

# Elektromos járművek tüzeinek hatása az épületek szerkezetekre

## Effect of the fires of electric vehicles on building structures

*FARKAS Flóra*, meghívott óraadó<sup>1</sup>  
*SZIKRA Csaba* tudományos munkatárs<sup>2</sup>  
*Dr. TAKÁCS Lajos Gábor* egyetemi docens<sup>1</sup>

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Építészmérnöki Kar

<sup>1</sup>Épületszerkeztani Tanszék

<sup>2</sup>Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék

1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. TELEFON: +36 1 463-1111, Központi e-mail cím: info@bme.hu

### Abstract

*Increasing number of electric vehicles generates new challenge for the architectural fire safety design. Based on the experiences of electric car fires, both heat release rate to time curve and fire extinguishing problems of electric vehicles are different from fires involved traditional vehicles with internal combustion engines. In our article, effect on building structures of electric vehicle fires are analysed.*

**Keywords:** *building structure, electric vehicle, fire safety design, fire suppression, fire temperature exposure*

### Kivonat

*Az elektromos járművek egyre gyorsabb terjedése új kihívások elé állítja az építészeti tűzvédelmi tervezést. Az elektromos járművek tüzeseti tapasztalatai alapján mind a tűz teljesítményének időbeli alakulása, mind a tűzoltási nehézségek eltérnek a hagyományos belsőégésű erőforrásokkal hajtott járművekre jellemző tüzeiktől. Cikkünkben az elektromos járművek tüzeseteinek épületszerkezetekre gyakorolt hatását elemezzük.*

**Kulcsszavak:** Elektromos jármű, épületszerkezet, tüzeseti hőmérséklet kitét, tűzoltás, tűzvédelmi tervezés

## 1. BEVEZETÉS

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. A Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH) március végén közzétett összesítése 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. Ha az elektromos vagy plug-in hibrid autók száma a tervek szerint rövid időn belül ugrásszerűen megnő, akkor a villamos töltésükhöz szükséges energia egyre inkább vetekszik a magyarországi beépített villamos energia kapacitásának nagyságával.

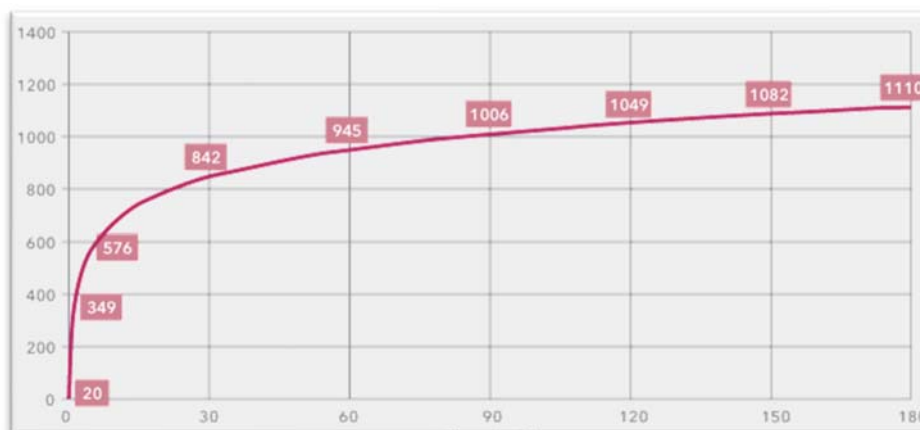
Magyarországon az elektromos áramtermelés 90 százaléka szén-dioxid-mentes lesz 2030-ra, a teljes karbonsemlegességet pedig 2050-re kell elérni. A 25 ezer főnél nagyobb lélekszámú városokban kizárólag elektromos buszokat lehet forgalomba állítani 2022-től. A kormány elindította a „Zöld busz program”-ot, így minden második autóbusz környezetbarát lehet a nagyvárosok helyi közlekedésében 2030-ra. 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.

Jelen cikkünk célja a villamos járművek tüzeseteinek épületszerkezetekre gyakorolt hatásainak tisztázása, különös tekintettel az eltérésekre hagyományos gépjárművek tüzeseteinek lefolyásához képest.

## 2. GÉPJÁRMŰVEK TÜZEINEK VIZSGÁLATA

### 2.1. Hagományos gépjárművek tüzesete

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.



1 ábra: 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 kitét, amely a szabványos vizsgálatoknál egyenletesen, 5 % tőrésen belül éri a vizsgált szerkezetet.

Hu, Y., Zhou, X., Cao, J kutatásukban egy kisbusz tüzesetének hőmérséklet-idő kitéti diagramját mutatják be [1]. 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 szerinti.

### 2.2. Elektromos járművek tüzeseti viselkedése

Az amerikai The Fire Protection Research Foundation 2013-ban készített átfogó kutatást a lítium-ion akkumulátorokkal összefüggésben [2]. 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.

### 3. 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 100 és 200 kg között van, 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 hő kibocsátás jelentős mértékben hozzájárulhat a jármű tüzéhez.

Sun, Peiyi & Bisschop, Roeland & Niu, Huichang & Huang, Xinyan tanulmánya alapján az akkumulátortüzek 5-10-szer több energiát szabadíthat fel a tárolt elektromos energiából, attól függően, hogy milyen az akkumulátor töltöttségi szintje [4].

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

$\Delta H_e$  az égéshő (MJ/kg)

$A_f$ : a tűz kiterjedése, területe (m<sup>2</sup>)

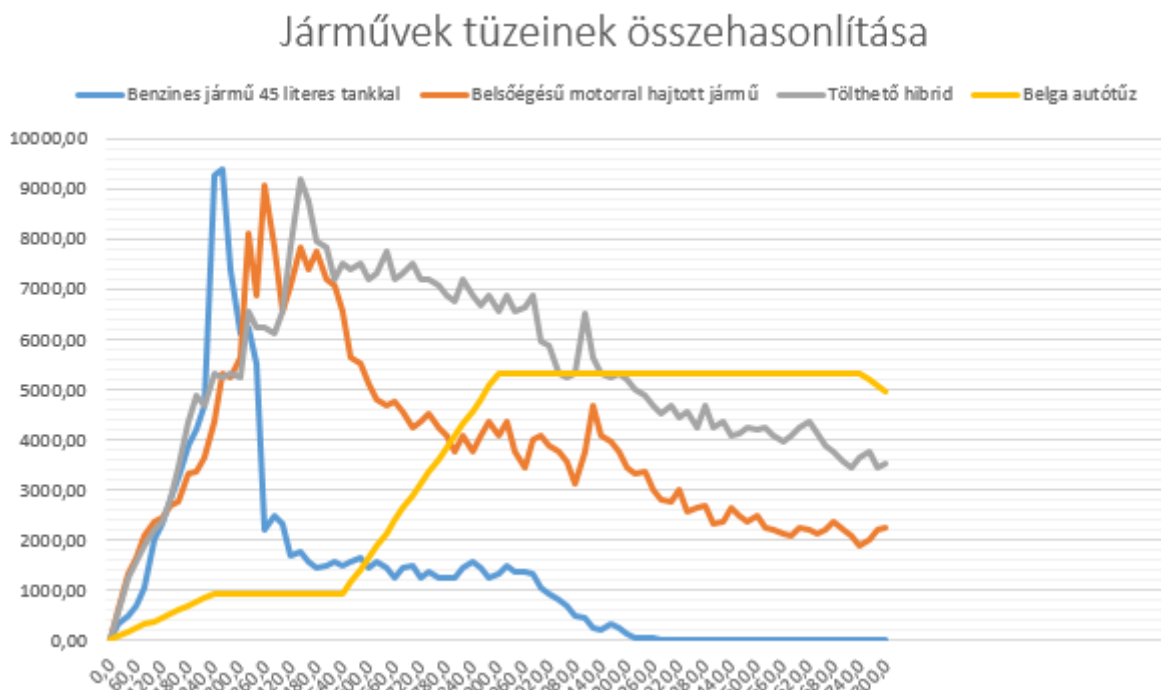
$\dot{m}''$ : fajlagos tömegveszteség sebessége (kg/s,m<sup>2</sup>)

$\eta$ : 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 tüztesztjeiből. 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 csúcserőtelje 5,3 MW; ezt a görbe 900 s elteltével éri el.



2. ábra. Különböző járművek valós léptékű tüztesztjeinek összehasonlítása

A fenti, valós léptékű tüzteszttekkel 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 akadályozza meg. Ez fokozottan érvényes az elektromos járművek akkumulátoraira, amelyek jellemzően a járművek alvázának magasságában, ütközések esetén a legvédehetőbb 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. Ennél hatékonyabban működhet a vízköddel oltó, amely különösen nagy nyomású rendszer esetén a vízszintes fém felületek alatt is elérhet bizonyos oltóhatást; ezen rendszerek valós léptékű tüztesztje elektromos járművekkel az idei évtől kezdődik meg.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A közeljövőben várható az elektromos üzemű járművek további elterjedése, emellett az akkumulátorok kapacitásának növekedése várható.

Elektromos járművek valós léptékű tüztesztjei során kiderült, hogy az akkumulátorcsomag felületén mérhető hőmérsékletek lényegesen magasabbak, mint az ISO 834 zárttéri hőmérséklet-idő kitéti görbe szerinti. 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 tüzteszti során e tekintetben is magasabb csúcserőtelmek adódnak: a hagyományos járművek esetén szokványos 5,3-9 MW közötti csúcserőtelmek helyett 9 MW körüli csúcserőtelmekkel 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 tüzteszti során mért hőfelszabadulás fölötti. Mindez a tartószerkezetekre jutó tűzterhelés, illetve hőmérséklet-idő kitéti görbék érvényességének átgondolását, illetve további vizsgálatát teszi szükségessé.

## 5. IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] 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>
- [2] 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](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/02/f8/final_report_nfpa.pdf)
- [3] Thenepalli, Thriveni & Jun, Ahn & Han, Choon & Chilakala, Ramakrishna & Ahn, Ji-Whan. (2015). A strategy of precipitated calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>) fillers for enhancing the mechanical properties of polypropylene polymers. *Korean Journal of Chemical Engineering*. 32. 10.1007/s11814-015-0057-3.
- [4] 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.
- [5] NBN S 21-208-2:2014. Fire protection in buildings - Design of smoke and heat exhaust ventilation systems (SHEV) for enclosed car park