



BME OMIKK  
ENERGIAELLÁTÁS, ENERGIATAKARÉKOSSÁG  
VILÁGSZERTE

45. k. 2. sz. 2006. p. 24–32.

Korszerű energetikai berendezések



## Tüzelőanyag-elemes rendszerek az USA hadserege számára

*Egy új technológia fontosságát ékesen bizonyítja, ha a hadsereg is felfigyel rá. Így van ez a tüzelőanyag-elemekkel is, főleg a hordozható, viszonylag kis teljesítményű típusok játszhatnak szerepet a mindenféle elektronikus berendezéssel felszerelt katonák energiaellátásában. A kiválasztott technológiák, a katonaság által finanszírozott kutatások, az első „üzemi” tapasztalatok a hadgyakorlatok során. A hadsereg figyelme lendületet adhat a technológia fejlődésének.*

---

Tárgyszavak: katonai alkalmazás; tüzelőanyag-elem; protoncserélő membrán; PEM; szilárd oxid; SOFC; hidrogéntárolás.

---

A hadsereg feladatai ellátása érdekében sokféle villamos energiát fogyasztó berendezést fejleszt ki és állít hadrendjébe. A 80'-as és a 90'-es évek folyamán a mikroelektronika területén elért eredményeknek köszönhetően sokféle képességgel felruházott mikroelektronikai berendezéseket vettek használatba – éjjel is látó készülékeket, globális helymeghatározó rendszereket, lézeres irányzékokat és célkijelölő eszközöket, digitális kommunikációs rendszereket, adatgyűjtésre felhasználható érzékelőket stb. Segítségükkel a parancsnokok és a

katonák általános képet kaphatnak a hadszíntérről és olyan gyorsan léphetnek akcióba, hogy az ellenfél képtelen erre időben reagálni.

Ezek az elektronikus rendszerek növekvő mértékben igényelnek kellő áramsűrűségű, megbízható és mérsékelt ráfordításokkal előállítható áramforrásokat – ennek kapcsán irányult a hadiipari szakemberek figyelme a sokféle katonai területen alkalmazható tüzelőanyag-elemekre. Az USA hadseregének Kommunikációs, Elektronikai Kutató és Fejlesztő Mű-

szaki Központja (CERDEC) jelenleg egy-egy katonát vagy érzékelőt ellátó (<20 W), akkumulátorok utántöltését végző és zajtalan áramfejlesztőként működő közepes teljesítményű (200 W–2 kW); valamint ennél is nagyobb teljesítményű, mobil áramforrások és segédáramforrások (APU, auxiliary power unit) számára szükséges tüzelőanyag-elemek fejlesztésén dolgozik.

A CERDEC a katonai célú tüzelőanyag-elemeket „rendszer a rendszerben” elven fejleszti. Nagy ugyan a szükség a technológiákkal kapcsolatos alap kutatásokra is, de egyidejűleg kompletten felszerelt rendszereket is ki kell alakítani – annak érdekében, hogy a tüzelőanyag-elemekkel kapcsolatos technológia a laboratóriumokból gyorsan a felhasználókhoz kerülhessen. Az ennek megfelelően kifejlesztett, demonstrációs célú eszközök – személyi felszerelés, robotok, érzékelők és APU-k – áramforrásai közül a 100 W-os, tüzelőanyag-elemes akkumulátortöltő, a 20 W-os közvetlen metanolos tüzelőanyag-elemek és a hangtalan megfigyelő rendszerek táplálására alkalmazott 2 kW-os, reformált metanollal működő rendszer emelhető ki.

Személyi felszerelés és érzékelők céljára a hadsereg rövid távú technológiai kutatásait a protoncserélő membránra (PEM) és a közvetlen metanolos tüzelőanyag-elemekre összpön-

tosítja, mivel ezek áramsűrűsége nagy, gyorsan indíthatóak, és gyártási technológiájuk már megérett a szigorú katonai követelmények teljesítésére. Az utóbbi években a PEM rendszerű tüzelőanyag-elemek működése a jobb tervezésnek, a termikus folyamatok hatékony kezelésének és az elektródák jobb konstrukciójának köszönhetően hallatlan mértékben javult, ami jobb fajlagos áramsűrűséget és költségcsökkenést is eredményezett. Katonai felhasználás esetén (gyakran 24 óránál hosszabb akciókra is) azonban a tüzelőanyag-elemekkel szemben szigorúbb megbízhatósági és energiasűrűségi követelmények merülnek fel, de fontos szempont a jó hordozhatóság és a megbízható hidrogénforrás megléte is. Mindezekből kiindulva a katonai célú kutatások súlypontja az utóbbi időben az „elemről” mindinkább a hajtóanyagra helyeződött át – a nagy energiasűrűségű hidrogéntárolás és áramfejlesztés problematikájára. Ami a fizikai folyamatokon alapuló tárolást illeti, nyomástűrő hengerekről, fémhidridekről, szén-alapú nanocsövekről és más hasonló megoldásokról van itt szó. Az igényeknek megfelelő mennyiségű villamosenergia-termelésnél pedig a kémiai reakciók révén megvalósuló hidrogénfejlesztés és a folyékony tüzelőanyagok reformálása kapott figyelmet. Az utóbbiakra alapozott alrendszerek a hidrogént nagyobb sűrűséggel (5–7%) képesek tárolni, mint a fizikai tárolás (1–2%). Más hidrogén szolgáltató rendszerekhez képest

a reformálás nagyobb energiasűrűséget és jobb gazdaságossági mutatókat tesz lehetővé. Metanol, gázolaj és dízel/JP-8-as repülőbenzin reformálásával sokféle technikával fejleszthető hidrogén. A középtávú katonai alkalmazás szempontjából a metanol a legesélyesebb, míg harctéri hidrogénforrásként a dízel, a JP-8-as és más katonai logisztikai üzemanyagok csak hosszú távon jöhetnek számba.

### **A tüzelőanyag-elemek katonai alkalmazásai**

A tüzelőanyag-elemekre és akkumulátorokra alapozott hibrid áramforrások a 20–2000 W-os teljesítménytartományban sokféle mobil/hordozható és zajtalanul működő készülék áramigényeit képesek kielégíteni. Az akkumulátoros megoldások inkább rövid ideig tartó (<24 órá) és kis teljesítményt (<20W) igénylő alkalmazásoknál használatosak, 2000 W-nál és fölülte pedig a hagyományos katonai dízelgenerátorok állnak rendelkezésre. E kisméretű dízel-aggregátok azonban zajosak, ami észrevétlenül lebonyolítandó hadműveletek esetében probléma, de gondot okoz az is, hogy nem tudnak a teljes működési ciklusban olyan hatékonyan működni, mint a tüzelőanyag-elemek. Katonai alkalmazás esetében ezért a 20–2000 W-os teljesítménytartomány olyan „szürke zónának” tekinthető, ahol a teljesítményigény

az akkumulátorok számára már túl magas, a hagyományos tüzelőanyagot használó dízelgenerátoroknak pedig túl alacsony szintű.

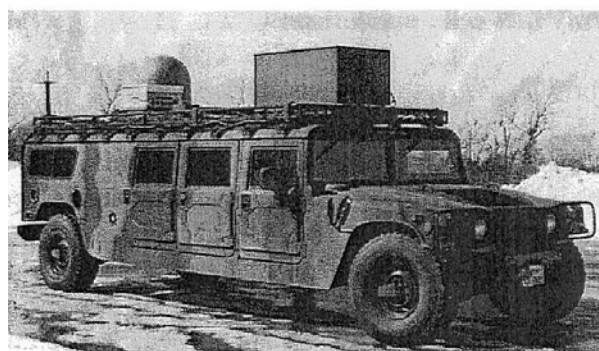
Mivel a tüzelőanyag-elemeket a jövőben mobil alkalmazások esetén is használni lehetne, a hadsereg e fejlesztések során a teljes hadszíntéri költségszint minimálisra csökkentését tűzte ki célul. A PEM rendszerű tüzelőanyag-elemekkel működő áramforrások közel 40%-os működési hatásfoka előnyösebb a dízeles rendszerekre jellemző 30% körüli értékhez képest. Nagyobb méretű (>2kW) tüzelőanyag-elemek bevezetését azonban akadályozza, hogy működtetésükhöz hagyományos tüzelőanyag (dízel és JP-8) szükséges, és ezekből az tüzelőanyagokból a kén nehezen távolítható el. Nem beszélve arról, hogy – amennyiben a cél-lák működéséhez szükséges hidrogént fosszilis tüzelőanyagból fejlesztik – a rendszer általános hatékonysága és környezetterhelése közel azonos a hagyományos belsőégésű technológia mutatóival. A hadsereg ezért jelenleg a szénhidrogén-alapú tüzelőanyagok reformálásánál az úgynevezett mikrocsatornás eljárásokra összpontosítja a figyelmet.

Növekvő jelentőségre tesz szert a harci járműveknél az úgynevezett 'zajtalan megfigyelést' (Silent Watch) igénylő hadműveletek köre is. E hadműveleti követelmények a mobilitás kivételével megfelelnek a szokásosnak, de eköz-

ben igen alacsony zaj- és infravörös kisugárzási szint elérésére van szükség, ami magas zajszintjük miatt eleve kizárja dízelhajtású segédmotorok alkalmazását. Számításba kell venni azt a körülményt is, hogy ma már számos harci járművet komoly kommunikációs és a helymeghatározást szolgáló elektronikus berendezéssel szereltek fel – ezek teljesítményigénye pusztán akkumulátorokkal már nem elégíthető ki. A zajtalan megfigyelés hadműveleti igényeit tüzelőanyag-elemekre épülő kiegészítő áramforrás képes kielégíteni.

A fentiekből kiindulva a CERDEC nemrég egy parancsnoki harci járműre megerősített szerkezeti kivitelű (rázásálló) 2 kW-os, metanol/víz reformálásával működő APU-t szerelt fel (1. ábra). A tüzelőanyag-elem a Silent Watch hadgyakorlatokon a feladat végrehajtása szempontjából kritikus szerepet játszó kommunikációs és elektronikus berendezések számára termelt áramot. Mivel a katonáknak nem kellett a dízelmotort elindítaniuk, a Silent Watch harcállásponton tevékenykedő katonák el tudták kerülni azt, hogy felfedezzék őket, miközben meghatározhatták az ellenséges erők pontos elhelyezkedését, és hívni tudták a szükséges erősítést. Bár hivatalosan még nem állították hadrendbe, ez volt az első tüzelőanyag-elemes katonai járművek egyike, amelyet hosszú időn át használtak (és „strapáltak”) reális harci feltételek között (esőben, porban,

hidegben, hőségben, erős rezgés mellett stb.). Az USA hadseregében jelenleg logisztikai okok miatt érvényesülő, egyféle tüzelőanyag alkalmazását előíró stratégia miatt azonban csak dízel, JP-8 és más, széles körben felhasznált üzemanyag vehető igénybe a tüzelőanyag-elemek esetében is. Mivel metanol/víz reformálására alkalmas készülékek ma még csak néhány alkalmazási területen állnak rendelkezésre, a CERDEC és partnerei továbbra is más, üzemanyagként kevesebb vizet igénylő, a dízelolajra támaszkodó reformálási megoldások kifejlesztésén munkálkodnak. A nagyobb teljesítményű tüzelőanyag-elemek széles körű elfogadottsága és telepítése terén ma még a megfelelő hajtóanyag kérdése jelenti a legnagyobb kihívást.



1. ábra Egy parancsnoki harci jármű a tetejére szerelt 2 kW-os tüzelőanyag-elemmel

### **Korszerű hibrid áramforrások**

A Dél-Karolinai Egyetem jelenleg a CERDEC szponzorálása mellett számos szakterület

együttes erőfeszítésére támaszkodó, tüzelőanyag-elemeket, akkumulátorokat és kondenzátorokat használó, katonai célú, fejlett hibrid áramforrások (HAPS, hybrid advanced power supply) fejlesztésén dolgozik. E program most kifejezetten a 0–100 W-os teljesítménytartomány áramfejlesztő/elektronikus rendszereire összpontosítja a figyelmet. Először a megfelelő elektronikus eszközöket és elemeket hozzák létre, majd ezek alapján a különböző kombinációk/konfigurációk szimulációs modellezése következik. A modell részét fogja képezni a különböző technológiák kombinálásához szükséges elektronika is, ami lehetőséget ad majd a tüzelőanyag-elemes telepek különböző konfigurációi és a hozzájuk tartozó méret- és súlyviszonyok elemzésére is. A modell segítségével az elektrokémiai eszközöket több áramfogyasztási forgatókönyv alapján fogják optimalizálni – köztük a jelenlegi katonai berendezésekben várható igényeknek megfelelően is. A modellek és a HAPS megfelelő prototípusait erre a célra készített konkrét eszközökön fogják kipróbálni. A HAPS programban szerepel a hidrogént szolgáltató fémhidridek és az üzemanyag-feldolgozó rendszerek modellezése is. Miután az alkalmazások többségénél tüzelőanyag-elemekre is szükség van, a hidrogénforrás e rendszerek kritikus elemét képviseli. Előfordulhat, hogy – adott hidrogénforrás mellett – a tüzelőanyag-elemek optimális energiasűrűségű működtetése csak

közel állandó terhelési szint mellett valósítható meg. A csúcsterheléshez / a terhelés kiegyenlítéséhez szükséges akkumulátor-telep méreteit (kapacitását) az alkalmazott tüzelőanyag-feldolgozó tranziens jellemzői határozzák meg. Maga a „hibrid” minősítés is többféleként értelmezendő. Például egy folyón átkelve az akkumulátort nem csak a csúcsterhelés kielégítésére használják, hanem kizárólagos áramforrásként – arra az időre, amikor a víz alatt nem áll rendelkezésre a tüzelőanyag-cellában zajló katódoxidációs folyamathoz szükséges oxigén.

### **Közvetlen metanolos tüzelőanyag-elemek**

Az USA hadserege a tüzelőanyag feldolgozása nélkül felhasználható, folyékony szénhidrogén tüzelőanyaggal működtethető cellákra alapozott rendszerek kifejlesztésére összpontosítja a figyelmet. Ezeket az alkalmazási feltételeket a metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) ki tudja ugyan elégíteni, de katonai alkalmazásra a végső cél a dízel vagy a repülőbenzin. A folyékony tüzelőanyagra alapozott cellák alkalmazása mindenképp az akkumulátorokénál nagyobb energiasűrűséggel (~6 kWh/kg) indokolható, ami a könnyű, de megerősített szerkezetű tartályok tömegét is beleszámítva is igaz. A tüzelőanyag a hadműveleti forgatókönyvtől függően kisebb patro-

nokban, vagy távolabb elhelyezett tartályokból biztosítható. Ha személyi felszereléshez tartozik, néhány kisebb patronnal a tüzelőanyag-elemes áramforrás kiválthatja a kisebb energiasűrűségű akkumulátorokat. Bár ezek a tüzelőanyag-elemes telepek még súlyosabbak és bonyolultabbak a megfelelő, hidrogénnel üzemelő készülékekénél, rendszertani szempontból a nagyobb energiasűrűségű folyékony tüzelőanyag alkalmazása mindenképpen figyelemre méltó. Amennyiben az adott feladat ellátásához több kWh energia szükséges, egy DMFC-vel táplált berendezés még a fejlesztés jelenlegi szintjén is előnyösebbnek bizonyulhat – nem beszélve arról, hogy a folyékony tüzelőanyag biztonságosabb, könnyebben adagolható, szállítható és szétsztható. Például a Bell Aerospace Corporationnál zajló fejlesztési program keretében elkészült 60 W-os prototípus tömege 3 kg, és mintegy 1400 Wh energiát tud szolgáltatni. Ha ennél több energiára – mondjuk 5000 Wh-ra – van szükség, egyszerűen 3 kg-mal növelni kell a felhasználható metanol mennyiségét. Ebből 1600 Wh/kg, illetve 1250 Wh/l teljesítménysűrűség adódik.

Ha a DMFC-rendszerekben sikerülne csökkenteni vagy kiküszöbölni a metanol átszivárgását az anód és a katód között, az üzemi paraméterek jelentős mértékű javulását lehetne elérni. Ez ugyanis tüzelőanyag-veszteséget okoz, és csökkenti a cella feszültségét. Jelenleg ezek a

tüzelőanyag-elemek 0,5 V feszültségen működnek, nagymennyiségű katalizátort és gondos vízkezelést igényelnek. Az e problémák kiküszöbölésére irányuló kutatások során az Army Research Lab (a hadsereg kutatólaboratóriuma) például a metanol hatását jól tűrő membrános katódkonstrukció kialakításán dolgozik, de foglalkozik az elektródák közötti távolság csökkentésével, valamint könnyített tüzelőanyag-elemes telepek létrehozásával is. Ha sikerül a távolságot az előirányzott mértékben csökkenteni, úgy az energiasűrűséget 2200 Wh/kg-ra, illetve 1750 Wh/l-re lehet növelni.

### **A hidrogén adagolása és kezelése, a tüzelőanyag feldolgozása**

A hidrogénnel üzemelő cellák katonai alkalmazását jelentős mértékben hátráltatja a megfelelő hidrogénszolgáltató rendszer hiánya. Megfelelőség alatt mindenekelőtt az értendő, hogy a tüzelőanyag-cellába kerülő hidrogén nem tartalmazhat olyan összetevőket, illetve nem lehet olyan tulajdonsága, amelyek károsak a cella membrán-elektroda együttese számára. A másik tényező a tároló és az utántöltő rendszer tömeg/térfogat aránya. Az 1. táblázat a hidrogénellátás különféle alternatíváit mutatja be – kitekintve a jövőben várható fejlesztési eredményekre is. A jelenleg alkalmazott technológia – tehát a sűrített hidrogéngázt tartal-

mazó tartályok és az utántölthető fémhidridek – nem felelnek meg a hadsereg taktikai igényeinek, mivel energiasűrűségük túl csekély, egy wattóra-ra vetített fajlagos költségük viszont az akkumulátorokhoz képest nagyon vonzó.

1. táblázat  
Hidrogén szolgáltatás hordozható  
tüzelőanyag-elemek számára

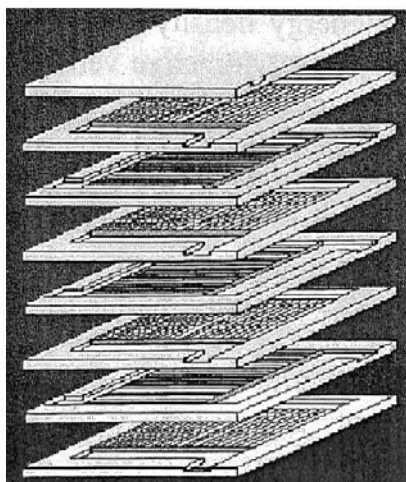
Ma	Holnap	A jövőben
Sűrített hidrogén 4500 psi nyomás alatt (450 Wh/kg)	LiAlH <sub>4</sub> ammonalízise (1000 Wh/kg)	szén nanocsövek (? Wh/kg)
Újratölthető fémhidridek (230 Wh/kg)	közvetlen metanolos folyékony tüzelőanyag (1000 Wh/kg)	tüzelőanyag- reformerek (1500 Wh/kg)

Ebből kiindulva a CERDEC, a DARPA és a brit hadügyminisztérium megfelelő intézményei ammónium-alapú és más kémiai rendszerek kifejlesztésében kezdtek együttműködni. A CERDEC ennek keretében több ammónium-reaktort is kipróbált különböző teljesítményprofilok és hőmérsékleti viszonyok mellett, és azt állapította meg, hogy a jelenlegi, ammóniumra támaszkodó reaktorokra épülő rendszer csaknem 500 Wh/kg energiasűrűséget képes elérni, miközben fagypontközeleli hőmérsékleten, 20 W teljesítménnyel, autonóm üzemmódban 50 óránál is tovább működik. A most folyó fejlesztés már 1000 Wh/kg elérésére irányul. Az e rendszerek által előállított villamos energia fajlagos költsége 0,25 USD/Wh, ami jóval kevesebb, mint az elsődleges katonai akkumulátoroké (0,56 USD/Wh).

Nagyobb energiasűrűségű és költséghatékonyabb, hordozható kivitelű hidrogénforrások fejlesztésével is foglalkoznak. Ennek során vizsgálatok folynak közvetlen metanolos tüzelőanyag-elemekkel, a hidrogén tárolásával nanocsövekben, valamint szénhidrogénalapú tüzelőanyagok mikroszatornák segítségével való reformálásával kapcsolatban is. Szénhidrogén tüzelőanyagokból ugyanis többféleképpen is elő lehet állítani hidrogént, a legismertebb eljárásoknál reformáló közegként vízgőzt, illetve hőt alkalmaznak. Hogy a szénhidrogén-tüzelőanyagokból kiindulva elérhessék a PEM tüzelőanyag-elemek által megkövetelt hidrogénsűrűséget, többlépcsős eljárást alkalmaznak. Első lépésként katalitikus vízgőzös vagy autotermikus reformálásból indulnak ki. Ezeknél az eljárásoknál a szénhidrogének átalakításához magas hőmérséklet (700–850 °C) szükséges, miközben a gőz, illetve a levegő a hidrogén mellett szén-monoxidot, szén-dioxidot, vizet és nyomokban kis molekulású szénhidrogéneket tartalmaz (egyszerűbb szénhidrogénekhez alacsonyabb hőmérséklet tartozik). Ezt a gőzt később lehűtik, majd hidrogéntartalmának növelése, illetve a szén-monoxid kivonása céljából egy másik katalizátor fölött áramoltatják át. Szükség van egy harmadik lépésre is, amikor eltávolítják a fennmaradó szén-monoxidot, alkalmassá téve a gázelegyet a PEM-rendszerű tüzelőanyag-elemek számára. Amennyiben a hadiipari igényeknek megfe-

lelő, a kereskedelemben kapható tüzelőanyagokat használnak, a kén és más szennyező anyagok eltávolítása céljából még egy lépésre van szükség.

Nehéz szénhidrogénnel folytatott kísérletek során megállapították, hogy a reformálás első lépése nagy reakciósebességek mellett zajlik, ezért a katalizátor jelenlétében végbemenő reakcióknál a folyamatot a hő- és tömegáramlás korlátozza – ezek felgyorsításával a reakciófelület számottevő mértékben csökkenthető. Ilyen megoldás a 2. ábrán bemutatott lemezes mikroszatornás reformer is, amelynek alapja a hő leadásával és a hőelvonással járó reakciók szoros párosítása, illetve megfelelő hőátvitel lehetővé tétele a reakciótér közelében.



2. ábra A mikroszatornás reformer elvi sémája

Az egyes komponensek létrehozása és a technológia területén elért eredmények ellenére az tüzelőanyag-elemek integrált rendszerként

való kialakítása még nem kap kellő figyelmet. Néhány cég ugyan azt állította, hogy 2004-ben már megjelenik a piacon főként DMFC tápegységekkel rádiótelefonok és laptop számítógépek stb. számára, az átlagos fogyasztóknak is elérhető áron forgalmazott, kellőképpen megerősített szerkezetben kivitelezett, megbízható készüléket közülük csak néhányan fejlesztettek ki. Márpedig – tekintettel működési feltételeikre – a katonai felhasználású tüzelőanyag-elemes rendszereknek még megbízhatóbbaknak és erősebb szerkezetűeknek kellene lenniük. A tüzelőanyag-elemekkel valóságos üzemi feltételek között eddig végzett próbák és értékelések többségénél arra a következtetésre jutottak, hogy elsőként az adott tüzelőanyag-elemekhez nem kellőképpen illeszkedő gyári alkatrészek (tüzelőanyag-szivattyúk, ventilátorok stb.) mondják fel a szolgálatot.

A CERDEC valamennyi, a tüzelőanyag-elemekkel kapcsolatban folytatott fejlesztése során tartja magát a „rendszer a rendszerben” megközelítéshez, és igyekszik programjait életképes prototípusok létrehozásával zárni. Ebből a célból egy „külföldi összehasonlító tesztprogramot” is kidolgozott, amelynek kapcsán megfelelő, a közeljövőben tömegtermelési és forgalmazási potenciált valószínűsítő külföldi rendszereket tesztelnek – főként európai, kanadai és ázsiai cégek termékeit, ame-



lyek laboratóriumi vizsgálatát követően elvégzik majd a megfelelő megbízhatósági és „harc-téri” tesztek is. E program célja, hogy belátható időn belül könnyű, de nagy teljesítménysűrűségű, reális feltételek között is megbízható tüzelőanyag-elemeket vásárolhassanak meg.

### Következtetések

Az USA hadserege a kormánnyal, a felsőoktatással, az országban működő megfelelő laboratóriumokkal és iparvállalatokkal együttműködve aktívan dolgozik a tüzelőanyag-elemek fejlesztésén. Ennek során számottevő mértékben sikerült csökkenteni a tüzelőanyag-elemes telepek tömegét, megfelelő áramszolgáltató rendszereket fejlesztettek ki és mutattak be különböző katonai felhasználók részére. Számos munkaközegben e cellák sikerrel veszik fel a versenyt az akkumulátorokkal – sok területen súlyuk mellett a fajlagos költség tekintetében is.

A jövő harcterein az elektromos áram meghatározó szerepet fog játszani, lehetővé téve, hogy a robottechnikai eszközök, az érzéke-

lők, a kisegítő áramfejlesztő egységek, a katonák személyes felszerelését képező és más rendszerek eleget tegyenek a kor követelményeinek. A katonai célú tüzelőanyag-elemek fejlesztésének sikeressége sok tekintetben a megfelelő hidrogénforrások létrehozásától és a kapcsolódó kereskedelmi programok eredményességétől függ. Mindehhez kellő energiasűrűségű, kompakt és mindenekelőtt biztonságosan hordozható és működtethető tüzelőanyag-elemekre lesz szükség. Megfelelő tüzelőanyag-kezelési eljárásokkal a jövőben a logisztikai hálózat által hozzáférhetővé tett tüzelőanyagokkal is működőképes rendszereket lehet majd létrehozni.

**Összeállította: Dr. Balog Károly**

### Irodalom

- [1] Patil, A. S.; Dubois, T. G. stb.: Portable fuel cell systems for America's army: technological transition to the field. = Journal of Power Sources, 136. k. 2. sz. 2004. okt. p. 220–225
- [2] Patil, A. S.; Sifer, N.: US army CERDEC fuel cell technology. = Proceedings of the AAAS Symposium, 2004