkalmazására is van példa.

A monolit és az előregyártott vasbeton szerkezetű épületrészek, épületek vagy építmények esetén a tartószerkezetek tűzállósági méretezése az MSZ EN 1992-1-2 (Eurocode 2) [11] szabvány szerint lehetséges. A méretezés legegyszerűbb módja a táblázatos értékek alkalmazása (minimális szerkezeti méretek, illetve fővasalás tengelyéig értelmezett betonfedés minimum értékeinek biztosításával), de lehetséges az izotermás módszer szerinti méretezés is. A tervezés során különös tekintettel kell lenni az alábbiakra:

- az előregyártott szerkezeteknél az általános keresztmetszeti méretezés mellett kiemelt figyelmet kell fordítani az elemkapcsolatok megfelelő tervezésére;
- különösen a nagyszilárdságú előregyártott szerkezeteknél és az öntömörödő betonoknál ügyelni kell a beton receptúrára a spalling (hirtelen betonfedés leválás) megelőzésére; szükség esetén műanyagszálak keverésével kell elérni a betonszerkezet esetén hogy a tűz során keletkező gőz spalling okozása nélkül le tudjon vezetődni; ez különösen fontos azon helyeken, ahol az ISO 834 zárttéri hőmérséklet-idő kitéti görbénél nagyobb hőmérsékletek várhatók (pl. elektromos járművek töltői melletti pillérek, falak alsó részeinél),
- amennyiben numerikus tűzszimulációval határozzák meg a tartószerkezetekre jutó hőmérséklet-idő kitéti görbéket, a szokásos helyek, például a födégek és gerendák alsó síkja mellett a pillérek teljes magasságában meg kell határozni a hőmérsékleti adatokat (különösen elektromos járművek tűzénél az akkumulátor tüze oldalirányban szúrólángot okozhat a pillérek, falak alját a megszokottnál nagyobb igénybevételnek kitéve).

7.2.Beépített tűzjelző berendezés

Beépített tűzjelző berendezés telepítése nélkül korszerű tűzvédelemről nem beszélhetünk; a létesítési előírások az OTSZ 14 sz. mellékletében találhatók, azonban ettől eltérően már számos beruházó, ingatlanfejlesztő dönt beépített tűzjelző berendezés telepítése mellett akkor is ha az nem kötelező.

Az épületek részeként létesülő mélygarázsok, zárt gépkocsitárolók beépített tűzjelző berendezésekkel ellátottsága napjainkra általánossá vált, amely általában a födégek alsó síkjára telepített pontszerű hőmaximum vagy kombinált hősebesség és hőmaximum érzékelőkből és kézi jelzésadókból áll. Nyitott gépjárműtárolókban is terjednek a beépített tűzjelző rendszerek, az előzőekben leírt kiépítettséggel.

A lítium-ion akkumulátorokkal ellátott elektromos járművek esetén a tűz korai észlelése döntő jelentőségű. Mivel a tűzkeletkezést gáz fejlődés, majd füst fejlődés előzi meg, ami az akkumulátorok nyomáslevezető szellőzőjéből kiáramlik, a veszélyhelyzet korai jelzése lehetséges. Mivel a fejlődő gázok között hidrogén, szén-monoxid és szén-dioxid egyaránt megtalálható, a tűzjelző rendszer mellett gázkoncentráció érzékelő rendszer gyorsíthatja a tűzjelzés folyamatát. Megfelelő érzékenységű aspirációs tűzjelző rendszer ugyancsak szerepet játszhat a gyors tűzjelzésben. Az akkumulátorok meghibásodását jelző melegedés, majd hőmegfutás már a korai szakaszban is detektálható infravörös kamerával. A kamerás tűz- és füstérzékelő rendszerek (VFD)

videokamerákból és kiértékelő rendszerből állnak; a kamerák nagy térfogatú, eltérő átlátszóságú zónákat érzékelnek anélkül hogy a füst közvetlenül elérné őket, ezért nagy nyitott terek védelmére, monitoringozására alkalmasak. Az elektromos járművek tárolására szolgáló építmények, épületek esetén ez a módszer a szabványos tűzjelző rendszert egészítheti ki hatékonyan [12].

Az elektromos járművek tárolására szolgáló építmények, épületek esetén minden esetben javasoljuk beépített tűzjelző berendezés telepítését (például a csehországi CSN 73 0804 szabvány 10 gépjármű tárolása fölött írja elő beépített tűzjelző berendezés telepítését). A gépkocsitárolókban napjainkban szokásos, pontszerű hőmaximum vagy kombinált hőmaximum és hősebesség érzékelőkből álló tűzjelző rendszerek az elektromos járművek akkumulátortüzeit közvetlenül megelőző folyamatokat nem jelzik időben, ezért ugyanakkor megfontolandó a gázfejlődést és a melegedést, majd hőmegfutást a korai fázisban érzékelő tűzjelző rendszer alkalmazása. Ezen fizikai folyamatok korai jelzésére a vonali füstérzékelők és a hőmaximum érzékelők kevésbé vagy egyáltalán nem alkalmasak.

7.3.Beépített oltóberendezés

A beépített oltóberendezés létesítésének kötelezettségére vonatkozó előírások az OTSZ 14 sz. mellékletében található. A beépített oltóberendezés gépkocsitárolókban lehet sprinkler vagy vízköddel oltó, amely az alábbi szabványok szerint tervezhető:

- MSZ EN 12845: 2015+A1. Beépített tűzoltó berendezések. Automatikus sprinkler berendezések. Tervezés, kivitelezés és karbantartás [13],
- MSZ EN 14972-1:2021 Beépített tűzoltó berendezések. Vízköddel oltó berendezések. 1: Tervezés, kivitelezés, felülvizsgálat és karbantartás [14].

Fentiek mellett befektetők dönthetnek külföldi irányelvek alkalmazásáról is, ilyen például a VdS3856:2019-06 (01) Sprinklerschutz von Lithium-Batterien [15] vagy különböző, a témával foglalkozó tanulmányok, kutatási jelentések [16]. Ezek általában nagyobb betárolandó vízmennyiséget és térfogatáramot, nagyobb védőfelületet eredményeznek mint az európai sprinkler szabvány. Az FM Global 2-0, 3-0, 3-26 és 7-15 adatlapjai [17] alapján méretezett sprinkler rendszert az MSZ EN 12845:2015+A1 szabvánnyal egy gépészeti helyiséggel együtt kialakított mélygarázs példáján összevetve (15*30 m alapterület, 3 m alatti belmagasság, gépészeti helyiség 90 m²) az alábbiakat állapíthatjuk meg:

	EN 12845:2015+A1	FM Global
Kockázati besorolás	OH2	HC-3
Gépészeti helyiség	OH3	HC-2
Sprinkler típusok	K80-68 álló	K80-68 álló
Sprinkler védőfelület	35+15 db	40+15 db
Elméleti víztérfogatáram	720 liter/perc	2760 liter/perc
Elméleti tartály úrtartalom	43 m ³	166 m ³

Látható hogy az FM Global irányelvek legújabb, 2022-es változataiban a mai járművek és az elektromos járművek tűzlefolyásának különbségét figyelembe vették. Nem zárható ki az európai sprinkler szabvány ez irányú módosítása sem.

Egyéb oltórendszerek között a gázzal oltók életvédelmi okok és a gépkocsitárolók nagy terei miatt kevésbé alkalmasak. Az oxigén redukciós rendszerek esetén az alkalmazáshoz szükséges valós léptékű tűzteszt is hiányzanak; ezen rendszerek a lánggal égést ugyan hatékonyan

megakadályozzák, de a hőmegfűtést, a pirolízist nem, a hatékonyságukat pedig a lítium ion akkumulátorok pirolízise közben keletkező oxigén jelentősen ronthatja. Gépkocsitárolók esetén a gyakori kapunyitás a kívánt oxigén koncentráció csökkenéshez jelentős energiabefektetést igényel, de akár lehetetlenné is teheti.

7.4.Hő- és füstelvezetés kialakítása

A hő- és füstelvezetés gépkocsitárolókban az alábbi módszerekkel történhet:

- természetes hő- és füstelvezetés és természetes légpótlás
- gépi hő- és füstelvezetés és természetes légpótlás
- gépi hő- és füstelvezetés és gépi légpótlás
- természetes hő- és füstelvezetés és gépi légpótlás

Sajátos eset a Hő és füst elleni védelemről szóló TvMI 3.2. pontja, amely nyitott gépjárműtárolók esetén dedikált hő-és füstelvezetést nem ír elő.

A gépi hő- és füstelvezetés és gépi légpótlás mélygarázsokon belül – amelyek homlokzati felülettel nem rendelkeznek - az alábbi kialakítású lehet:

- hő- és füstelvezetés gépi elszívással, gépi légpótlással, kiegészítő légszűrő hálózattal vagy anélkül;
- szabályozott hő- és füstelvezetés (smoke control system) gépi elszívással, gépi légpótlással, JET ventilátorokkal vagy terelőventilátorokkal, reverzibilis kialakítással vagy reverzibilitás anélkül [18] [19].

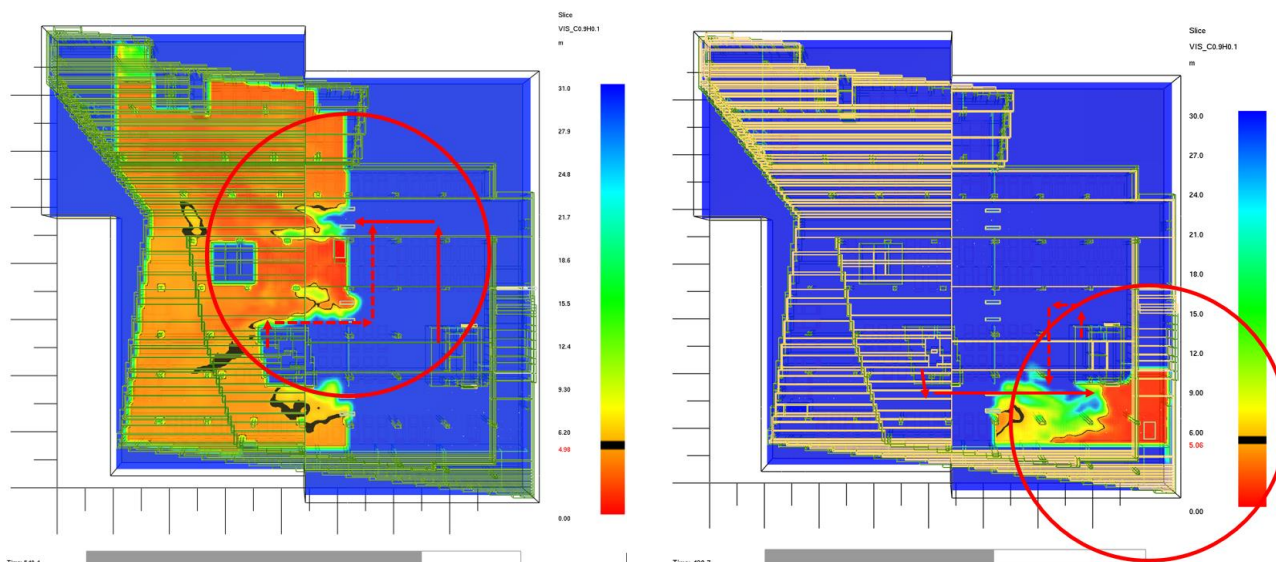
A mélygarázsokban egyre elterjedtebb JET ventilátorokkal vagy terelőventilátorokkal támogatott gépi hő- és füstelvezető rendszerek előnye a hagyományos légszűrőkkel üzemelő hő- és füstelvezetéshez képest, hogy a JET ventilátorok nemcsak a hő- és füstelvezetésre szolgáló, de kialakításuknál fogva a CO elszíváshoz szükséges légszűrő hálózatot is gazdaságosan helyettesíthetik. Reverzibilis kialakítás tapasztalataink szerint nagyméretű (3-5.000 m² szintenkénti alapterületű vagy annál nagyobb) gépjárműtárolóknál különösen előnyös, mivel ekkor a tér két vagy több részre osztott és a JET ventilátorok a tűzkeletkezéssel érintett térrész felé terelik a füstöt, ahol a gépi hő- és füstelvezető rendszer ventilátora elszívó üzemmódban dolgozik, míg a többi térrész felől a frisslevegő érkezik, az itteni ventilátorok légpótló üzemmódban dolgoznak. Mindez tehát nemcsak a JET ventilátorok, hanem a gépi hő- és füstelvezető és légpótló ventilátorok részéről is reverzibilis kialakítást tesz szükségessé. Ez különösen előnyös lehet elektromos járművek tüzeinél, a tűzoltósági beavatkozás feltételeinek biztosításánál, mivel a reverzibilis kialakítású gépi hő-és füstelvezetés esetén jóval könnyebb a tűzkeletkezés helyszínének megközelítése; a tűzkeletkezéssel érintett térrész ugyanis füsttel telített, a másik térrész ugyanakkor füstszegénynek tekinthető. A módszer hátránya, hogy tervezéshez tételes (leíró) képletek nem állnak rendelkezésre, a JET ventilátorok elrendezését, kiosztását, a vezérlési zónákat numerikus tűzszimulációval kell megtervezni és ellenőrizni, továbbá minden ventilátort vagy légszűrőt a tető fölé kell vezetni, hogy a kiáramló füst ne veszélyeztesse az épület környezetét.

A JET ventilátorokkal vagy terelőventilátorokkal támogatott hő- és füstelvezetés megfelelő vezérlésével kiemelten szükséges foglalkozni, különösen beépített vízzelöltő rendszerrel védett mélygarázsban. A JET ventilátorok vagy terelőventilátorok működése mellett ugyanis a tűzkeletkezéssel érintett térrész füsttel telített, a másik térrész marad füstszegény, ami a kiürítést veszélyeztetheti, ezért a hő- és füstelvezetés és légpótlás azonnali indítása mellett a JET ventilátorok vagy terelőventilátorok indítását mindenképp késleltetni kell, legalább a jogszabály szerinti kiürítési szintidőig vagy a kiürítéshez szükséges időig (RSET, Required Safe Egress Time). A sprinkleres aktiválódása azonban ennél is hosszabb időt vehet igénybe, így a késleltetéssel a sprinkleres aktiválódását is meg kell várni, ellenkező esetben nem a tűzkeletkezési hely fölött, hanem attól

távolabb aktiválódhatnak sprinklerfejek. Ezt legegyszerűbben a sprinkler gépházban beépített vízáramlás érzékelővel lehet vizsgálni, azonban ez az első sprinklerfej aktiválódását követően bekapcsol, így a tűzfészekről távolabb eső sprinklerfejek aktiválódása továbbra is bekövetkezhet. A mértékadó védőfelülethez tartozó sprinklerek aktiválódási ideje szintén numerikus szimulációval vizsgálható, amelynek során az is vizsgálható, hogy a hő- és füstelvezetés és légpótlás, valamint a JET ventilátorok vagy terelőventilátorok késleltetése ne legyen kedvezőtlen hatással a tűzoltósági beavatkozás hatékonyságára.



16 sz. kép. JET ventilátorokkal támogatott gépi hő- és füstelvezetés nagyméretű gépkocsitárolóban (forrás: COLT). A kép előterében látható JET ventilátorral szemben lévő lelógó gerenda akadályt képez, amelyet a JET ventilátor végein lévő lefelé döntött lamellák ellensúlyoznak



17-18 sz. képek. Numerikus szimuláció eredményeinek példái mélygarázsban, különböző tűzkeletkezési helyszínekkel. A képeken a látható úthossz van bemutatva 2 m magas síkon, a tűzkeletkezéstől számított 540 s beavatkozási időtartam pillanatban. A piros kör 25 m sugarat jelöl, központja a tűzfészek; az ábrák szélein alján az osztások 5m-t jelölnek. A piros nyilak a tűzoltósági beavatkozás lehetséges irányait jelölik, folyamatosan az elsődleges irányt, szaggatottan az egyéb lehetőségeket. Jól látható hogy az egyik térrész füstszegény levegőrétege hogy teszi lehetővé a piros körök közepén lévő tűzkeletkezési helyszínek tűzoltósági megközelíthetőségét

8. ÖSSZEFOGLALÁS, JAVASLATOK

8.1. Az elektromos járművekkel kapcsolatos általános tűzvédelmi jellemzők összefoglalása

A közeljövőben az elektromos üzemű járművek további elterjedése, emellett az akkumulátorok kapacitásának növekedése, sőt a járművek elektromos energia tárolásba történő bevonása, illetve az épületekben a járműveken túl további akkumulátortelegek létesítése egyaránt várható [19]. Az elektromos járműveket nem lehet a mélygarázsokból, parkolóházakból kitiltani; vannak létesítmények ahol az elektromos járművek aránya a 100 %-ot is elérheti. Emiatt érdemes összegyűjteni azokat a műszaki – tűzvédelmi megoldásokat, amelyekkel a tűzkeletkezés veszélye csökkenthető, a tűzterjedés veszélye mérsékelhető és a tűzoltóság számára tűz esetén a beavatkozási feltételek biztosítottak [20]. Ugyan statisztikai adatokkal nem támasztható még alá, hogy a töltés során a tűzkeletkezés veszélye a jármű tárolásnál megszokottnál nagyobb lenne, de különös figyelmet kell szentelni a töltők kialakításának és elhelyezésének [21].

8.2. A szakirodalom feldolgozásából származó eredmények összefoglalása

Elektromos járművek valós léptékű tűztesztei során kiderült, hogy az akkumulátorcsomag felületén mérhető hőmérsékletek lényegesen magasabbak, mint az ISO 834 zárttéri hőmérséklet-idő kitéti görbe szerintiiek. Mivel az Eurocode szabványsorozat tartószerkezetek tűzállósági méretezési módszerei közül a táblázatos és az izotermás módszerek alapvetően ez utóbbin alapulnak, elektromos járművek tárolására szolgáló épületek, építmények esetén felül kell vizsgálni a tartószerkezetek tűzállósági méretezésének jelenlegi gyakorlatát.

A tűzvédelmi mérnöki gyakorlatban a szimulációs bemenő adatként a hőfelszabadulás időbeni lefolyása a legfontosabb információ. Az elektromos járművek valós léptékű tűztesztei során e tekintetben is magasabb csúcserőtelkek adódnak: a hagyományos járművek esetén szokványos 5,3-9 MW közötti csúcserőtelkek helyett 9 MW körüli csúcserőtelkekkel kell számolni; ami még fontosabb, hogy a tűzkeletkezést követő 300 s után a hőfelszabadulás – különösen a nagyobb akkumulátorcsomaggal rendelkező tölthető hibrid vagy elektromos járműveknél – 1200 s-ig jellemzően 6 MW fölött, azaz 5-20 perc közötti időtartamban végig jelentős mértékben a hagyományos üzemű járművek tűztesztjei során mért hőfelszabadulás fölötti. Mindez a tartószerkezetekre jutó tűzterhelés, illetve hőmérséklet-idő kitéti görbék érvényességének átgondolását, illetve további vizsgálatát teszi szükségessé.

8.3. Műszaki-tűzvédelmi javaslatok

8.3.1. *Tételes (leíró vagy preszkriptív jellegű) műszaki-tűzvédelmi javaslatok gépkocsitárolókhoz*

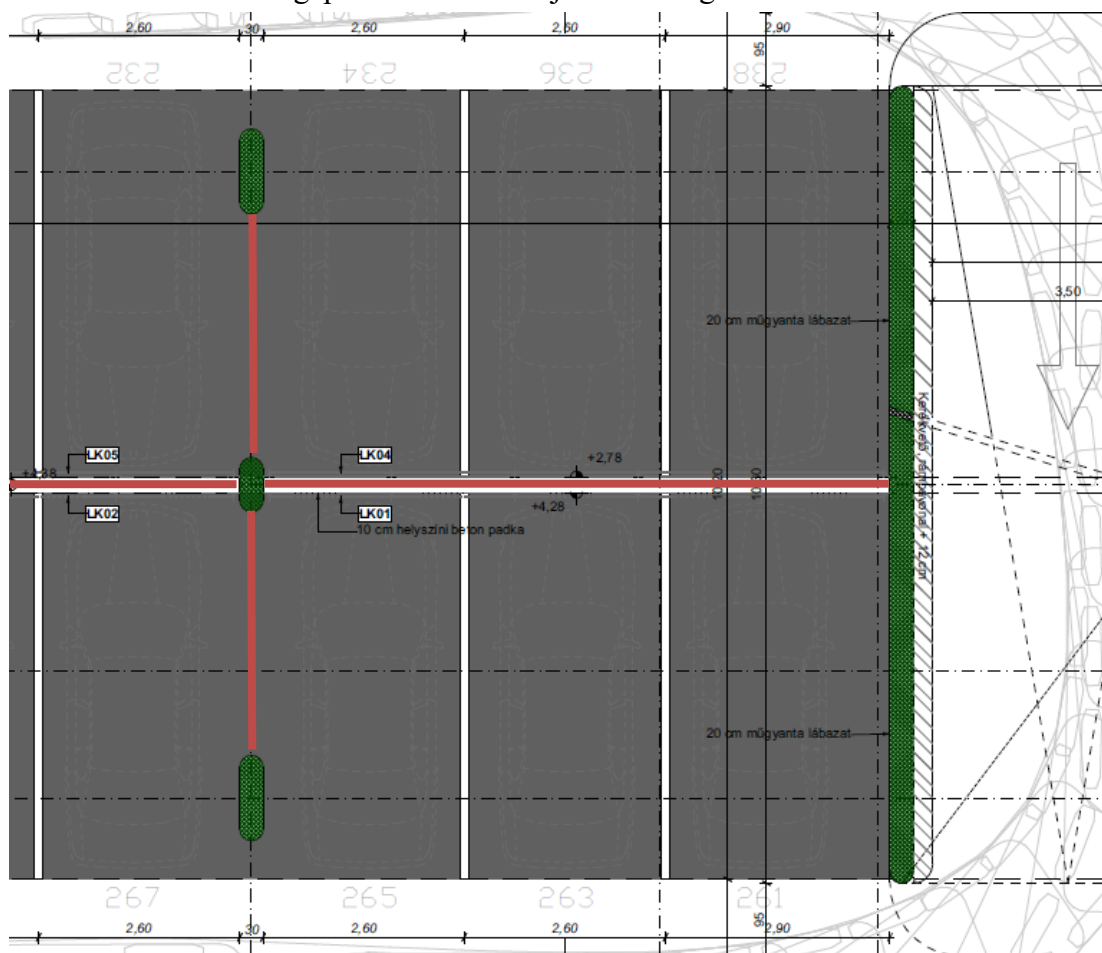
Jelentős többletköltség nélkül járó javaslataink

Épületen, építményen (pl. nyitott gépkocsitároló) belül **villám- vagy gyorstöltők alkalmazását nem javasoljuk**. Mivel az elektromos járművek meggyulladása nagyobb – bár jelenleg még nem számszerűsíthető - valószínűségű amikor töltőn vannak, a töltők elhelyezésére az alábbi szempontok együttes figyelembevételét javasoljuk:

- olyan sérült elektromos járművek épületen, építményen belül nem tárolhatók, tehát nem hajthatnak be, amelyeknél egyértelműen nem zárható ki az akkumulátor sérülése,
- az elektromos járműveknél – beleértve az elektromos kerékpárokat is – csak a nekik megfelelő töltőeszköz alkalmazható,
- a töltők lehetőség szerint a gépjárműtároló bejárata közelében legyenek, hogy tűz esetén a tűzoltók minél könnyebben közelítsék meg,

- többszintes, terepszint alatti gépjárműtároló esetén a töltők lehetőség szerint a legfelső pinceszinten legyenek (szintén tüzeseti megközelíthetőségi szempontból), ahol egyébként a belmagasság is nagyobb a szokásos 2,20-2,60 méternél, így a hő- és füstelvezetés is hatékonyabb lehet,
- terepszint fölötti parkolóházban a töltők a legfelső, kültérnek számító tetőszinten legyenek, mivel itt az elektromos járművek tüzesete során keletkező hő és füst elvezetése a leghatékonyabb,
- a töltőket a menekülésnél számításba vett kijáratok mellett nem szabad elhelyezni (a kiürítés megfelelő biztonsága, illetve a tűzoltósági megközelíthetőség biztosítása miatt),
- parkológépes, parkolóemelővel ellátott gépjárműtárolókban vagy kizárólag automatikus kiszolgálású gépkocsitárolókban töltőhelyek létesítését nem javasoljuk.

Az elektromos járművek töltése közben keletkező tűz terjedését 2-6 töltőhely csoportonként kialakított falakkal vagy az állások közötti növelt távolságokkal [23] is lehet korlátozni; ez különösen beépített oltóberendezés nélküli gépkocsitárolókban javasolt megoldás.



19 sz. kép. A tűz terjedését korlátozó falak példái (a kiegészítő falak pirossal jelölve). Az egymással szemben álló járművek között (amelyek között közlekedési út biztosított) a tűzterjedés veszélye kisebb, illetve több idő elteltével történik csak meg

A töltők környezetében javasoljuk hogy A1-A2 tűzvédelmi osztályú építési termékek, építményszerkezetek kerüljenek, a padlóburkolatok kivételével, ahol a B_{floor-s1} tűzvédelmi osztályú műgyanta burkolatok megfelelőek VdS3885:2020-12 (01) [22].

Két-vagy háromszintes, nem automatikus kiszolgálású gépkocsitárolókban egymás fölött ne legyenek elektromos vagy plug-in hibrid járművek tárolva, kivéve ha a gépjárműtároló teljesen automatikus kiszolgálású. Teljesen automatikus kiszolgálású gépjárműtárolókban beépített tűzjelző és beépített oltóberendezés együttes telepítése javasolt. Mivel sem menekülési feltételek biztosítása, sem tűzoltósági beavatkozás ezen létesítményekben nem szükséges, hő- és füstelvezetés elhagyhatósága – a beépített oltóberendezés telepítése mellett – megfontolható (a hő- és füstelvezetés kötelezettsége jelenleg az OTSZ által szabályozott).

A járművekkel kizárólag gépkocsiliften keresztül megközelíthető gépkocsitároló vagy az automatikus kiszolgálású gépkocsitároló esetén a tűzoltói beavatkozás lehetőségei nagymértékben romlanak. Ilyen gépkocsitárolókba megfontolásra javasoljuk beépített tűzjelző rendszer mellett a beépített oltóberendezés létesítését is.

A gépjárműtárolókba az elektromos tüzek oltására is alkalmas kézi oltókészülékeket javasolunk elhelyezni. A mai gépjárműtárolókban videokamerás megfigyelő rendszer telepített, így a kézi oltókészülékek kihelyezése nem jelenti azok eltulajdonításának veszélyét. A kézi oltókészülékeket jól elérhető helyen, a bejáratok, lépcsőházak közelében, de semmiképp sem a gépjárművek mögött, nehezen hozzáférhető helyen javasoljuk kihelyezni. A lítium ion akkumulátorok tüzeinek oltására megfelelő kézi oltókészülékeken már külön erre utaló jelölés található (lásd 20 sz. kép); emellett az A (szilárd anyagok égése) és E (elektromos tüzek) oltására kell alkalmasnak lenniük. A kézi oltókészülékek mellett egy-egy elektromos járművek tüzeinek oltására szánt tűzoltó takaró kihelyezése is javasolt.



20 sz. kép. Lítium ion akkumulátortűz oltására megfelelő kézi oltókészülék jelölése

Megfontolásra javasolt, többletköltséget jelentő, illetve jelenleg nem elterjedt műszaki – tűzvédelmi megoldásokat is tartalmazó javaslataink

A gépjárműtárolók tűzvédelmében alapvető és döntő fontosságú a tűz, illetve már az azt megelőző meghibásodások (gázosodás, melegedés) korai fázisban történő észlelése. Az akkumulátortűzek jellemzőiből adódóan a hagyományos tűzjelző rendszerek – pontszerű füstérzékelők, hőmaximum- és hősebesség érzékelők – nem feltétlenül biztosítják az akkumulátorokból származó sajátos veszélyeknek megfelelő korai jelzést. A meghibásodások korai jelzése az alábbi intézkedések kombinációjával biztosítható:

- töltés közben az akkumulátorok állapotát figyelő BMS rendszer és a töltő között folyamatos a kapcsolat, az esetleges műszaki hibák korai észlelése a gépkocsitároló épületfelügyeleti rendszerére és a diszpécsterszolgáltatásra továbbításával biztosítható,
- a tűzkeletkezést megelőző gázosodás, melegedés megfelelő érzékenységgű aspirációs tűzjelző rendszerrel, illetve az azt kiegészítő CO₂, CO/HC/H₂ gázkoncentráció érzékelőkkel, illetve kamerás tűz- és füstérzékelő rendszerrel (VFD) jelezhető.
- A járművek gépkocsitárolóba történő belépésénél javasoljuk az akkumulátorcsomag kezdődő melegedését jelző érzékelő telepítését (hőkamera vagy hőmegfutásérzékelő - Thermal Runaway Sensor), amelyek az épületfelügyeleti rendszer felé is továbbítja a jelzést.

Beépített tűzjelző rendszer esetén abban az esetben is javasoljuk az automatikus tűzátjelzést ha a gépjárműtároló és így a tűzjelző központ is 24 órás felügyelettel ellátott. Ezen felül javasoljuk, hogy a beépített tűzjelző berendezés elektromos járművek fölötti érzékelői bebillenésük esetén szakítsák

meg automatikusan a töltési folyamatot. Ezen felül javasoljuk a töltők tüzeseti automatikus elektromos leválasztását is.

8.3.2. Műszaki-tűzvédelmi javaslatok mérnöki módszerekkel tervezett tűzvédelmi kialakítású gépkocsitárolókhoz

A mérnöki módszerekkel segített tűzvédelmi tervezés során a tervezés egyik legfontosabb paramétere a tűz teljesítményének csúcserőértéke és annak időbeni változása. Ez a hagyományos járművek tűzlefordításaitól jelentősen eltérhet elektromos járművek esetén. Amennyiben elektromos járműveket is tartalmazó gépjárműtároló tűzmodellezése készül, a tűz teljesítményének időbeni alakulásánál ezt a különbséget, a magasabb csúcsteljesítményt és az eltérő időbeli lefordítást a szakirodalomban is található adatok felhasználásával kell alkalmazni. A tűzmodellezésnél szokásos legveszélyesebb tűzkeletkezési helyek (pl. a garázs kijárataitól legmesszebb eső, fal melletti vagy sarokban lévő parkolók, vagy a reverzibilis hő- és füstelvezetés reverzibilitási tengelye mellett lévő parkolók) mellett az elektromos járművek töltésére szolgáló parkolókban is javasolt tűzhelyszín vizsgálata.

A valós léptékű tűzteszt során a tűz teljesítményének időbeli változását dokumentálják, általában egy jármű vizsgálatával; egyes esetekben egy járműről a szomszédos járműre vagy két járműre történő áttérjedéssel együtt. A tűzmodellezés során ezen adatok felhasználása különös körülmények között igényel hagyományos, belsőégésű motorral hajtott járműveknél is, de elektromos járműveknél további megfontolásokat javasolunk attól függően hogy beépített oltóberendezéssel ellátott-e a gépjárműtároló vagy anélkül valósul meg. A Számítógépes tűz- és füstterjedési valamint menekülési szimuláció c. TvMI 1.3.1. pontja alapján tűzmodellezés nem végezhető olyan létesítményben, amelyben nincs beépített tűzjelző berendezés, ezt gépjárműtárolók esetén különösen fontosnak tartjuk.

- Minden járműfajta esetén érvényes, de az elektromos járművekre különösen, hogy a tűz valós léptékű tesztel megállapított csúcsteljesítményét, illetve annak időbeli lefordítását a sprinkler nem befolyásolja, azaz az oltó hatás nem vehető figyelembe csak a hűtő hatás. A sprinkler hűtő hatása hagyományos meghajtású járműveknél megakadályozhatja a tűz szomszédos járművekre történő tűzátterjedést, ennek kijelentéséhez azonban még nem rendelkezünk kellő számú valós léptékű tűztesztel elektromos járművek esetén. A Számítógépes tűz- és füstterjedési valamint menekülési szimuláció c. TvMI J1 és J2 mellékletében szereplő módszerek tehát gépjárműtárolókban nem alkalmazhatók (a tűz teljesítményének sprinkler általi kontrollálása vagy oltó hatása).
- Ha beépített oltóberendezés nem telepített a gépjárműtárolóban, a tűz szomszédos járművekre történő áttérjedése bekövetkezik, különösen akkumulátorokat is tartalmazó járművek esetén. Ebben az esetben a tűzszimulációt előre meghatározott tűzteljesítménnyel egyáltalán nem javasoljuk.

Szabályozott hő- és füstelvezetés (smoke control system) légszűrő helyett JET ventilátorokkal vagy terelőventilátorokkal támogatott, reverzibilis kialakítással csak részletes számítás (pl. CFD szimulációval) tervezhető, másképp nem állapítható meg a tervezett rendszer megfelelő működése, hatékonysága. Amennyiben a gépkocsitárolóban beépített vízzelöltő berendezés telepített, javasolt a JET ventilátorok vagy terelőventilátorok indításának késleltetése a sprinkler aktiválódását követően (pl. áramlásjelzővel), különben nem a tűzfészkek fölötti aktiválódnak, hanem attól távolabbi sprinkler aktiválódnak.

Készítették:

FARKAS Flóra okl. építészmérnök, okl. tűzvédelmi tervezési szakmérnök

SZIKRA Csaba okl. épületgépész mérnök

Dr. TAKÁCS Lajos Gábor okl. építészmérnök, okl. tűzvédelmi tervezési szakmérnök

9. SZAKIRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Az épített környezet védelméről szóló törvény (1997. évi LXXVIII. tv.)
- [2] A tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról szóló 1996. évi XXXI. Törvény;
- [3] Az Országos Településrendezési és Építési Követelményekről szóló, többször módosított 253/1997.(XII.20.) Kormány rendelet,
- [4] a 8/2022 (IV.14) BM rendelettel módosított 54/2014 (XII.05.) BM rendelettel kiadott Országos Tűzvédelmi Szabályzat (továbbiakban: OTSZ),
- [5] VdS3885:2020-12 (01) Elektrofahrzeuge in geschlossenen Garagen –Sicherheitshinweise für die Wohnungswirtschaft
- [6] R. Thomas Long Jr., P.E., CFEI Andrew F. Blum, P.E., CFEI Thomas J. Bress, Ph.D., P.E., CRE Benjamin R.T. Cotts, Ph.D. Best Practices for Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicles Battery Hazards: A Report on Full-Scale Testing Results. Final Report, June 2013
Fire Protection Research Foundation
https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/02/f8/final_report_nfpa.pdf
- [7] Szabó Viktória, Molnár Kristóf, Nagy Rudolf Elektromos járművek tűzbiztonságának vizsgálata. Védelem Tudomány: Katasztrófavédelmi online tudományos folyóirat 3 : 2 pp. 77-112. , 35 p. (2018)
- [8] Hu, Y., Zhou, X., Cao, J. et al. Interpretation of Fire Safety Distances of a Minivan Passenger Car by Burning Behaviors Analysis. Fire Technology, 56, 1527–1553 (2020).
<https://doi.org/10.1007/s10694-019-00938-1>
- [9] Are W. Brandt, Karin Glansberg: Charging of Electric Cars in Parking Garages. RISE report 2020:30, ISBN: 978-91-89167-12-4, Research of Institute of Sweden AB, Trondheim, Norway, 2020
- [10] Sun, Peiyi & Bisschop, Roeland & Niu, Huichang & Huang, Xinyan. (2020). A Review of Battery Fires in Electric Vehicles. Fire Technology. 1-50. 10.1007/s10694-019-00944-3.
- [11] MSZ EN 1992-1-2 Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése 1-2. rész: Általános szabályok. Szerkezetek tervezése tűzhatásra
- [12] Eualarm – Guidance on Integrated Fire Protection Solutions for Lithium-Ion Batteries. 15.02.2022, Rev. V1.0-EN, www.eualarm.org
- [13] MSZ EN 12845: 2015+A1. Beépített tűzoltó berendezések. Automatikus sprinkler berendezések. Tervezés, kivitelezés és karbantartás
- [14] MSZ EN 14972-1:2021 Beépített tűzoltó berendezések. Vízköddel oltó berendezések. 1: Tervezés, kivitelezés, felülvizsgálat és karbantartás
- [15] VdS3856:2019-06 (01) Sprinklerschutz von Lithium-Batterien
- [16] R. T. Longand A.M. Misera, „Sprinkler Protection Guidance for Lithium-Ion Based Energy Storage Systems,” Final Report prepared for Fire Protection Research Foundation February, 2019.
- [17] FM Global 2022 Data Sheet 2-0, 3-0, 3-26, 7-15
- [18] NBN S 21-208-2:2014. Fire protection in buildings - Design of smoke and heat exhaust ventilation systems (SHEV) for enclosed car park
- [19] Fire Safety in Buildings – Garages. Czech Technical Standard, CSN 73 0838, javaslat a CSN 73 0804 helyettesítésére, 2022. március

- [20] National Fire Protection Association Standard 855, Standard for the Installation of Stationary Energy Storage Systems, Proposed Standard, anticipate issuance in 2019.
- [21] A. Blum and R. T. Long, "Hazard Assessment of Lithium Ion Battery Storage Systems," Final Report prepared for Fire Protection Research Foundation February, 2016.
- [22] VdS3471:2021-02 (02) Ladestationen für Elektrostrassenfahrzeuge
- [23] Terence Short, Dragana Andesilic, Peter Demsey: Guidance on the Installation of Fast, Rapid and Super Vehicle Charging Units. Fire Safety Guidance Note FSGN 63, 2019.

10. RÖVIDÍTÉSEK, JELÖLÉSEK ÉS MAGYARÁZATUK

BEV (Battery Electric Vehicle):	Akkumulátorról működő elektromos jármű
BMS (Battery Management System):	Akkumulátor felügyelő rendszer
CID (Current Interrupt Device):	Árammegszakító eszköz
EV (Electric Vehicle):	Elektromos jármű
HEV (Hibrid Electric Vehicle):	Hibrid jármű
HRR (Heat Release Rate):	A tűz teljesítményének időbeli lefutása
ICEV (Internal Combustion Engine Vehicle):	Belsőégésű motorral működő jármű
LCO (Lithium Cobalt Oxid):	Lítium-kobalt-oxid vagy lítium-kobaltát
LIB (Lithium Ion Battery):	Lítium ion akkumulátor (lítíumos akkumulátor)
LMO (Lithium Manganese Oxid):	Lítium-mangán-oxid
LTO (Lithium Titane):	Lítium-titanát
NiCd (Nickel-Cadmium):	Nikkel-kadmium (akkumulátor)
NCA (Nickel, Cadmium, Aluminium oxide):	Nikkel-kadmium-alumínium oxid (Tesla által használt akkumulátor)
NMC (Nickel, Manganese, Cobalt)	Nikkel-mangán-kobalt akkumulátor
PHEV (Plug-in Hibrid Electric Vehicle):	Tölthető hibrid jármű
PTC (Positive Thermal Coefficient):	Pozitív hőmérsékleti együttható
REX (Range Extender):	Hatótávnövelt elektromos járművek
SOC (State of Charge):	Töltöttségi szint
TR (Thermal Runaway):	Termikus megfutás, termikus megszaladás
VFD (Video Fire and Smoke Detection):	Videokamerás tűzjelzés
ZEV (Zero Emission Vehicle):	Nulla károsanyag kibocsátású jármű