

Újratölthető elektromos autóbusz energiatároló rendszerének (REESS) vizsgálata az ENSZ-EGB 100.03 számú előírás szerint

Testing of rechargeable electric bus energy storage system (REESS) according to UNECE regulation 100.03

Dr. VINCZE-PAP Sándor¹, TATAI Zoltán²

JÁFI-AUTÓKUT Mérnöki Kft.
H-1115 Budapest, Csóka u. 7-13.

¹vincze_pap@autokut.hu, www.jafi-autokut.hu

²zoltan.tatai@autokut.hu

Absztrakt

A dolgozat ismerteti az ENSZ-EGB 100.03 előírás követelményeit és ennek gyakorlati ellenőrző vizsgálatait egy 275 kg tömegű, 310 névleges feszültségű, 112,5 Ah névleges kapacitású elektromos autóbuszokba tervezett akkumulátoron. Ez a 2023-ban történt vizsgálat volt az első teljeskörű magyarországi akkumulátor-minősítő vizsgálat. [1]

A teszt sorozatban tucatnyi különleges mechanikai, tűzállósági, villamosságtani, energetikai részvizsgálatot kellett végrehajtani.

Kulcsszavak: Lítium akkumulátor, autóbusz, akkumulátortöltés, kisütés, ECE R100 európai előírás, tűzbiztonság

Abstract

The paper describes the requirements of the UN-ECE 100.03 regulation and its practical verification tests on a battery designed for electric buses with a mass of 275 kg, a nominal voltage of 310 V, and an annual capacity of 112.5 Ah. This test was carried out in 2023 and it was the first completed accumulator approval test in Hungary. [1]

The test series required dozens of special mechanical, fire resistance, electrical, and energy tests.

Keywords: Lithium battery, bus, battery charging, discharging, ECE R100 European regulation, fire safety

1. A vizsgált akkumulátor jellemzői

Tömeg / Mass:	275kg
Névleges feszültség:	310,8 V
Névleges kapacitás:	112,5Ah
Megengedett áramerősség:	
töltés:	100 A (31 kW),
kisütés:	160 A (50 kW),

Két akkumulátorra volt szükség vizsgálatokhoz, nem kis részben azért, mert a töltő és kisütő rendszer két akkumulátor együttes töltésére és merítésére alkalmas, külön-külön nem lehetséges. Ezáltal a megfelelőség, a gyártásazonosság igazolása is duplán érvényesült. A dolgozat az előírás pontokba szedett tizenegy rész követelménye szerint épül fel, azt követi.

2. Az elvégzett vizsgálatok

2.1 Szigetelési ellenállásmérés

A szigetelési ellenállás mérését az előírás 5B melléklet szerint végeztük.

Az előírás két módszert ír, amivel a szigetelési ellenállást mérni lehet.

Az egyik esetben külső forrásból származó egyenáramú feszültséget felhasználó mérési módszert lehet alkalmazni, amely egy speciális műszert igényel. (a)

A másik esetben a vizsgált akkumulátort egyenáramú feszültségforrásként felhasználó mérési módszerről van szó, amely csak egy voltmérőt és kisebb számolást igényel. (b)

Az egyenáramú feszültségforrást használó mérési módszert (b) választottuk, ahol három feszültséget kellett mérni. A három mérendő feszültség:

Ub: az akkumulátor pozitív és negatív pólusa között mért feszültség.

U1: az akkumulátor negatív pólusa és a földelő vezeték között mért feszültség.

U2: az akkumulátor pozitív pólusa és a földelő vezeték között mért feszültség.

Ezt követően az előírás által meghatározott ellenállást (R_0 kapcsoltunk a földelő vezeték és az akkumulátor pozitív vagy negatív pólusa közé, attól függően, hogy az első mérésnél melyik volt a nagyobb érték. ($R_0=33\text{k}\Omega$)

Ezt követően, az R_0 ellenállással párhuzamosan mértük a feszültségeket (U_1' , U_2') majd az alábbi képletek egyikével lehetett a szigetelési ellenállást meghatározni.

$$R_i = R_0 \times U_b \times (1/U_1' - 1/U_1), \text{ ha } U_1 \geq U_2$$

vagy

$$R_i = R_0 \times U_b \times (1/U_2' - 1/U_2), \text{ ha } U_2 > U_1$$

A szigetelési ellenállásmérést minden teszt után elvégeztük. A mért értékek bár jelentős szórást mutattak, mindegyik érték több mint 1000 szer nagyobb volt a minimálisan szükséges $100\Omega/\text{Vnál}$. A mért értékek 15 és $60\text{M}\Omega/\text{V}$ között szórtak.

2.2 Normál ciklus

A „Normál ciklus” az akkumulátor töltését és kisütését szabályozó eljárás, amelyet a hivatkozott előírás 9. mellékletének 1. függeléke szerint végeztük el. A normál ciklus normál kisütéssel kezdődik, amelyet normál töltés követ.

A kisütési eljárást, beleértve a leállítás feltételeit (pl. a kisütési csúcshőfokot), a gyártó határozhatja meg. (Amennyiben nincs megadva, a kisütést 1 C nagyságú árammal kell végrehajtani a teljes REESS és a REESS-alrendszerek tekintetében.)

Esetünkben a gyártó előírását követtük, így a töltési áram a vizsgálat során 15,5 A, a kisütési áram pedig 8,5 A volt a vizsgálat során.

Pihentetési idő minden kisütések után 15 perc volt. A töltési-kisütési ciklusban jól vizsgázott az akkumulátor.

2.3 Töltöttségi szint beállítás

Töltöttségi szintet az előírás 9. mellékletének 2. függeléke szerint szükséges beállítani.

A jármű vagy a REESS alrendszer vizsgálatakor a töltöttségi szint nem lehet kevesebb, mint a maximális töltöttségi szint 95 százaléka a külső töltésre tervezett REESS esetében, és nem lehet kevesebb, mint a maximális töltöttségi szint 90 százaléka a kizárólag a járművön lévő energiaforrással feltölthető REESS esetében.

A töltöttségi szintet a gyártó által biztosított módszerrel kell ellenőrizni.

Az így elvégzett mindegyik vizsgálatnál a töltöttségi szint 97-100% között volt.

2.4 Rázkódás

A rázóvizsgálathoz a vizsgált akkumulátort szilárdan egy függesztett, nagyfrekvenciás vizsgálatra alkalmas, AH 25-200 típusú hidraulikus munkahenger alsó pontjához rögzítettük olyan módon, hogy a rázás a vizsgálati tárgynak való közvetlenül átadása biztosított volt. A gyártó által az akkumulátordobozon kialakított emelési pontokat használtuk a munkahengerrel történő kapcsolódáshoz. Ezek az emelési pontok az akkumulátornak a beépítési konzolokkal azonos oldalfelületéhez csatlakoztak, így megfelelően szimulálták a beépítési helyzetet. A függesztés végtelen merevnek volt tekinthető. (1. ábra) [3]



1. ábra: Rázóvizsgálat

A vizsgált akkumulátort 15 perc alatt 7 Hz-ről 50 Hz-re emelkedő, majd vissza 7 Hz-re csökkenő frekvenciájú, szinuszhullám jelalakú vezérléssel mozgattuk. Ezt a ciklust összesen 3 órán át 12-szer ismételtük.

Az előírás követelménye szerint a frekvencia és a gyorsulás közötti összefüggést az alábbi táblázat szerint volt szükséges létrehozni:

Frekvencia (Hz)	Gyorsulás [m/s ²]
7–18	10
18–30	10-ről fokozatosan 2-re csökken
30–50	2

Sem mechanikai, sem villamosságtani hiba nem keletkezett az akkumulátorban.

2.5 Lökésszerű és ciklikus hőhatás

Az előírás követelménye szerint a vizsgált akkumulátort hat órán keresztül +60 °C vizsgálati hőmérsékleten tartottuk, majd ezt követően hat órán keresztül -40 °C vizsgálati hőmérsékleten tároltuk. A vizsgálat hőmérsékleti szélsőértékei között 30 perc telt el. Ezt a hőterhelési ciklust 5-ször ismételtük.

A vizsgáló hőkamra programozása és hűtő/fűtő kapacitása biztosította, hogy a megkívánt paramétereket maradéktalanul biztosítani tudtuk. A vizsgálat helye: Széchenyi István Egyetem, Csomagolás és Környezetállósági Vizsgálólaboratórium, Győr volt.

A vizsgálat alatt nem tapasztaltunk semmilyen a normálistól eltérő viselkedést. Nem tapasztaltunk elektrolitszivárgást, törést, tüzet vagy robbanást.

A vizsgálat után mért szigetelési ellenállás több mint 100 Ω/V volt.

Az akkumulátor teljes mértékben megfelelt a lökésszerű és ciklikus hőhatás vizsgálat követelménynek.

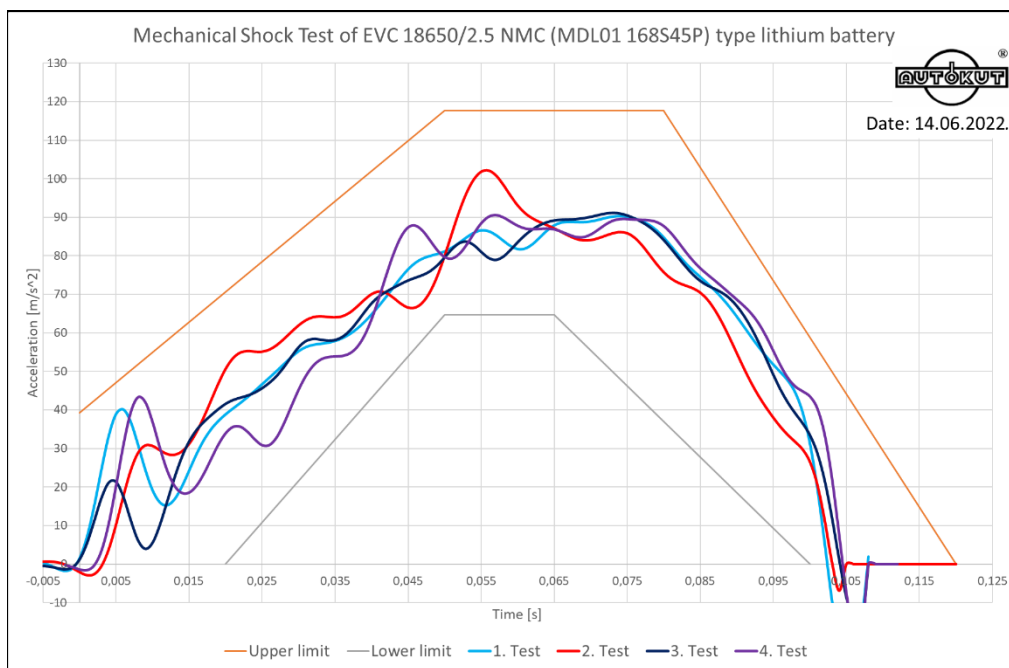
2.6 Mechanikai ütés

Ez a követelmény hossz és keresztirányú ütköztetést ír elő. A hosszirányú ütközés esetében nagyobb gyorsulást, keresztirányban kisebbet fogalmaz meg az előírás. Ez az akkumulátor típus több helyzeti pozícióban lesz beépítve az autóbuszba, így a gyártóval egyeztetve minden lehetséges irányban megvizsgáltuk az akkumulátort és mindegyik esetben a hosszirányú ütközésre előírt magasabb követelmény szerint. Az akkumulátor a beépítési pozíciókban volt rögzítve a vizsgálópad platóján. Függőleges tengely körül 90 fokkal elforgatva hajtottuk végre a négy irányú vizsgálatokat. (2. ábra)

A vizsgálópad inverz üzemmódban dolgozik, ami azt jelenti, hogy nem egy adott sebességről fékez a megkívánt lassulással, hanem állóhelyzetből gyorsítja a vizsgálati darabot a megkívánt gyorsulással. Ebben az üzemmódban a paraméterek jobban betarthatók. (3. ábra) [2]



2. ábra: Az akkumulátor az ütköztető padon.



3. ábra: Az ütköztető padon mért gyorsulások

A vizsgálatok alatt és után nem tapasztaltunk normálistól eltérő viselkedést. Nem volt elektrolitszivárgás, törés, tűz vagy robbanás.

A vizsgált akkumulátor rögzítési pontjain a vizsgálatok után nem volt észlelhető deformáció, az akkumulátor a vizsgálókeretben szilárdan rögzített állapotban maradt. A vizsgálat után mért szigetelési ellenállás több mint 100 Ω/V volt.

Az akkumulátor teljes mértékben megfelelt a mechanikai ütés követelményének.

2.7 Tűzállóság

Itt a vizsgálat célja a REESS járművön kívülről származó, akár az adott járműből, akár egy közelben lévő másik járműből kiömlő üzemanyagból eredő tűzveszélynek való ellenállás ellenőrzése. Ilyen helyzetben a vezetőnek és az utasoknak elegendő idejük kell maradjon a jármű elhagyására. [4]

Az előírás kétféle tesztelést tesz lehetővé. Az egyik változatnál benzin égetésével, a másiknál PB gáz égetésével hozzuk létre az égetési hőt. Mi a második, PB gázos módszert választottuk, amely az előírás harmadik változatában került be a lehetséges tesztelési eljárások közé. Ez a módszer pontosabb és jobban reprodukálható, ezért döntöttünk e módszer mellett. Üres akkudobozon végeztünk előzetes tesztet, amelyek során mértük az akkudobozban a belső hőmérsékletet is. Ezeket az előzetes tesztet mi javasoltuk és az így elvégzett vizsgálatok elemzése során a gyártó is megbizonyosodott arról, hogy szükséges egy plusz hőszigetelő lemez elhelyezése az akkumulátordoboz alatt. Ez a hőszigetelő lemez a későbbiekben a sorozatban gyártott termék elválaszthatatlan részét képezi.

A vizsgált akkumulátort a gyártó által tervezett célnak megfelelő helyzetben, egy erre a célra tervezett vizsgálati elrendezésben teszteltük. 4 db PB-gázégőt használtunk a láng előállításához, a gázégőket az akkudoboz alatt egyenletesen helyeztük el úgy, hogy a teljes alsó felületet melegítettük. (4. ábra)



4. ábra: Tűzállósági vizsgálat

2.8 Rövidzárlat elleni külső védelem

Ennél a vizsgálatnál az akkumulátor két pólusát össze kell kötni a nyitott állapotú kontaktor érintkezőivel. Ezután a motoros kontaktorral rövidre zártuk az akkumulátor pólusait. A folyamat közben mértük a rövidre záró vezetékben folyó áramot. A nyitott kontaktornál természetesen nem mértünk áramot, a rövidzár alatt egy néhány ezredmásodpercig volt áram, de azonnal működésbe lépett az akkumulátor védőbiztosító és szakította az áramkört, az árammérő újra nem mutatott áramot. A folyamatot vizuálisan is követhettük, mivel az akkumulátor doboz oldalán elhelyezett védőbiztosíték kioldadását egy, a helyzetéből kimozduló piros alkatrész is mutatta.

2.9 Túltöltés elleni védelem

E vizsgálat célja a túltöltés elleni védelem működésének ellenőrzése annak megelőzése érdekében, hogy a REESS a túl magas töltöttségi szint következtében további súlyos károsodásokat szenvedjen el és balesetveszélyes helyzetet idézzon elő.

Alkatrészalapú vizsgálatot végeztünk az üzemi töltőberendezés használatával. A töltést addig végeztük, amíg a BMS (Battery Management System) leállította a töltést.

A töltés leállása után az előírás szerinti normál ciklust majd 1 órás megfigyelést hajtottunk végre. Hibátlan működés volt a végeredmény.

2.10 Túlzott kisütés elleni védelem

E vizsgálat célja a túlzott kisütés elleni védelem működésének ellenőrzése annak megelőzése érdekében, hogy a REESS a túl alacsony töltöttségi szint következtében további súlyos eseményeket szenvedjen el.

Ezt is az üzemi kisütő berendezés használatával végeztük. A kisütéseket addig kell végezni, amíg a BMS (Battery Management System) nem állítja le a kisütést. Ez előírt módon megtörtént, utána még normál töltés-kisütés ciklust kellett végrehajtani a működőképesség igazolásához.

2.11 Túlmelegedés elleni védelem

Az ellenőrzés célja a REESS belső túlmelegedése elleni védelmének vizsgálata üzemeltetés közben. Ennél a tesztnél a teljes járművel végzett vizsgálatot választottuk.

A tényleges vizsgálat előtt az autóbust temperálni kellett. Temperálás után fékpadi vizsgálatnak vetettük alá az akkumulátorral szerelt autóbust. A 6 órás, 43,5 °C -on végzett hőntartás végén az akkumulátorban a maximális hőmérséklet 31 °C volt, a telephelyváltás után a tényleges vizsgálat kezdetén az érték 32 °C -ra emelkedett. (A temperálás a Schwarzmüller telephelyén, a görgőpados vizsgálat a közeli Energotest fékpadján történt.)

A temperálás végén és a vizsgálat alatt a környezeti hőmérséklet 24-26 között °C volt.

A vizsgálat folyamán az előírásnak megfelelően a járművet folyamatosan tölteni kellett és kisütni olyan módon, hogy a lehető leggyorsabban növeljük a REESS celláinak hőmérsékletét a vizsgálat végéig. Ezt a követelményt görgős fékpádon végzett járművezetési műveletek végrehajtásával teljesítettük.

A vizsgálat alatt nem történt elektrolit szivárgás, égés vagy robbanás.

A 3 órás vizsgálati időszak alatt a hőmérséklet nem ért el kritikus értéket, a védelmi rendszer nem állította le a tesztet.

3. Összegzés

A teszt sorozat utáni szakvélemény: a vizsgált lítium alapú újratölthető energiatároló rendszer (REESS) teljesítette az ENSZ EGB 100.03 sz. előírás vonatkozó követelményeit. Forgalomba hozható, az EU jóváhagyó jel kiadható. (Megj.. a külföldi akkumulátorgyártó 2024-ben megkapta az Unió típusbizonyítványt.)

Felhasznált és ajánlott irodalomjegyzék:

- [1] ENSZ-EGB 100.03 előírás (Elektromos hajtásláncra vonatkozó különös követelmények)
<https://unece.org/transport/documents/2022/03/standards/regulation-no-100-rev3>
- [2] Kotak, B; Kotak, Y; Brade, K; Kubjatko, B; Scheweiger, H: Battery Crush Test Procedures in Standards and Regulation (MDPI, Base, 2021)
- [3] Stanislav Spirk, Miloslav Kepka: Tests and simulations for assessment of electric buses passive safety (First International Conference on Structural Integrity, Published: Elsevier, 20215)
- [4] <https://gruasytransportes.wordpress.com/2022/04/30/bus-electrico-de-la-ratp-que-se-incendio-en-paris-video-electric-bus-fire-in-paris/> (Video elektromos busz kigyulladásáról – 2022.04.29.- Párizs)