

Akkumulátoros és hidrogénhajtás vizsgálatának szempontrendszere a városközi vasúti személyszállításban Magyarországon

A nemzetközi és országos szinten megfogalmazott és kitűzött klímacélok megkövetelik a közlekedési eszközök károsanyag-kibocsátásának mérséklését, hosszú távon pedig a teljes karbonsemlegesség elérését. Ez elsősorban alternatív hajtású (tisztán elektromos vagy hidrogénüzemű) járművek forgalomba állításával érhető el, amely magába foglalja a kötöttpályás közlekedés felsővezetékkel nem rendelkező részét is. Éppen ezért a közúti közlekedés mellett a helyközi vasúti közlekedésben is elengedhetetlen a szerelvények forgalomba állítását megelőzően a kiszolgáló infrastruktúra elemzése, a szükséges átalakítások definiálása, valamint az alkalmazási célterületek meghatározása.

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2022.6.1>

Dr. Lakatos András¹ – Soltész Tamás² – Lepsényi István³

¹tudományos munkatárs, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedéstechnológiai és Közlekedésgazdasági Tanszék, e-mail: lakatos.andras@kjk.bme.hu

²tudományos segédmunkatárs, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedéstechnológiai és Közlekedésgazdasági Tanszék, e-mail: soltesz.tamas@kjk.bme.hu

³elnök, Magyar Hidrogéntekológiai Szövetség, e-mail: lepsenyi.istvan@xiagency.hu

1. BEVEZETÉS

Magyarországon a vasúti hálózat jelentős része nem villamosított. Az ország CO₂ kibocsátásának és kőolajfüggőségének hosszú távú csökkentése érdekében célként fogalmazható meg a kibocsátásmentes vonalak kialakítása a nem villamosított szakaszokon alternatív tüzelőanyagok és energiaforrások bevonásával. Az új vasúti járművek hozzájárulnak a

csökkentett karbonlábnyomú és alacsonyabb zajterhelésű közlekedéshez, a vasúti járműállomány megújulásához. A vasúti dízelvonatás kiváltásának két fő iránya van: a kettős vagy hibrid üzem, illetve a kibocsátásmentes üzem. Hibrid üzemben a belső égésű motor mellett megjelenik a villamos energia is, ezáltal a jármű képes a felsővezeték használatára a villamosított szakaszokon közlekedve. A villamos üzem célja a dízelmotor mellett

az energiátárolás, energia-fogyasztás csökkentése, gyorsításkor a teljesítmény növelése. Kibocsátásmentes közlekedés megvalósítható akkumulátorok (tisztán elektromos) vagy tüzelőanyag-cella (hidrogén – FCH) alkalmazásával.

Jelen vizsgálat célja a nemzetközi példákat is figyelembe véve annak meghatározása, milyen infrastruktúra-oldali beavatkozások szükségesek a tisztán elektromos, illetve a hidrogénüzemű vasúti járművek alkalmazásához, illetve mely hazai vasútvonalak szolgálhatnak ezen innovatív hajtásrendszerek demonstrációs területeiként.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS, NEMZETKÖZI PÉLDÁK

Számos irodalom [1]-[3] foglalkozik a hidrogén-, illetve az akkumulátoros hajtásokkal. Ezekből az egyik tanulmány [2] a különböző stakeholderek feladatait taglalja. Azonosítja az állami, üzemeltetői, energiaszolgáltató oldali, a fejlesztői, valamint a hatósági feladatokat:

- **Állami feladatok:** Az FCH vonatok a tömegközlekedési stratégiába integrálásának megfontolása, illetve az FCH vonatok fejlesztésének és telepítésének támogatása, a szükséges jogszabályi módosítások kezdeményezése (pl. járművezetőképzés), szabványok, előírások kidolgozása (pl. telephely, töltési infrastruktúra kialakítása);
- **Üzemeltetői feladatok:** Az FCH vonatok telepítési lehetőségeinek megvizsgálása (pl. legmegfelelőbb vonalak, multimodális üzemanyagtöltő terminálok), illetve a meglévő állomások FCH technológiával való utólagos felszerelésének megfontolása (hosszú járműélettartam);
- **Energiaszolgáltató oldali feladatok:** A nagyméretű hidrogén-töltőállomások megvizsgálása a hidrogénellátás szempontjából, illetve megfontolandó a hidrogén-utánpótlás más közlekedési módokkal történő szállításának vizsgálata is;

- **Fejlesztői feladatok:** az FCH-technológia helyi igényekhez történő igazításának vizsgálata;
- **Kormányzati feladatok:** A technológia elterjedési lehetőségének vizsgálata a közlekedési stratégiába való bevonásával.

A [3] az FCH megoldások európai elterjedését vizsgálva arra jutott, hogy 2030-ra az új vasúti járművek piacán 20%-os részesedésük várható. Három piaci szegmenst elemeztek:

- A motorvonatoknál számítanak a legnagyobb, 30%-os részesedésre (a dízeljárművek jelenlegi piacára vetítve), mivel itt már most is léteznek kész megoldások. Az üzemeltetési költségek terén a dízelmotorvonatokhoz hasonló szintet jeleznek előre, ami kis forgalmú vonalak esetén a villamosításnál jelentősen kedvezőbb megoldást jelent a kibocsátáscsökkentésre.
- Tolatómozdonyok esetén a tanulmány egyelőre alacsony piaci igényeket tár fel, aminek elsődleges okaként a járműkínálat jelenlegi hiányát jelöli meg. (Ez természetesen a technológia további terjedésével változhat.)
- Fővonalai mozdonyok esetén hasonló megállapításra jutnak: a járműkínálat egyelőre hiányzik, így az FCH mozdonyok elterjedése még várat magára.

Emellett a [3] a hidrogén-üzemanyagcellás hajtás öt fő előnyét állapítja meg:

1. rugalmas hibridizálási lehetőségek (akkumulátorokkal való kombinálhatóság),
2. gyors feltöltés,
3. a tisztán akkumulátoros hajtás kötöttségeinek mellőzése (pl. hatótáv, töltési idő),
4. alacsonyabb teljes üzemköltség (a dízel-meghajtáshoz, de egyes esetekben akár a felsővezeték üzemhez képest is),
5. kompromisszummentes teljesítmény.

A gyakorlati alkalmazást tekintve az akkumulátoros hajtásnak a vasúti közlekedésben

már évtizedekre visszanyúló előzményei vannak, számos külföldi példa létezik. Ennek egyik oka az elektromos meghajtás régóta és széles körben elterjedt alkalmazása, amely már a 19. század végétől jelen van a vasúti vontatásban; sőt, a belső égésű motorral hajtott járművek esetén is gyakori megoldás a villamos erőátvitel (pl. dízelvillamos mozdonyok). A másik fontos ok, hogy vasúti járműveken a közúti járműveknél lényegesen egyszerűbben helyezhetők el a nagy méretű és tömegű akkumulátorok, ennek köszönhetően már hagyományos savas akkumulátorokkal is készültek ilyen járművek.

Ezek közül a legnagyobb darabszámú a Deutsche Bahn (DB) 515-ös (korábban ETA 150) sorozata (1. ábra) volt, amelyekből 232 motor-kocsi készült 1954-1965 között, és az utolsó példányok 1995-ig üzemeltek. Az akkumulátoraikat négyévente kellett cserélni; az utolsó változatban 603 kWh energiát tudtak tárolni, ami kb. 400 km-es hatótávot tett lehetővé.

A hosszú üzemidőből látható, hogy a sorozat bevált, az utasok is kedvelték, ugyanakkor az akkumulátorok nagy tömege miatt a vázszerkezetük gyorsabban elhasználódott. A töltés és karbantartás bonyolultsága miatt e járműveket selejtezésük után már hagyományos, dízelhajtásúak váltották fel [4][5].

Az akkumulátoros hajtás vasúti alkalmazása terén napjaink egyik fő fejlesztési irányát szintén a motorvonatok jelentik. Ma már a legnagyobb európai gyártók (Siemens, Alstom-Bombardier, Stadler) mind kínálnak ilyen járművet; közülük több (pl. Alstom Talent 2., 3. ábra) már utasforgalomban is közlekedik. E járműveket jellemzően hagyományos, villamos motorvonatok vontatási akkumulátorokkal történő kiegészítésével fejlesztették ki, amelyeket fékezési energiával, menet közben felsővezetékről, ill. fix töltőpontról is képesek feltölteni (utóbbi esetben általában gyorstöltési opció is van). Akkumulátoros üzemben kisebb teljesít-

1. ábra: A DB 515-ös sorozatú akkumulátoros motorkocsija

[forrás: Wikimedia Commons]



2. ábra: Az Alstom Talent 3-asának akkus-villamos üzemű prototípusa [forrás: insideEVs.com]



ménnyel üzemelnek, de a végsebességük ekkor is eléri a 120-140 km/h-t. A hatótáv 80-150 km között változik, a gyártók pedig több mint tízéves akkumulátor-élettartamot garantálnak [6].

– elsősorban a teherszállításban – a fővonalai villamosmozdonyok felszerelése akkumulátorokkal, ilyen mozdonyt pl. a Rail Cargo Hungaria is rendelt már [9]. A megoldás előnye, hogy lehetővé teszi – a teljes útvonalnak álta-

A másik fő vasúti alkalmazás a tolató mozgások lebonyolítása, mivel ezen a területen nem okoz lényeges problémát sem az alacsonyabb elérhető teljesítmény, sem a rövidebb hatótáv. Főleg kisebb járműgyártók kínálnak akkumulátoros tolatómozdonyokat (pl. [7]), de üzemeltetők is végeznek kísérleti átépítéseket (pl. az osztrák ÖBB [8]). Egy további, kapcsolódó fejlesztési irány

3. ábra: A lengyelországi PESA járműgyár SM42-6Dn típusú, hidrogénhajtású tolatómozdonya [forrás: iho.hu]



lában igen rövid szakaszát kitevő – villamosítatlan vonalak, ill. iparvágányok kiszolgálását is külön tolatómozdony alkalmazása nélkül. Hátránya az akkumulátorok szállítása a teljes útvonalon, viszont itt meg kell jegyezni, hogy ezek tömege általában elhanyagolható a továbbított vonatok össztömegéhez képest.

A hidrogénhajtás lényegesen újabb technológia, az akkumulátoros hajtáshoz hasonló előzményekkel nem rendelkezik. Fő alkalmazási területei azonban – a technológiai kötöttségek hasonlósága (a tüzelőanyag-cella többlettömege, korlátozott hatótáv, töltési infrastruktúra szükségessége) okán – lényegében a fentiekkel azonosak, az új járműfejlesztések is szinte párhuzamosan folynak a két technológiát tekintve. Fontos különbség a hidrogén, mint energiaforrás beszerzésének, eljuttatásának és tárolásának megoldása, ezek azonban elsősorban logisztikai és infrastrukturális kérdéseket vetnek fel, járműoldalról az üzemeltetés a tisztán elektromos és a sűrített gáz alapú üzem közötti átmenetként értelmezhető. Így vannak példák nagyobb járműgyártók motorvonat-fejlesztésére (pl. Alstom [10], Siemens [11]) és kisebb gyártók tolatómozdonyaira (pl. PESA [12], 3. ábra) is, a fővonalai mozdonyok kiegészítő hajtásánál viszont nem terjedt még el ez a hajtási mód. A korábban idézett tanulmány [3] alapján megállapítható, hogy az FCH szegmensben – különösen a mozdonyoknál – a járműkínálata még korlátozott, egyelőre főleg kisebb gyártók prototípusai vannak jelen. Viszont a technológia rendkívül dinamikus fejlődik, folyamatosan kerülnek kereskedelmi forgalomba, válnak megrendelhetővé az új járműtípusok (a MÁV tenderelőkészítő anyaga 14 olyan céget sorol fel, amelyekről már lehet ajánlatot kérni).

3. ALTERNATÍV HAJTÁSÚ VASÚTI JÁRMŰVEK ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA

A tisztán elektromos, kizárólag akkumulátorral, valamint a hidrogénnel üzemelő vasúti járművek esetében mind a járműoldali, mind a humánerőforrás-oldali, mind pedig a kiszolgáló infrastruktúra oldali vizsgálatok szük-

ségesek. A közúti személyszállítást illetően az alternatív meghajtású járművek már valamivel elterjedtebbek (az áruszállításban még kevésbé), a fenti szempontok vizsgálata azonban még ott is folyamatosan zajlik. Jelen vizsgálat az infrastruktúra oldaláról közelíti meg a problémát.

Mindkét meghajtás esetében a kiszolgáló infrastruktúra terén egyrészt az üzemanyag-töltési technológia, illetve a telephelyi (karbantartási) műveleteket kiszolgáló létesítmények specifikációja fontos.

Tisztán elektromos üzem létesítése során, az üzemanyag-töltési technológiát (ez esetben üzemanyag alatt a tárolt elektromos töltés értendő) illetően az alábbi főbb kihívások kutatását szükséges a fókuszba helyezni:

- Az üzemanyag-töltők létesítése: a közúti közlekedésben az elektromos töltők telepítése dinamikusan növekszik, az egyre inkább terjedő elektromos üzemű személygépkocsik, illetve autóbuszok miatt. Ebből adódóan a közlekedési mód számára különböző paraméterekkel rendelkező (teljesítmény, áramerősség stb.) és különböző funkciójú (pl. éjszakai lassútöltés, gyorsöltés, villám-töltés) töltőberendezések állnak rendelkezésre a jelentkező igények függvényében, ráadásul az autóbusz-közlekedés terén egyre inkább bevett mód a végállomási töltés akár áramszedő segítségével. A fentiek értelmében a piacon már elérhető nagy teljesítményű töltőegység is, amelyek alkalmazhatók lehetnek a vasúti közlekedés terén is.
- Az üzemanyag-töltők méretezése és megfelelő mennyiségű üzemanyaggal történő ellátása: az üzemanyag-vételezési helyek funkciójából adódóan a csúsidőszaki igényeket felmérve, illetve meghatározva megfelelő mennyiségű elektromos áramot kell biztosítani a hálózatból. A legnagyobb kihívást a töltés során az elektromos hálózat esetleges bővítése jelenti, amelynek vizsgálatakor az alábbiakra kell tekintettel lenni:
 - o A hálózatbővítés fizikai kivitelezése időigényes, az engedélyezési, majd kiviteli műveletek akár éveket is igénybe vehetnek. A folyamatok időigényét

4. ábra: 200 bar nyomású hidrogéntartályok a Linde magyarországi töltőállomásán
[forrás: saját felvétel]



mérsékelheti a közlekedési szolgáltató, illetve az áramszolgáltató közötti szoros együttműködés megteremtése, amelyre magyarországi példaként a Volánbusz Zrt. és az MVM Next Zrt. közös cége, az MVM Mobiliti Kft. említhető.

- o Külön vizsgálandó a töltőrendszer gyártójának bevonásával, hogy a töltők táplálása megoldható-e a vasút saját vontatási energiaellátó rendszeréből (amely a legtöbb karbantartó helyen elérhető), ez ugyanis egyszerűsítheti a fenti folyamatokat. Emellett egy ilyen megoldás a villamos vontatási, ill. akkumulátortöltési funkciók közötti szinergia kiaknázását is lehetővé tenné, ugyanis ezen igények csúcsterhelése más-más időszakban várható, ezáltal pedig a hálózat bővítési szükséglete mérséklődhet vagy akár ki is váltható.
- o A napi vasútüzemeltetés során jelentkező energiaigények kiszolgálásához illeszkedő funkciójú és teljesítményű töltőegységek létesítése. Ehhez részletes vizsgálatok szükségesek a konkrét vasútüzem tekintetében (pl. járműfordulók, éjszakai töltési lehetőség, egyéb műveletekkel történő összehangolás). A töltő paramétereit minden esetben rész-

letesen specifikálni kell, amely teljesítmény- és funkcióoptimum meghatározásához további kutatások szükségesek.

- Üzemanyag-töltővel kapcsolatos biztonsági előírások meghatározása: a járművek töltési technológiája mellett kiemelt hangsúlyt kell fektetni a biztonságra is. Európában – sőt a világ szinte minden táján – jelenleg még nincsenek előírások, illetve (jog) szabályok a töltők kialakításával kapcsolatban. Kutatási potenciált jelent ezek meghatározása és Európai Unió vagy hazai jogszabályi környezetbe történő átültetése.

Hidrogénmeghajtású járművek üzemeltetése esetén az alábbi szempontok vizsgálata, kutatása elengedhetetlen:

- Az üzemanyag-töltők létesítése: jelenleg Magyarországon a Linde Gáz Magyarország Zrt. Budapesten található (4. ábra), Illatos úti telephelyén lehetséges a közúti járműveknek sűrített hidrogén üzemanyagot vételezni, a vasúti közlekedés számára a hidrogéntöltők hazánkban még nem érhetők el. Kutatási potenciál a töltőkutak elhelyezésének meghatározása, illetve az üzemanyag-vételezési pontok funkciójának meghatározása (pl. csak a közösségi közlekedés számára fenntartott vagy közforgalmú);

- Az üzemanyagtöltők méretezése és megfelelő mennyiségű üzemanyaggal történő ellátása: az üzemanyag-vételezési helyek funkciójából adódóan a csúcsidezési igényeket felmérve, illetve meghatározva megfelelő mennyiségű – kb. 200 bar nyomásra elősűrített – hidrogént kell biztosítani. Az optimális mennyiség meghatározása szintén komplex kutatást igényel, ugyanis számos paraméter befolyásolja, úgymint:
 - o A kiszolgálni kívánt járművek forgalomban betöltött szerepe, járműfordulója (fordája), ebből adódóan a töltési műveletre rendelkezésre álló időkeret és időkorlát;
 - o Az üzemanyagszállítás rendszeressége az üzemanyagkútra, amely kifejezetten fontos abban a tekintetben, hogy a hidrogéngáz csővezetékes szállítását Európában – sőt a világon – még nem alkalmazzák közlekedést kiszolgáló célokra, így az közúti szállítással történik. Ebből adódóan a telepített üzemanyagkutat logisztikai kiszolgálását előre meg kell tervezni.

A fentiek alapján tehát kritikus az üzemanyagkutatokon rendelkezésre álló sűrített hidrogén mennyisége és utánpótlása. Jelenleg Hamburgban üzemel az ottani közúti igényeket közforgalmú funkcióban kielégítő kút, amelynek tárolókapacitása maximálisan 1 tonna, 200 bar nyomásra sűrített hidrogén. A személygépkocsik és autóbuszok által igénybevehető kút létesítési költsége közel 13 millió euró volt [13].

- Sűrített hidrogén előállításához szükséges kompresszor méretezése: mivel a személygépkocsik (és a targoncák) 700 bar (5. ábra), míg az autóbuszok 350 bar nyomású hidrogént használnak fel, ezért a tartályokban lévő 200 bar nyomású gázt fel kell sűríteni a kívánt szintre. Ennek analógiájára a vasúti közlekedésben használt motorvonatok, mozdonyok hidrogén-üzemanyaggal történő feltöltéséhez is tovább kell sűríteni a hidrogént, ami az üzemanyagkúton elhelyezett kompresszor segítségével történik. A töltési kapacitást döntően

befolyásolja az alkalmazott kompresszor teljesítménye, amelyet a jelentkező igények ismeretében optimalizálni szükséges. Ez szintén egy komplex kutatási potenciált jelent, amelynek kiváló alapot adhat a közúti közlekedésben már széles körben alkalmazott CNG (sűrített földgáz) vagy CBG (sűrített biogáz) technológia. Ugyanis a hidrogénüzemű járművek töltése is a nyomáskiegyenlítés módszerével történik, azaz a járműveken elhelyezett tartályok és az üzemanyagkúton található tartályokat összekötve nyomáskiegyenlítés jön létre. Fontos hangsúlyozni, hogy a töltési műveletet számítógépes algoritmus szabályozza a manuális, emberi vezérlés helyett. Magyarországon számos helyen alkalmaznak már CNG-kutakat a közúti közlekedésben:

- o Miskolcon a MVK Zrt. telephelyén közforgalmú kútként üzemel CNG-töltőbázis 2400 m³/h teljesítményű kompresszorral, amely egyszerre 6 autóbust, 1 tehergépkocsit és 1 személygépkocsit képes kiszolgálni. Ebből adódóan egyszerre körülbelül 50, járművön található gáztartály tölthető fel. A töltőállomás kiépítése 1 milliárd forintba került;

- o Budapesten a "FŐGÁZ-gázkút" rendelkezik 1000 m³/h teljesítményű kompresszorral, amely egyszerre 2 darab autóbusz feltöltését tudja végezni [14][15].

A fentiekből adódóan látható tehát, hogy a hidrogénnel üzemelő vasúti járművek kiszolgálását végző kutak töltési teljesítményét meghatározó kompresszorok megválasztásához alapot adhatnak a hazai CNG-kutak paramétereit, de annak pontos meghatározása további kutatásokat igényel.

Mindkét alternatív meghajtás alkalmazása esetén a telephelyi (karbantartási) műveleteket kiszolgáló létesítményekre is fókuszálni kell az alábbi kutatási témákkal:

- járművek karbantartási műveleteinek kidolgozása;
- járműkarbantartáshoz kapcsolódó telephely-átalakítások szükségessége: a

5. ábra: Kompresszor és töltőoszlop a Linde magyarországi töltőállomásán
[forrás: saját felvétel]



nagyfeszültséget vagy nagynyomású gázt felhasználó járművek karbantartására – elsősorban az akkumulátorpakkok tárolására, felhasználására, karbantartására – számos karbantartóeszközt, valamint karbantartási helyiséget át kell alakítani. Ezek paramétereinek meghatározására (pl. mely helyiségeket, hogyan kell átalakítani, illetve kialakítani) ugyan ajánlásokat megfogalmaz(hat) az adott jármű gyártója, azonban hazánkban előírások, (jog)szabályok még nincsenek (sőt, Európában is csak elvétve, helyi szinten). A (jog)szabályok, előírások megalapozásához szintén műszaki tanulmányok, kutatások szükségesek, amelyeknek előbb kell megvalósulniuk, mint a járművek megérkezésének.

4. HAZAI ESETVIZSGÁLATOK

Az alternatív üzemű vasúti járművek alkalmazhatósága három vasútvonalon kerül bemutatásra:

6. ábra: Magyarország vasúti térképe (pirossal jelölve a 5-ös számú vasútvonal)
[forrás: wikipedia.hu]



- 5-ös számú Székesfehérvár – Komárom vonal;
- 81-es számú Hatvan – Somoskőújfalu vonal;
- 10-es számú Győr – Celldömölk vonal.

A Székesfehérvár–Komárom reláció (6. ábra) a MÁV 5-ös számú nem villamosított, egyvágányú vasútvonala, amelynek hossza 82 kilométer. A vasúti pályán a megengedett legnagyobb sebesség 80 km/h.

A vonalon a jelentős áruszállítás mellett szimbolikus személyszállítási kínálat áll az utazóközönség rendelkezésére, amely napi szinten két vonatpárt jelent. Az egyik vonatpár Székesfehérvár felől Komárom érintésével Esztergomig közlekedik, illetve Esztergomból indul, míg a másik vonatpár Székesfehérvár és Komárom között szállítja az utasokat. A vonalon a személyszállítási szolgáltatás üzemideje 10:20 - 19:21 között értelmezhető, így az üzemszünet 15 óra. Ez az időérték elegendő lehet a vasúti járművek üzemanyag-töltésére, azonban hangsúlyozandó, hogy a járműveket – a vonal szolgáltatás nélküli időszakában – más vasútvonalakon is felhasználják (ez a hidrogénüzemben is megoldható), így azok töltésére rendelkezésre álló idejét a járművek fordája határozza meg. Ebből adódóan a rendelkezésre álló idő kevesebb is lehet, mint 15 óra. A vonalon jelenleg Bzmot típusú dízelüzemű motorvonatok közlekednek. A vonal kiszolgálása négy szerelvényel valósítható meg, így a vonal (reláció) ideális demonstrációs környezetként szolgálhat az akkumulátoros hajtás számára.

A tisztán elektromos, kizárólag akkumulátorról üzemelő motorvonatok alkalmazása esetén a következő kritikus paraméterekre kell tekintettel lenni:

- A járművek fordájából adódóan azok töltésére korlátozott időkeret áll rendelkezésre. Ez döntően befolyásolhatja az alkalmazott töltőegység paramétereit és funkcióit (pl. villámtöltés, éjszakai gyorstöltés stb.);
- A járművek fordájuk szerint a honos állomásukhoz képest távolabbi területeken is

személyszállítási feladatokat láthatnak el, amelyből adódóan az akkumulátorpakk méretét, ennek eredményeképpen pedig a hatótávolságot előre kell definiálni, illetve meghatározni;

- A járművek tényleges hatótávolságából, illetve a forda szerinti napi futásteljesítményből adódóan elképzelhető az is, hogy a járműveket nem szükséges mindennap tölteni. Ezzel a töltési folyamatok és a töltési rendszeresség optimalizálható, amely részletes vizsgálatokat igényel (tervezett menetrend felállítás, fordatervek elkészítése stb.);
- A MÁV járműjavító és járműkarbantartó telephellyel rendelkezik a székesfehérvári vasútállomás közvetlen környezetében, így a járművekhez szükséges karbantartó-infrastruktúra, illetve töltési infrastruktúra kialakítása azon a helyen javasolt. Ezzel együtt részletesen fel kell mérni egy részletes tanulmány keretein belül:
 - o A járműjavító- illetve karbantartó létesítményben az akkumulátorpakkok balesetmentes karbantartásához szükséges átalakításokat;
 - o Meg kell határozni a töltési infrastruktúra pontos helyét a telephelyen belül.

A Hatvan–Somoskőújfalu vasútvonal (7. ábra) a MÁV 81-es számú nem villamosított vasúti fővonala a Zagyva völgyében. 65 kilométer hosszú, amelyből közel 11 kilométer kétvágányú (Hatvan–Selyp), ez az ország egyetlen nem villamosított kétvágányú vonalszakasza. A vonalon helyi jellegű személy- és teherforgalom zajlik, annak ellenére, hogy korábban nemzetközi vonatok is közlekedtek. 2006 óta az ütemes menetrend alapján egy-, illetve kétórás követéssel közlekednek a személyvonatok.

A vonal kapcsolatot teremt Szlovákiával is, ugyanis Somoskőújfalu és Fülek között a szlovák vasúthálózaton 164-es számmal „folytatódik”. A nemzetközi hálózati elem hossza 14 kilométer, egyvágányú és villamosítatlan, ráadásul 2011 óta személyforgalma nincs.

A vonal magyarországi szakaszán a vonatokat Bzmot típusú dízelüzemű motorvonatok továbbítják. A vonalon jelenleg ütemes menetrend alapján Somoskőújfalu és Hatvan között közlekednek a személyszállító vonatok 2 óránként. Az üzemidő 3:06 - 23:47 közötti, azaz az éjszakai üzemszünet kevesebb, mint 4 óra. A vonalat négy szerelvény szolgálja ki – alapul véve a jelenlegi fordákat – ezért a lokáció a hidrogénhajtás egyik ideális demonstrációs területeként is funkcionálhat.

A Kisalföldet a Marcal folyó jobb partja mentén átszelő Győr–Celldömölk (8. ábra) vasút-vonal a MÁV 10-es számú, egyvágányú, nem villamosított vasútvonala. A vonal 72 kilométer hosszú, amelyen a megengedett maximális sebesség 100 km/h.

A Győr és Celldömölk, valamint Pápa és Celldömölk között közlekedő személyvonatokat többnyire Bzmot motorvonatok, valamint MÁV M41-es mozdonyok által vontatott vonatok továbbítják. 2019 nyarától a személyvonatokon két darab felújított, a GYSEV-től bérelt Jenbacher motorvonat is közlekedik. A Helikon InterRégióban (Győr - Kaposvár) Siemens Desiro motorvonatok közlekednek. A személyszállítás tekintetében a vonalon ütemes menetrend van érvényben, azaz a kora hajnali, illetve a késő esti időszakot leszámítva minden páros órában személyvonat, minden páratlan órában pedig a Helikon InterRégió vonat köti össze Győrt Celldömölkkel. Ezen felül heti egyszer (vasárnap) Szombathely irányából Budapest-Keleti pályaudvarra is közlekedik egy InterRégió vonat, amelyet M41-es mozdony továbbít. A vonalon az üzemidő 3:45-23:53 között értelmezendő. Ezekből adódóan ez a lokáció szintén funkcionálhat demonstrációs területként a hidrogénhajtás számára.

Amennyiben az említett vonalakon hidrogén üzemanyagú motorvonatok kerülnek alkalmazásra, úgy a következő kritikus paraméterekre kell tekintettel lenni:

- Az üzemszünet hosszából adódóan a járművek töltésére korlátozott időkeret áll rendelkezésre. Ez döntően befolyásolhatja az üzemanyagkúton alkalmazott komp-

resszió teljesítmény-paraméterértékének megválasztását;

- Az alkalmazott ütemes menetrend alapján a járművek napközbeni töltése nehezen oldható meg, így azok töltése elsősorban az éjszakai órákban történhet;
- A járművek tényleges hatótávolságából, illetve a forda szerinti napi futásteljesítményből adódóan elképzelhető az is, hogy a járműveket nem szükséges mindennap tölteni. Ezzel a töltési folyamatok és a töltési rendszeresség optimalizálható, amely részletes vizsgálatokat igényel (tervezett menetrend felállítása, fordatervek elkészítése stb.);
- A MÁV járműjavító és járműkarbantartó telephellyel rendelkezik a hatvani vasútállomás közvetlen környezetében, emellett a Keleti pályaudvarnál található központi járműjavító és járműkarbantartó bázis is tervezetten Hatvanba kerül át. Így a járművekhez szükséges karbantartó-infrastruktúra, illetve töltési infrastruktúra kialakítása másik telephelyen javasolt.
- A MÁV Győr állomáson kisebb karbantartási létesítménnyel rendelkezik, ezért a hidrogén meghajtású járművekhez szükséges karbantartó-infrastruktúra, illetve töltési infrastruktúra kialakítása javasolt azon a helyen. Ráadásul a létesítmény közvetlenül a TEN-T folyosó mellett helyezkedik el, így funkciója bővíthető, akár közforgalmú hidrogéntöltő állomásként is szolgálhat a különböző közlekedési módok számára (közúti személy- és teherszállítás, vasút kiszolgálása), az azonban további vizsgálatokat igényel, hogy az ehhez szükséges vasúti járműmozgások hogyan illeszthetők be az állomás üzemi tervébe.
- Ezzel együtt – az eddig említetteken felül – részletesen fel kell mérni mind az akkumulátoros, mind pedig a hidrogénhajtás esetében egy tanulmány keretein belül:
 - o A járműjavító, illetve -karbantartó létesítményben a hidrogénüzem balesetmentes karbantartásához szükséges átalakításokat;

- o Meg kell határozni a töltési infrastruktúra pontos helyét a telephelyen belül;
- o Tekintettel kell lenni a közforgalmú szerepre is, azaz közúti és egyéb vasúti járművek számára is elérhetővé kell tenni a hidrogén-üzemanyagkút használatát.

5. KÖVETKEZTETÉSEK

Az alternatív hajtású járművek nagyban hozzájárulhatnak a klímaseglegességhez, a (vasúti) közlekedés által kibocsátott károsanyagok mértékének csökkentéséhez. Azonban az említett járművek technológiája Európában új, illetve újszerű, ezért a biztonságos és megbízható üzemeltetéshez számos feltételnek szükséges teljesülnie a kiszolgáló létesítmények terén. A töltési infrastruktúra létrehozása mind a hidrogénüzemű, mind pedig az akkumulátoros üzemű járművek esetében kritikus pont. A hidrogénüzem tekintetében az üzemanyagkút jellegéből (közforgalmú vagy zárt használatú) és az egyszerre felhasználandó üzemanyag mennyiségéből adódóan megfelelő teljesítményű kompresszor és megfelelő kapacitású tárolókötegek telepítése szükséges. A jelenleg elterjedt és széles körű üzemeltetési tapasztalatokkal bíró – autóbuszos közforgalmú – CNG-üzemek alapján ajánlott a 2000 m³/h feletti teljesítményű kompresszor alkalmazása körülbelül 1 tonnányi, 200 barra sűrített hidrogén tárolásával;

Az akkumulátoros üzemelés esetén a megfelelő hálózati teljesítmény kulcsfontosságú. Azaz biztosítani szükséges, hogy a hálózatból a központi töltőegység minimum 800 A erősségű áramot fel tudjon venni, névleges teljesítményként a 600 kW érték tartós biztosítása mellett, ami azonban – tekintettel a MÁV saját, nagyfeszültségű hálózatára – a közúthoz képest viszonylag egyszerűen biztosíthatónak tűnik.

A töltési rendszeren túl a karbantartási egységek, létesítmények biztonsági felkészítése a magasnyomású gáz, illetve a nagyfeszültség biztonságos kezelésére is elengedhetetlen. Az átalakításokra jelenleg jogszabályi előírás, katasztrófavédelmi ajánlás nincs. Ennek orszá-

gos szintű vizsgálata és kidolgozása kulcsfontosságú.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Study on use of fuel cell hydrogen in railway environment (<https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/F01-Roland-Berger-Public.pdf&clen=2975671&chunk=true>, hozzáférés: 2022. március 11.)
- [2] Study On The Use Of Fuel Cells And Hydrogen In The Railway Environment (https://fshift2rail.org/wp-content/uploads/F019/05/Study-on-the-use-of-fuel-cells-and-hydrogen-in-the-railway-environment_final.pdf&clen=67158454&chunk=true, hozzáférés: 2022. március 11.)
- [3] Nicolas Pocard: Fuel Cell Trains Show Wide Market Potential (<https://blog.ballard.com/fuel-cell-trains>, hozzáférés: 2022. márc. 11.)
- [4] Nincs új a nap alatt: az akkumulátoros motorkocsi (https://vonattal-termeszetesen.blog.hu/2020/05/19/nincs_uj_a_nap_alatt_az_akkumulatoros_motorkocsi; hozzáférés: 2022. február 17.)
- [5] DB-Baureihe ETA 150 (https://de.wikipedia.org/wiki/DB-Baureihe ETA_150; hozzáférés: 2022. február 17.)
- [6] Villamosítás vagy akkumulátor? (<https://iho.hu/hirek/villamositas-vagy-akkumulator-200511>, hozzáférés: 2022. február 17.)
- [7] Hibrid tolatómozdonyokat gyárthatnak az Egyesült Királyságban (<https://iho.hu/hirek/hibrid-tolatomozdonyokat-gyarthatnak-az-egyedul-kiralysagban-200619>, hozzáférés: 2022. február 17.)
- [8] Akkumulátoros üzeműre épített át tolatómozdonyokat az ÖBB (<https://iho.hu/hirek/akkumulatoros-uzemure-epittet-at-tolatomozdonyokat-az-obb-190815>, hozzáférés: 2022. február 17.)
- [9] Elkészült az RCH első kínai akkus mozdonya (<https://iho.hu/hirek/elkeszult-az-rch-első-kinai-akkus-mozdonya>, hozzáférés: 2022. február 17.)
- [10] Az Alstom szállíthatja az Egyesült Királyság első hidrogénhajtású vasúti flottáját (<https://iho.hu/hirek/az-alstom-szallithatja>

az-egyesult-kiralysag-also-hidrogenhajtasu-vasuti-flottajat, hozzáférés: 2022. február 17.)

- [11] Siemens Mobility and DB unveil hydrogen-driven train Mireo Plus H (<https://www.railway-technology.com/news/siemens-mobility-db-hydrogen-train/>, hozzáférés: 2022. augusztus 15.)
- [12] Hidrogénhajtású mozdonyt mutatott be a Pesa (<https://iho.hu/hirek/hidrogenhajtasu-mozdonyt-mutatott-be-a-pesa-210927>, hozzáférés: 2022. február 17.)
- [13] Wasserstoffstation HafenCity Hamburg – Schlussbericht. (<https://www.now-gmbh.de/en/projectfinder/wasserstofftankstelle-hafencity-hamburg/>, hozzáférés: 2022. február 17.).
- [14] Lakatos A., Mándoki P. Autóbusz-üzemtan. Akadémiai Kiadó, 2018. (elektronikus kiadás)
- [15] Lakatos, A., Mándoki, P. Autóbusz-üzemtan. BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar (nyomtatott jegyzet), 2018.



Criteria for the Assessment of Battery and Hydrogen Propulsion in Intercity Passenger Rail Transport in Hungary

The climate targets stated and set nationally and internationally require the reduction of emissions from transport vehicles and, in the long term, the achievement of total carbon neutrality. This can be achieved primarily through the introduction of alternative propulsion vehicles (pure electric or hydrogen), including the non-overhead lines areas of rail transport. For this reason, in addition to road transport, it is also essential in the case of interurban rail transport to analyse the service infrastructure, to define the necessary modifications and to define the target areas of application before the trainsets are placed in service.



Kriteriensystem zur Prüfung von Batterie- und Wasserstoffantrieb im Schienenpersonenfernverkehr in Ungarn

Die auf nationaler und internationaler Ebene formulierten und gesetzten Klimaziele fordern die Reduzierung der Schadstoffemissionen von Verkehrsmitteln und langfristig das Erreichen einer vollständigen CO₂-Neutralität. Dies kann vor allem durch die Einführung von Fahrzeugen mit alternativem Antrieb (rein elektrisch oder mit Wasserstoffbetrieb) erreicht werden, was auch den Teil des nicht oberleitungsgebundenen Schienenverkehrs umfasst. Genau aus diesem Grund ist es unerlässlich, neben dem Strassenverkehr auch im Schienenverkehr zwischen den Städten vor der Inbetriebnahme der Züge die bedienende Infrastruktur zu analysieren, sowie die notwendigen Anpassungen zu definieren und die Einsatzgebiete festzulegen.