

HARCTÉRI VILLAMOSENERGIA-ELLÁTÁS

Új energetikai megoldások kutatásának szükségessége és a fejlesztési lehetőségek összevetése

Absztrakt

A korszerű hadseregek képesség-bővítésének egyik központi kérdése a villamosenergia harctéri biztosítása. Egy lézeres célmegjelölő, éjszakai irányzék vagy GPS is egészen új lehetőségeket biztosít a harcoló lövészalakulatok részére. A harcjárművekben alapfelszerelés a rádió, a GPS, a felderítő- és tűzvezető-berendezés, az improvizált robbanóeszközök (IED²) elleni zavaróberendezés. A harcjárművek aktív védelmi rendszereinek kulcseleme a jelentős villamosenergia-igényű radar. A legújabb aktív álcázó rendszerek ugyancsak jelentős villamos-fogyasztók. Tábori elhelyezési körülmények között is fontos tényező a villamosáram megléte. Az említett felszerelések egyik legfontosabb közös jellemzője, hogy villamosárammal működnek. Ennek biztosítása érdekében szükséges a villamosberendezések fogyasztásának csökkentése, a villamosenergia-tároló berendezések energiasűrűségének növelése, a villamosenergia-termelő eszközök hatékonyságának javítása, illetve új villamosenergia-források (pl. napelemek) bevezetése, illetve az energiamenedzsment és az adminisztratív szabályozás.

Kulcsszavak: villamosenergia harctéri biztosítása, villamos-fogyasztás csökkentése, energiasűrűség növelése, új villamosenergia-források, energiamenedzsment

Bevezetés

A közelmúlt háborús konfliktusainak egyik legnagyobb tanulsága, hogy az ellenséges reguláris haderőt, illetve a hátország infrastruktúráját igen hatékonyan lehet pusztítani a levegőből is, de egy területet valóban elfoglalni, megtartani és pacifikálni továbbra is csak a szárazföldi csapatok, azon belül is elsősorban a lövészkatonák képesek. A

¹ Végvári Zsolt alezredes, e-mail: vegvari.zsolt@hm.gov.hu

² Improvised Explosive Device

hidegháborús időszak végével aztán a korszerű hadseregeknek olyan újfajta kihívásokkal is szembe kellett nézniük, mint például a magasan szervezett gerillaharc és a nemzetközi terrorizmus. Minden gerillaharcot folytató erő elleni hadviselés közös jellemzője, hogy a hadseregek technikai fölényéből³ adódó előnyök csak korlátozottan érvényesíthetők, vagyis a lövészkatonák továbbra is minden hadsereg gerincét jelentik majd.

Ebből az is következik, hogy *minden modern hadsereg alkalmazhatóságának egyik peremfeltétele, hogy a lövészkatonák, illetve lövész kisélegységek milyen képességekkel rendelkeznek*, így e képességek kibővítése és kiterjesztése továbbra is egyike a legfontosabb fejlesztési célkitűzéseknek, és a fejlesztések egyik jelenlegi fókuszpontja a villamos energia biztosítása. Ebben a cikkben a gondolataimat elsősorban a lövész fegyvernem köré építem fel, de hangsúlyozom, hogy a vázolt problémák és megoldási javaslatok minden más szárazföldi fegyvernem esetében is kisebb vagy nagyobb mértékben, de megállják a helyüket.

1. A lövészkatonák képességei és felszerelése

Minden haderő képességeit sok egyéb körülmény mellett alapvetően a kiképzettség és a felszerelés határozza meg. Sokszor helyezik egyiket a másik elé, de valójában a kettőt nem célszerű különválasztani. Annyi bizonyos, hogy a mai összetett, bonyolult harceszközök esetében a kiképzés egyre specifikusabban épül a rendszeresített eszközökre.

A gyalogos lövészkatonák képességeinek egyik legalapvetőbb jellemzője az az idő, ameddig képesek utánpótlás, szállító eszközök és egyéb támogatás nélkül önállóan feladatot végrehajtani. Ez az idő, napjaink korszerű hadseregeinél szinte minden esetben már-már szabványnak tekinthető módon három nap. Ez egyszerűen kifejezve azt jelenti, hogy ha egy lövészkatonát harcba vetnek, annyi élelmet, lőszert és egyéb felszerelést kell magával vinnie, amennyi háromnapos ténykedésre elég. A felszerelésnek a tömege nemzettől és fel-

³ Az aszimmetrikus hadviselés napjaink hadművészetének egyik kulcsfogalma. Többféle értelmezése és definíciója is létezik, de a lényege az, hogy a konvencionális eszközöket és eljárásokat alkalmazó reguláris haderő hogyan lehet képes hatékonyan harcolni a számára és eszközeiben gyengébb, de unortodox módszereket alkalmazó erők, tipikusan a gerillák és terroristák ellen.

adattól függően nagyjából 30 és 50 kg között változik [1]. Mivel ennek a tömegnek a három napon keresztül történő viselése, mozgatása egy edzett fiatal katona teljesítőkéességének is a felső határa, a lövészkatonák önálló alkalmazhatóságának az szab gátat, hogy mennyi képességet (azaz felszerelést) vagyunk képesek ebbe a maximum 50 kg-ba belezsúfolni. Hasonló elvek mentén természetesen az is limitált, hogy mennyi eszköz telepíthető egy harcjárműre.

A gyalogos katona felszerelése számos módon csoportosítható, én az alábbi bontást tartom a legcélszerűbbnek:

- öltözet, ruházati kiegészítők (hátizsák, málhamellény, hálózsák);
- élelmiszer, víz (vagy víztisztító készlet);
- egyéni fegyverzet, lőszer;
- ballisztikai védelem (mellény, sisak), ABV védelem;
- kommunikációs, navigációs, informatikai eszközök (taktikai rádió, GPS);
- egyéb eszközök (távcső, EÜ felszerelés stb.);
- nem egyéni (kollektív) felszerelések, eszközök.

Nyilvánvaló, hogy a *felszerelés változtatásával egy adott technológiai szinten valamely képességet csak más képességek rovására lehet fejleszteni*. Egy nagyobb tűzerejű egyéni lőfegyver mellé a katona már nem képes ugyanakkora lőszer mennyiséget magával vinni, vagy egy nagyobb teljesítményű rádió mellé már nem lehetséges néhány egyéb felszerelés felmálházása.

Sajnos látható az is, hogy napjainkra *a klasszikus felszerelés fejlesztési irányai erősen beszűkültek*, számos esetben ütközünk technológiai korlátokba. A hagyományos kémiai indítású lőfegyverekben például viszonylag kevés fejlesztési potenciál maradt. Az olykor dollármilliókért fejlesztett új rohampuskák csak minimális mértékben múlják felül az elődeiket, az esetlegesen elért 1-2%-os hatásos lőtáv- vagy pontosság-javulás nem jelent a harctéren számottevő előnyt, miközben a félév százados Kalasnyikov [2] továbbra is hatékony eszköz maradt. Hasonló a helyzet a ballisztikai védelem, ruházat és élelmezés területén is, a második világháború óta folyamatos a felszerelések minden típusának fejlesztése, de a fejlődés üteme számos területen nagyon lelassult, nincsenek már jelentős előnyt biztosító technikai áttörések.

2. A harcjárművek és a tábori elhelyezés villamos korlátai

Bővebb fejtegetés nélkül is belátható, hogy az egységnyi térben és/vagy tömegben elhelyezhető képességek korlátja a gyalogos katonákhoz hasonlóan fennáll a harcjárművek, és talán kevésbé feltűnően, de a tábori elhelyezés vonatkozásában is.

A páncélozott harcjárművek példája a hadtudomány egyik klasszikus problémája. A tűzerő, a védettség és a mozgékonyság a páncélozott harceszközök három legfőbb attribútuma, és adott technológiai szinten egyiket sem lehet javítani, csak a másik kettő rovására. Ugyanakkor itt is egyre nyilvánvalóbb, hogy az e tulajdonságokat jelenleg meghatározó hagyományos technológiák (lövegek, páncélzat, belsőégésű motorok) egyikében sincs már meghatározó fejlesztési tartalék.

3. Villamos működésű katonai eszközök

Az új elvek szerint működő eszközök, pl. az elektromágneses fegyverek megjelenéséig mára globális tendencia, hogy olyan módon kívánunk a lövészkatonáknak (és más fegyvernemeknek is) új képességeket adni, hogy új eszközöket adunk a kezükbe. Egyértelműen előnyös, ha a meglévő taktikai rádió mellett van egy műholdas rádió is a katonáknál vészhelyzet esetére.

Egy lézeres célmegjelölő, éjszakai irányzék vagy GPS is egészen új lehetőségeket biztosít a harcoló alakulatok részére. Ezek már jelenleg is létező és általánosan használt eszközök, de mindeközben már tesztelik és lassan rendszeresítik is a korszerű, valós idejű adatfeldolgozásra alkalmas felderítőrendszereket, a taktikai drónokat, a korszerű harctéri orvosi diagnosztikai eszközöket is.

Az említett felszerelések egyik legfontosabb közös jellemzője, hogy villamosárammal működnek. E tekintetben még a távolabbi jövő sem hoz változást. A most még futurisztikusan ható fejlesztések is valószínűleg csaknem mind villamos üzeműek lesznek.

Még csupán kísérleti jelleggel, de már léteznek működőképes aktív álcázó rendszerek, harctéri robotok, exo-skeletonok [3] is, és nagy

reményeket fűznek a kémiai elvű robbanás helyett elektromágnesesen gyorsított lövedékekhez (railgun, coilgun).⁴

A második világháború kezdetén a harcjárművek többségében még nem volt rádió-, illetve belső kommunikációs-berendezés sem, így a fedélzeti akkumulátoroknak az Otto-motorok gyújtásán kívül csak a világítóberendezéseket kellett kiszolgálniuk. Tábori körletekben a világítást még általában petróleumlámpákkal biztosították, villamosáramra csak a kommunikációs-eszközök, telefon- és rádióberendezések üzemeltetéséhez volt szükség [5], amit akkumulátorokkal és az adott kommunikációs-eszközkhöz külön rendszeresített generátorokkal (dinamókkal) biztosítottak.

Mindezekhez képest napjainkban még a legelavultabb alkalmazott harcjárművekben is alapfelszerelés a belső kommunikációs-berendezés és a rádió. A korszerűbb eszközökben már általános a több független rádióberendezés alkalmazása, a GPS, a különféle passzív vagy aktív felderítő- és tűzvezető-berendezés, az improvizált robbanóeszközök elleni zavaróberendezés is. Egyelőre még csak a legújabb harckocsikon, de már rendszeresítették a páncéltörő rakéták elleni aktív védelmi rendszereket is⁵, amelyeknek kulcseleme a szintén jelentős villamosenergia-igényű radar.

A harcjárművekhez még csak kísérleti jelleggel, de már léteznek aktív álcázó rendszerek is, amelyek ugyancsak jelentős villamosfogyasztók. Ezeknek az eszközöknek az energiaellátásához nyilvánvalóan radikálisan meg kell növelni a fedélzeti villamosrendszereket, az álló helyzetű áramellátáshoz pedig nagyméretű és tömegű akkumulátorokat, olykor a harcjármű motorjától függetlenül működtethető külön segédgenerátorokat szükséges felszerelni. A Magyar Honvédség állományában lévő, nemrégiben korszerűsített BTR-80 típusú harcjárműveknél is további akkumulátorokat kellett elhelyezni a küzdőtérben [7], mivel a nagy mennyiségű újonnan beszerelt eszköz álló

⁴ Mindkét típusnál erős elektromágneses tér gyorsítja a lövedéket, aminek pusztító erejét nem robbanószer, hanem magának a lövedéknek a mozgási energiája biztosítja. A mágneses teret a coilgun esetében tekercsek, míg a railgunnál egy sín hozza létre. A coilgun alkalmazására még nincs példa, de egy amerikai hadihajóra már működő railgunt telepítettek 2016 nyarán [4].

⁵ A szovjet/orosz Sthora rendszer aktívan zavarja rádió és optikai tartományban az irányított rakétákat, míg a Drozd és utódja az Arena lokátorral azonosítja a nem irányított lövedékeket is, és a megfelelő távolságban ellentöltetet robbant, illetve az Arena ellenrakétát indít [6]. Hasonló rendszerek az izraeli Trophy és amerikai Quick Kill és Iron Curtain (a szerző megjegyzése).

helyzetben percek alatt lemerítette volna az eredeti fedélzeti akkumulátort.

Tábori elhelyezési körülmények között is fontos tényező a villamosáram megléte. Napjainkra az ideiglenes katonai elhelyezési körletekben is szinte minden villamosárammal működik. Amennyiben a helyszínen nem elérhető a megbízható villamos távvezetékes áramszolgáltatás (művelési területen az esetek többségében erre a helyzetre kell felkészülni), akkor a teljes villamosenergia-mennyiséget fosszilis üzemanyagok elégetésével (dízelaggregátorokkal⁶) kell biztosítani a tábori mosodától kezdve a vezetési pontok informatikai eszközeikig.

Összefoglalva elmondható, hogy akárcsak a civil életben, *a katonai műveletek során is egyre jobban függünk a villamosáramtól*. Mind tábori elhelyezésben, mind a harcjárművek, fegyverrendszerek terén és az egyéni katonák szintjén is nélkülözhetetlen a villamosáram. A problémát fokozza, *hogy várhatóan egyre több és nagyobb energiaigényű eszköz jelenik meg a hadfelszerelések között* mind a közeli, mind a távolabbi jövőben is.

A villamosság iránti növekvő igényt a jelenleg rendelkezésünkre álló technológiával nem, vagy csak jelentős áldozatok árán (pl. kevesebb lőszer az egyes harcospól, vagy kisebb hatótáv a harcjárműveknél) tudjuk kielégíteni, így számba kell venni, hogy milyen technikákra és technológiákra számíthatunk a megoldás keresése során. Ezek alapvetően a következők:

1. Az alkalmazott villamosberendezések fogyasztásának csökkentése.
2. A villamosenergia-tároló eszközök energiasűrűségének növelése.
3. A meglévő villamosenergia-termelő berendezések hatékonyságának javítása.
4. Új villamosenergia-források felkutatása és alkalmazása.
5. Adminisztratív szabályozás és energiamenedzsment eszközök.

⁶ A magyar szakirodalomban az „aggregátor” helyi áramfejlesztő gépet jelent, aminek főbb részei a belső égésű motor és az általa forgatott „generátor”. Az angol nyelvű szakirodalomban a teljes gépet is csupán generátornak nevezik (bár léteznek a pontosabb szakkifejezések is), ami egyre gyakrabban hasonlóan jelenik meg a magyarban is. Én a szakmai pontosság kedvéért ragaszkodom az aggregátor megnevezéshez (a szerző megjegyzése).

4. A villamosberendezések fogyasztásának csökkentése

Harctéri körülmények között a költséghatékonyság és a környezet védelme nem élvez prioritást, de a mérsékelt energiafelhasználás ezeken kívül egyéb, műveleti szempontból is értékelhető előnyöket is kínál. Azonos villamosenergia-tároló és/vagy -termelő kapacitás esetén a kisebb fogyasztású eszköz tovább működik, illetve azonos elvárt működési idő mellett csökkenthető az energiaelőállító/-tároló eszköz terjedelme és tömege. Ez utóbbi esetén nőhet a katona vagy a harcjármű mozgékonyága, avagy a felszabaduló térfogatban és tömegben valamely más képesség növelhető, így fontos ennek a lehetőségnek a részletesebb vizsgálata.

Sajnálatos módon a legtöbb általánosan használt villamos katonai berendezés esetén viszonylag csekély ez a mozgástér, ez alól talán csak a világítástechnika jelent kivételt. A korszerű LED-es világítótestek a hagyományos izzók energiaigényével, számos egyéb pozitív tulajdonság mellett akár tízszer annyi fényt képesek produkálni, és még jelentős fejlesztési potenciált is tartogatnak [8].

Más területen nem ennyire kedvező a helyzet. Számos katonai eszköz használ elektromágneses hullámokat. Ezek észlelése (pl. passzív éjjellátó), de főleg a kisugárzása (pl. rádióadó) jelentős energiát igényel. Az ilyen berendezésekben alkalmazott félvezető eszközök hatékonysága még fokozható, de csak igen kis mértékben, míg pl. a szintén gyakori fogyasztók, a villamosmotorok hatékonysága 90% körüli – gyakorlatilag nulla fejlesztési potenciállal. Azt is érdemes megemlíteni, hogy az aktív elektromágneses eszközök esetén a kisugárzott teljesítmény csökkentése a fogyasztást is csökkentené, de ez nyilvánvalóan csökkentené az adott eszköz alkalmazhatóságát, pl. csökkentené a felderítési távolságot, így ez az út nem járható.

Mivel a világítóeszközök – talán a tábori elhelyezés kivételével – csak igen kis részét képezik a felhasznált villamosberendezéseknek, *az energiaigény csökkentése önmagában nem lehet teljes körű és minden igényt kielégítő megoldás.* Természetesen törekedni kell az energiahatékonyság növelésére, de az így elért megtakarítás várhatóan még az újonnan megjelenő eszközök igényeit sem lesz képes fedezni.

5. A villamosenergia-tároló eszközök energiasűrűségének növelése

A villamosenergia tárolására szolgálnak az egyszer használatos elemek (valamint a több elemet is tartalmazó telepek) és az akkumulátorok,⁷ amelyek többször is újratölthetőek. Katonai technikák esetében érthető módon csak az akkumulátorok terjedtek el szélesebb körben, és jelenleg a civil életben is inkább ezek fejlesztésére koncentrálnak, az elemek szerepe egyre marginálisabb, jobbra már csak a rendkívül kis energiaigényű és/vagy extrém hosszú működési idejű eszközökben (pl. távirányító) érdemes őket használni. Az ilyen eszközök egyik legfontosabb mérőszáma az energiasűrűség, ami kifejezi, hogy mennyi energiát vagyunk képesek tárolni egységnyi térfogatban, avagy tömegben. Az ismertebb energiatárolási módok összevetésére szolgál az 1. számú táblázat.

Jól látható, hogy a gépjárműveknél alkalmazott hagyományos ólomsavas akkumulátoroknál a korszerű lítiumos technikát alkalmazó akkumulátorok tízszer jobb értéket produkálnak, de még mindig nagyságrendileg elmaradnak a fosszilis tüzelőanyagok energiasűrűségéhez képest. Ez egyben válasz arra is, hogy miért nem terjedtek még el a villamosautók, annak ellenére sem, hogy a villamosmotorok hatásfoka mintegy két-háromszorosa a dugattyúmotorokénak, és olyan egyszerű szerkezetűek, hogy nagyságrendileg kevesebb karbantartást igényelnek.

Érdemes tudni, hogy a korábban említett mintegy 50 kg-os lövész felszerelésből az adott küldetéstől függően az akkumulátorok akár 10 kg-nál is nagyobb tömeget képviselhetnek. Amennyiben az akkumulátoraink energiasűrűségét akár csak két-háromszorosára sikerülne növelni, az jelentős mozgásteret biztosítana mind a gyalogos katonának, mind a harcjárművek képességeinek fejlesztése terén. *Sajnos azonban nem számíthatunk jelentős áttörésre az akkumulátortechnika területén.* Napjainkban a világ vezető technológiai cégei, továbbá számos egyetem és kutatóintézet költ hihetetlen összegeket az ilyen irányú fejlesztésekre, de csak igen apró lépésekkel haladnak. Bár

⁷ A villamosenergiát vegyi formában tároló eszközöket az angol nyelvű szakirodalom csak „battery”-ként ismeri, ha szükségesnek látják hangsúlyozni a többszöri tölthetőséget, akkor elé rakják a „rechargeable – újratölthető” jelzőt. Az ilyen eszközöket a magyarban akkumulátorként ismerjük, míg a nem újratölthető vegyi források az elemek.

folynak kísérletek más, pl. cink alapú akkumulátorokkal is, egyelőre nem találtak a lítiumnál alkalmasabb anyagot.

HAGYOMÁNYOS FŰTŐANYAGOK ÉS AZ AKKUMULÁTOROK ENERGIA-SŰRŰSÉGE [9]

1. számú táblázat

	Anyag / technológia	Elméleti maximális energiasűrűség ⁸	
		térfogatarányos	tömegarányos
Villamos akkumulátorok	ólomsavas (Pb-acid) akku	~40 Wh/l	~25 Wh/kg
	nikkel-kadmium (NiCd) akku	~150 Wh/l	~100 Wh/kg
	nikkel fémhidrid (NiMH) akku	~300 Wh/l	~150 Wh/kg
	lítium ferfoszfát (LiFePO ₄) akku	~200 Wh/l	~100 Wh/kg
	lítium-ion (Li-ion) akku	~650 Wh/l	~250 Wh/kg
	lítium polimer (Li-polymer) akku	~700 Wh/l	~250 Wh/kg
Fosszilis és nukleáris fűtőanyagok	cseppfolyós hidrogén	~2 500 Wh/l	~39 000 Wh/kg
	tűzifa (jó minőségű száraz)	~700 Wh/l	~3 000 Wh/kg
	fekete kőszén	~9 000 Wh/l	~6 500 Wh/kg
	cseppfolyós földgáz	~7 000 Wh/l	~12 000 Wh/kg
	benzin	~9 500 Wh/l	~12 000 Wh/kg
	gázolaj	~10 500 Wh/l	~13 500 Wh/kg
	urán 235-ös izotóp	~4,7x10 ¹² Wh/l	~2,5x10 ¹⁰ Wh/kg

Az energiasűrűségeken kívül az akkumulátorok másik igen fontos jellemzője az az idő, ami a feltöltésükhöz szükséges, illetve, hogy milyen gyorsan lehet kinyerni belőlük az energiát. Értelmszerűen előnyös, ha mindkét idő a lehető legrövidebb. Léteznek is eljárások, amik ezt célozzák, de jellemző, hogy a gyors töltés és kisütés a szokványosnál jobban igénybe veszi az akkumulátorok elektródjait, azok gyorsan „elkoptnak”. Azt, hogy egy akkumulátort hányszor lehet kisüt-

⁸ Villamos akkumulátorok esetében a gyakorlati energiasűrűség csaknem eléri az elméleti maximumot, mivel a vegyi energiából elektromos energiává alakulás hatásfoka igen magas. Belsőégésű motorok esetében viszont pl. a fosszilis energiának csak legfeljebb 30-40%-a alakul mozgási energiává, tehát itt a gyakorlati energiasűrűség csupán harmada az elméletinek.

ni és újratölteni úgy, hogy a kapacitásuk nem csökken számottevően,⁹ mutatja az ún. töltés-kisütési ciklus. Ez az akkuk tulajdonképpeni élettartama (amennyiben feltételezzük, hogy az folyamatosan használatban van, ugyanis a tartós állás is csökkenti a kapacitást, sőt akár végérvényesen tönkre is teheti az akkumulátort). A régebbi nikkell alapú eszközök jellemzően 500-1000 ciklust bírtak ki, a mai lítium bázisú akkumulátorok akár 1000-1500 ciklust is elviselnek jelentős károsodás nélkül [10].

Jelen cikkben nem kívánom az egyes lítiumos technikákat részletekbe menően összevetni, de kiemelném a lítium-ferrofoszfát technológiát, amelynek két olyan tulajdonsága is van, ami miatt még akkor is érdemes megfontolni a katonai eszközökben való használatát, ha energiasűrűsége csak fele-harmada a másik kettőének. Egyrészt az élettartama akár 3-4000 ciklus is lehet. Másrészt, amíg az akkumulátorokra általánosságban jellemző, hogy energiatároló képességük a hőmérséklet csökkenésével radikálisan romlik, (nagy hidegben akár a szobahőmérsékleten mért érték 10%-a alá is zuhanhat¹⁰), addig a lítium-ferrofoszfát hőmérsékletfüggése jóval enyhébb.

A közeljövő ígéretes fejlesztései lehetnek a lítium-kén [11] és a lítium-levegő akkumulátorok [12]. Mindkettő közös jellemzője, hogy az elméleti energiasűrűségük elérheti az 1000-1500 Wh/kg-ot is, de a jelenlegi kísérleti példányok már 10-20 ciklus után elveszítik a kapacitásuk felét, így valóban használható termék csak az élettartamuk jelentős javítása után lehet belőlük. Létezik még egy igen régi, de kévéssé hétköznapi módja is a villamosenergia tárolásának, amit manapság hidrogéncella néven ismerünk. Ismert, hogy villamosárammal a víz hidrogénre és oxigénre bontható, ez a folyamat az elektrolízis. A két alkotóelemet, ha eltároljuk, azt az ún. PEM-cellákban¹¹ ismét víz-

⁹ Nincs szabvány definiálva, de általában akkor tekintünk egy akkumulátort további rendeltetészerű használatra alkalmatlannak, ha már nem lehet feltölteni a névleges kapacitása 80%-ára sem.

¹⁰ Saját hőkamrás vizsgálataim alapján. Egy általam a HM VGH KMBBI Kutatási, Fejlesztési és Tudományos Osztályon vizsgált eszköznel pl. a gyártó 8 órás akkumulátoros üzemidőt adott meg a termék adatlapján, amit az szobahőmérsékleten teljesített is. Ezzel szemben az adatlap szerinti minimális működési hőmérsékleten, - 50 °C-on a készülék ugyan üzemképes maradt, de csupán 27 percen keresztül.

¹¹ A magyarban sokszor csak tüzelőanyag-cellaként ismert eszköz szabatos neve a PEM-cella, ami az angol Proton Exchange Membrane (kb. Protonátéresztő Membrán) kifejezésből származik. A Hidrogén + Oxigén = Víz az általunk ismert legraktikusabb működési modell, de elvben más vegyi folyamatokkal is megvalósítható.

zé egyesítve villamosenergiához juthatunk. A technológia persze még számos problémával küzd. A hidrogént igen nehéz tárolni, még tökéletesen zártnak hitt rendszerekből is könnyen elillan, és levegővel keveredve ráadásul robbanásveszélyes is. Maguk a PEM-cellák pedig a katalizátorként alkalmazott platina miatt igen drágák. Kiforratlansága ellenére ilyen berendezéseket már alkalmaznak a polgári életben, pl. bázisállomások szünetmentes áramellátására is, sőt katonai felhasználásukra is van példa a német gyártmányú U-212 tengeralattjárókban [13].

6. A villamosenergia-termelő eszközök hatékonyságának javítása

A villamosenergia előállításának legelterjedtebb módja, amikor forgó mechanikus mozgást alakítunk villamossággá. Az erre szolgáló generátorok hatásfoka 85-90% körüli, és a tekerceselés vagy a csapágyazás minőségének javításával ez már csak minimális mértékben növelhető. A technika annyira kiforrott, hogy a gépkocsik generátorai és a különféle erőművekben alkalmazottak lényegében csak a méretükben térnek el egymástól.

Ebből az is látszik, hogy komplex rendszer esetében csak a forgómozgást biztosító eszköz hatásfokának javítása az egyetlen igazán járható út. Katonai eszközöknél a forgómozgást jelenleg szinte kizárólag hőerőgépek, dugattyús belsőégésű motorok, ritkább esetben gázturbinák biztosítják.

A hőerőgépek közül hatásfok szempontjából a 10 kW – 30 MW sávban (vagyis a szárazföldi eszközökön alkalmazható erőforrások körében)¹² a korszerű dízelmotorok a legjobbak, 36-40% körüli értékkel. Talán a bonyolultságuk miatt nem terjedtek még el szélesebb körben a dízel-gáz motorok, amelyek hatásfoka akár 46% is lehet.

A hőerőgépek hatásfokának további növelésére két elméleti út van. Növelhető az égés hatásfoka emulziókkal, adalékanyagokkal, illetve kiegészítő berendezések alkalmazhatóak a hulladékhő hasznosítására.

¹² A 30 MW feletti tartományban már a gázturbinák a jobb hatásfokúak, ezért is alkalmazzák őket szívesen a nagy teljesítményigényű repülőeszközökön és hajókon. Kisebb (közúti jármű) mérettartományban viszont szánalmasan rosszul teljesítenek.

Vízemulziókat esetenként alkalmaznak a nagyméretű gázturbinák-nál, illetve vízbefecskendezést a repülőgépek hajtóműveiben,¹³ ahol bizonyos szituációkban néhány %-nyi pluszteljesítmény, illetve hatásfok-javulás is hasznos lehet, de dugattyús motoroknál sem az emulziókkal, sem az adalékokkal nem értek még el olyan eredményt, ami indokoltá tenné az alkalmazásuk többletköltségét [14].

Hasonló a helyzet a hulladékhő-energia hasznosításánál is. Hőenergiából mozgási energiát állítanak elő az ún. hőlégmotorok vagy Stirling-motorok,¹⁴ illetve léteznek olyan mikro gőzgépek [16] is, ahol a hulladékhőből előállított gőzzel hajtanak meg egy plusz generátort. Az ún. Peltier-elemek¹⁵ direkt módon is képesek elektromos áramot előállítani a hőből (egész pontosan a hőmérséklet-különbségből).

A Stirling-motorok ilyen jellegű alkalmazásáról nincs fellelhető információ, de gőzgépeket vasúti mozdonyokban már használtak-használják kiegészítő generátorok hajtására, de bonyolultságuk miatt nem terjedtek el igazán.

A Peltier-elemmel a vezető autógyárak kísérleteznek, de ezek autonóm hatásfoka jelenleg még csak elhanyagolható (1-2%), így e téren nem várható áttörés.

Általában megállapítható, hogy *önmagában a jelenleg alkalmazott tábori és járműfedélzeti villamosenergia-termelő berendezések hatékonyságának növelése sem lehet elégséges megoldás a fokozódó igények kielégítésére.*

¹³ A legendás amerikai B-52 Stratofortress nehézbombázók pl. felszállásnál rendkívül látványos gázcsíkot hagytak maguk után. Ennek oka, hogy a hajtóműveket leginkább megterhelő bombateherrel történő felszálláskor vízemulziót használtak.

¹⁴ A Stirling-motor egy zárt ciklusú, dugattyús hőerőgép. Míg a hagyományos dugattyús motoroknál a hengerbe fecskendezett üzemanyag égése és tágulása idézi elő a mozgást, majd az égéstermék „kipufog”, addig a Stirling-féle megoldásnál az alkalmazott gáz mennyisége állandó a hengerben, annak hőtágulását külső hőforrás idézi elő [15].

¹⁵ Az ún. hőelektromos hatásnak többféle megnyilvánulása is van, ezek közül a Peltier-féle a leghatékonyabb. Ilyenkor egy kétféle anyagból álló hőelemen áramot vezetünk át, és az érintkezési pontok az áram irányától függően lehűlnek vagy felmelegsznek. A folyamat fordítva is működik, ha a hőelem két felülete eltérő hőmérsékletű, akkor azok között a hőmérsékletkülönbséggel arányos áram indul meg.

7. Új villamosenergia-források

Új típusú villamosenergia-források alatt természetesen nem sosem látott, egyelőre csak prototípus szintjén létező eszközöket kell érteni, hanem létező technológiákat, amelyeknek a katonai, terepi alkalmazása még nem ismert. Ezek lényegében az erőművi technológiák, illetve az ún. alternatív, megújuló energiaforrások lehetnek. Az erőművi technológiákról nem érdemes hosszan beszélni. Ha meg lehetne építeni egy nukleáris erőművet egy tehergépjármű alvázán, már bizonyára megépítették volna.

A fosszilis üzemanyagok felhasználásánál hasonló a helyzet. Erőművi méretekben elégetve az üzemanyagokat, és a fejlesztett gőzzel generátorokat meghajtani, a hatásfokot tekintve jobb a hőerőgépekénél, illetve bizonyos energiahordozók, pl. szén, fa nem is használható más módon villamosenergia termelésére. Ez a fajta eljárás azonban minden esetben hatalmas kiterjedésű infrastruktúrát és bonyolult kiszolgáló, biztonsági stb. berendezéseket feltételez, így tábori alkalmazásuk teljességgel lehetetlen.

Megújulónak nevezhetünk egy energiaforrást, amelynek mennyisége nem csökken, ha felhasználunk belőle. Természetesen elméleti szinten nem létezik kimeríthetetlen energiaforrás, de könnyen belátható, hogy pl. a nap a maga mintegy 5 milliárd évre elegendő nukleáris tüzelőanyag-tartalékával emberi léptékben kimeríthetetlen. A földi bioszférában általában a következő megújuló forrásokról beszélhetünk: a biomassza, a vízenergia, a geotermikus energia, a szélenergia és a napenergia.

A biomassza erőművi elégetésére a korábban említett okok miatt nem térek ki. Természetesen a tábori aggregátorok is meghajthatóak lennének bioüzemanyagokkal, de még a legjobb minőségűek energiasűrűsége is legalább 10%-kal elmarad a kőolajszármazékokétól [17], így megfontolandó, hogy megéri-e külön elszeparált előállítói és elosztói infrastruktúrát kiépíteni¹⁶ ezek alkalmazása kedvéért. Nem áramtermelésre, hanem járművek meghajtására már létezik katonai példa bioüzemanyagokkal. Az olasz haditengerészetnél a Zöld Flotta

¹⁶ A NATO üzemanyagokkal kapcsolatos koncepciója szerint a harctéren csak egyfajta hajtóanyag – kerozin – használatos, hogy csupán egyetlen ellátási láncot kelljen kiépíteni és fenntartani [18].

(Flotta Verde) programja során több hajót¹⁷ is átállítottak már egyfajta növényi olajokból nyert üzemanyagra, de ez önmagában még csak pénzügyileg sem rentábilis. A program két pozitív hozadéka az, hogy csökkent a flotta fosszilis üzemanyag-függősége, illetve az üzemanyag előállítására rengeteg kézi munkát igényel, ami a gazdaságilag elmaradottabb déli területeken számos munkahelyet teremt.

A geotermikus energiából direkt módon nem nyerhető villamos-áram, az alkalmazása csak ott lehet gazdaságos, ahol vékonyabb a kőzetlemez, ráadásul viszonylag nagyméretű statikus infrastruktúrát is igényel [19]. Nem jobb a helyzet a vízenergia esetében sem [20]. Egyes szakirodalmak külön említik az ár-apály, illetve a hullám-energiát, de ezeket jelen esetben nem érdemes külön részletezni. Még a legkisebb ismert ún. „törpe” vízerőművek mérete is meghaladja a tábori alkalmazhatóság kereteit [21], emellett az tény, hogy nagy mennyiségű folyóvíz nem található mindenütt műveleti területen, ami elvi szinten is kizárja a katonai alkalmazást.

Sokkal jobb a helyzet a szél és a nap energiájának hasznosításával [22]. Ezekből valamennyi szinte mindenütt hozzáférhető, bár az tény, hogy nem megbízható módon. Az elérhető mennyiség erősen függ a földrajzi elhelyezkedéstől, a napszaktól és az évszaktól is, így önmagában más kiegészítő eszközök nélkül egyikre sem lehet építeni a villamos-ellátást.

A modern szélgenerátorokat általában egy árboc tetején helyezik el, ahol a rotorlapátok egy tengelyen helyezkednek el a generátorral. A szélerőműveknél az uralkodó széliránynak megfelelően telepítik a generátorokat, míg a kisebb méretűeknél az az árboc tengelye mentén, szabadon mozogva be tud állni az aktuális széliránynak megfelelően. A szélgenerátorok már viszonylag kis méretben is hatékonyak [23], így mobil, tábori alkalmazásuk elvben lehetséges. Már jelenleg is létezik olyan komplex tábori villamosrendszer, aminek része a szélgenerátor, de telepítésük műveleti területen csak ott képzelhető el, ahol nem fenyeget közvetlen harcérintkezés veszélye. Ennek oka, hogy a szélgenerátor messziről jól látható és hallható, továbbá igen nagy radarkeresztmetszetet is ad, így rendkívüli mértékben rontja a táborok álcázását. A szél sajátossága az is, hogy nagyobb magasságokban erősebben fúj [24], de tábori körülmények között nyilvánvalóan az sem képzelhető el, hogy egy közel optimális méretű, 100 méte-

¹⁷ Egyelőre az 1500 tonnás Commandante osztályba tartozó ITS Foscari partvédőt és egy kisebb szállítóhajót üzemeltetnek így, de több nagyobb hajót is terveznek bevonni a programba a közeljövőben.

res árbocot állítsanak fel. A 2015 nyarán, Magyarországon megrendezett Capable Logician nemzetközi logisztikai és együttműködési gyakorlat tapasztalatai¹⁸ is megerősítik azt a tendenciát, hogy művelési területen történő alkalmazásuk, alkalmazhatóságuk egyelőre korlátozott marad.

Sokkal több reménnyel kecsegtet a napelemek alkalmazása. Ezek olyan félvezető eszközök, amik a beeső fotonokat közvetlen módon alakítják át villamosárammá [25]. Mivel a napjainkban elérhető napelemek hatásfoka 15-20% körül van, ez magyarországi viszonyok között [26] azt jelenti, hogy egy 1 m²-es panellel maximum 150-200 W villamos-teljesítmény állítható elő, persze csak nagy intenzitású, direkt napsugárzás esetén [27]. A napelemekkel kapcsolatban gyakori tévedés, hogy a hatékony működésüket csak nagy melegben tudják elképzelni. De gondoljunk csak arra, hogy a napelemek közel az abszolút nulla fok körül, a világűrben is működnek. Valójában a napelemek még szűrt fény esetén is szolgáltatnak villamosáramot, csak lényegesen kevesebbet, mint optimális fényviszonyok között.

A napelemek nagy előnye, hogy gyorsan telepíthetőek, kis túlzással kétdimenziós eszközök, így tároláskor, szállításkor könnyen összehajthatóak. A jelenleg legelterjedtebb polikristályos, „üveg” panelek kb. 3-4 cm vastagok, és tömegük hozzávetőlegesen 10-15 kg/m², de ezek tulajdonképpen még a 20 évvel ezelőtti technológiai szintet képviselik, amik a tömeggyártásnak köszönhetően jelenleg a legolcsóbban hozzáférhetőek. Léteznek ugyanis már olyan napelemek is, amelyeket ún. vékonyfilm-technológiával visznek fel egy hordozó felületre [28], így a vastagságuk csupán néhány mm. Ezek hatásfoka egyelőre alatta marad a hagyományosoknak, de számos új fejlesztés nyomán ez a közeljövőben megváltozhat, a technológiában jelentős még a fejlesztési potenciál [29].

Mint látható, *jelenleg egyedül a napelemek jelenthetnek alternatívát a dízelaggregátorokkal szemben*, de a napfény megbízhatatlan volta miatt önállóan egyáltalán nem alkalmazhatóak. Alkalmazásukat nehezíti, hogy a tábori villamos-rendszerek többnyire illeszkednek a polgári villamos-hálózatokhoz, és hazánkban pl. 230 V-os váltakozó

¹⁸ A gyakorlatnak helyt adó Bakony Harckiképző Központ az ország egyik legszeleesebb területe, ennek ellenére a 10 méteres árbocon lévő 2 méteres lapátokkal szerelt 5 kW névleges teljesítményű generátor szinte sosem adott le 1 kW-nál többet. Csak összehasonlításképpen: a rentábilisan működő Levél község mellett található szélerőműpark tornyai 100 métereseek, a lapátok egyenként 40 métereseek, és egy-egy generátor névleges teljesítménye 2 MW.

feszültséget igényelnek. Ezzel szemben a napelemek törpe egyenfeszültséget, kb. 30-40 V-ot szolgáltatnak. A fogyasztói hálózathoz való illesztésükhöz ún. inverter szükséges, ami az egyenfeszültségből váltakozó feszültséget állít elő, miközben azt fel is transzformálja. Az inverter nemcsak bonyolítja a struktúrát, de önmagában is mintegy 10% veszteséget okoz. Ha a nappal megtermelt áramot pedig nem tudjuk vagy nem kívánjuk azonnal felhasználni, akkor még költséges akkutelepek is szükségesek, és az ellátás biztonsága érdekében még így sem tekinthetünk el az aggregátorok használatától.

Mindezen nehézségek ellenére *várható a napelemek tömeges elterjedése* a haditechnikában is. Ahol a katonák élete, testi épsége veszélyben forog, sem a környezetvédelem, sem a gazdaságosság nem lehet elsődleges szempont, de a napelemek műveleti előnyöket is kínálnak. Minden egyes liter fosszilis üzemanyag, amit a napelemek alkalmazásával meg lehet takarítani, növeli a műveleti területen elhelyezett egységek túlélőképességét, csökkenti az üzemanyagszállító konvojok ellenséges támadásokkal szembeni kitettséget.

Az aggregátorok a táborok energiaellátásában nem tekinthetőek újszerű technikának, de a növekvő villamosság iránti igény miatt, új területeken is megjelenhetnek. Harcjárművek állóhelyzeti villamosellátására már most is használnak kisméretű aggregátorokat, amelyek halkabbak és takarékosabbak, mintha a harcjárművek motorját járatnák, és léteznek olyan kisméretű, kb. 1 kW teljesítményű mini generátorok is, amelyek egy raj akkumulátorainak feltöltésére alkalmasak. A holland hadsereg még háti gázturbinával meghajtott generátorokkal is kísérletezett, de egyelőre nem nagy sikerrel.

Talán a legextrémebb, de biztosan nem a legsikeresebb próbálkozás az, ami a katonák mozgási energiáját kívánja villamosenergiaforrásként alkalmazni. A katonák bakancsába épített, illetve karjára lábára erősített, külső csontvázhoz hasonlatos szerkezetek [30] a katonák mozgékonyágát jelentősen rontják, ám csupán elhanyagolható mennyiségű áramot képesek szolgáltatni [31].

8. Energiamenedzsment és adminisztratív szabályozás

Léteznek olyan tábori villamosenergia-ellátó berendezések, amelyek megpróbálják a jelenleg rendelkezésre álló technikák legjobb tulajdonságait egyesíteni. Ezek az ún. hibrid rendszerek a polgári

mikrogridekhez¹⁹ hasonlatosak, és valamilyen megújuló energiaforrásra, jellemzően a napenergiára épülnek. Az ilyen rendszerekhez minden esetben tartozik egy nagyméretű akkumulátorcsoport és dízelaggregátor, illetve egy intelligens vezérlő- és kapcsolóelektronika is. A napelemek töltik az akkumulátorokat, amelyek egy inverteren keresztül lényegében szünetmentes energiaellátást biztosítanak a fogyasztóknak. A masszív akkucsoport éjszaka, illetve rövidebb napsütésmentes időszakokban is képes fedezni az igényeket. Ha valami oknál fogva az akkuk töltöttsége 20% alá esik, akkor beindulnak az aggregátorok, és 1-2 óra alatt feltöltik azokat.

Az ilyen berendezések a tapasztalatok szerint²⁰ még a magyar klimatikus viszonyok között is mintegy 40%-os tüzelőanyag-megtakarítást eredményeznek, és ez missziós területen még kedvezőbb is lehet. Ez csak részben köszönhető a napelemek által termelt „ingyen” áramnak. Az aggregátorok fontos tulajdonsága, hogy a dugattyús motorok karakterisztikája miatt a terhelés függvényében csak egy viszonylag szűk tartományban működnek optimális határfokkal. Amennyiben az aggregátorok közvetlenül a fogyasztói hálózatra dolgoznak, a határfokok is folyamatosan ingadozik a pillanatnyi terheléssel párhuzamosan. Abban az esetben viszont, ha egy akkucsoport töltését végzik, az mindvégig optimális terhelést és így maximális határfokot eredményez, ami egyébként az aggregátorok élettartamára is jótékony hatással van [32].

Ezek a hibrid berendezések nyilvánvalóan bonyolultabbak és drágábbak egy egyszerű aggregátoros megoldásnál, mégis a terjedésükre lehet számítani a közeljövőben. Ennek részben az az oka, hogy ha folyamatosan üzemeltetik őket, akkor még a cikk írásakor érvényes viszonylag mérsékelt üzemanyagárak mellett is 4-5 év alatt megtérül az áruk. Másfelől, missziós területen az eleve gyenge, gyakorta szín-

¹⁹ Olyan, többnyire valamilyen megújuló forrásra épülő lokális villamosrendszerek, ahol egyetlen vezérlőrendszer felügyeli a termelést és a fogyasztást. A lokálisan előállított többletet akkumulátorokban tárolják vagy visszatáplálják a hálózatba, és növekvő fogyasztás esetén onnan „veszik vissza”. Az ilyen mikrogridekből álló hálózat sokkal gazdaságosabb és megbízhatóbb, mint a hagyományos erőmű-elosztó-fogyasztók modell.

²⁰ A saját, a Capable Logistician gyakorlaton végzett összehasonlító mérések is igazolták a nemzetközileg elfogadott, kb. 40%-os megtakarítást, de egyes cégek, akik hasonló rendszereket üzemeltettek pl. Maliban, 50-60%-os fogyasztáscsökkenésről is beszámoltak. Ez viszont nemcsak a klímától függ, hanem a rendszerbe integrált napelemek és akkumulátorok teljesítményétől is. Mivel ezek igen drágák, előfordulhat, hogy egy elvben nagyobb üzemanyag-megtakarítást eredményező konfiguráció megtérülési ideje negatívan változik.

te teljesen elpusztított infrastruktúra miatt sokkal jelentősebb költség a táborok működtetéséhez szükséges üzemanyagok helyszínre juttatása. Ezt az árat sokszor nemcsak pénzben, de – afgán és iraki tapasztalatok nyomán – vérben is meg kell fizetni. Az említett területeken ugyanis minden tevékenység közül az üzemanyagszállító konvojok kísérete volt, ami az egyik legtöbb áldozatot követelte [33].

A közelgő rendszeresítésükre az is utal, hogy speciális igények szerint már most számos verzióban léteznek. A több konténerből álló és egész táborok kiszolgálására alkalmas berendezéseken túl, már gyártanak ún. szolár-utánfutókat is, ahol egy közúti vontatmányra integrálják a hibrid rendszer főbb elemeit, így azok alkalmassá válnak pl. távolabbra kihelyezett ellenőrzési pontok kiszolgálására vagy vészhelyzeti beavatkozásra. Készült már olyan rendszer is, ahol az aggregátort is beleértve valamennyi elemet egyetlen helikopterrel emelhető egységbe építettek be, ami az igen rövid idejű telepítést követően emberi beavatkozás nélkül is képes huzamosabb ideig ellátni pl. egy autonóm kommunikációs állomást.

Adminisztratív eszközök bevezetése is elképzelhető a villamosenergia-igények kielégítésére. Ezek közül jelenleg talán a szabványosítás látszik a leginkább célravezetőnek. Jelen pillanatban sajnálatos módon a hordozható katonai célú villamoseszközök akkumulátorai nem szabványosak. A katonák által viselt és hordozott eszközök tekintetében még a legfejlettebb hadseregek sem gondolkodnak egységes koncepció mentén, az új eszközöket a már korábban rendszeresített eszközöktől függetlenül, önálló eljárásban szerzik be. Ez azt is jelenti, hogy minden egyes eszköz csak a gyártója saját akkumulátorával működik, és a cégek már csak üzletpolitikai okok miatt sem törekednek az egységesítésre. Ez viszont azzal járhat, hogy egyes küldetések során a katona azzal szembesülhet, hogy pl. a taktikai rádióknak már a tartalék akkumulátorai is lemerültek, míg az éjjellátót még be sem kapcsolta. Tehát lényegében ott van a katonánál a szükséges energiamennyiség, a szabványosítás vagy az áttöltést lehetővé tevő eszköz hiányában mégsem képes ahhoz hozzáférni.

9. A várható fejlesztési irányok

Az talán már az eddigiek alapján is kirajzolódott, hogy *nincs egyetlen megoldás sem, ami önmagában képes lenne a villamosenergiával kapcsolatos harctéri igényeket kielégíteni*. Mindhárom tárgyalt aspek-

tusban, tehát a tábori elhelyezés, a harcjárművek és a gyalogos katonák esetében is *elkerülhetetlen az akkumulátorok energiasűrűségének drasztikus növelése*. Ám azt is látni kell, hogy ez olyan mennyiségű és nehézségű alapkutatást feltételez, amelyet talán az USA és Kína kivételével egyetlen állam hadserege sem képes finanszírozni, ezért az megmarad az óriásvállalatok és kutatóintézetek privilégiuma, és a védelmi szféra nem annyira központja, mint inkább haszonélvezője lesz a további eredményeknek. Az akkumulátorok energiasűrűsége várhatóan azért évről-évre nőni fog (ahogy eddig is történt), de ez fájdalmas lassúsággal folyik majd, és nem várható jelentős technológiai áttörés, ami új alapokra helyezné az akkumulátor-technológiát.

Mind a tábori elhelyezés vonatkozásában, mind a gép- és harcjárművek terén vannak olyan fejlesztési törekvések, amelyek a generátorokat hajtó hőerőgépek hatékonyságának javításával igyekeznek a villamosenergia termelésének hatékonyságát emelni. Nem fér kétség az ilyen fejlesztések fontosságához, de ezek inkább környezetvédelmi szempontból érdemelnek kiemelt figyelmet, a villamosenergia iránti fokozódó igények kielégítésére ez az út önmagában bizonyosan nem elégséges.

A tábori elhelyezés vonatkozásában a konvencionális aggregátorok mellett nincs alternatívája a napenergián alapuló hibrid eszközöknek, így azok előre láthatólag egyre több helyen megjelennek a hadseregek eszköztárában, és az igényeknek megfelelően egyre változatosabb formát öltenek majd [34]. Mindenképpen erősíti a tendenciát az a tény is, hogy bár a napelemek vonatkozásában sem várható döntő tudományos áttörés, azok hatékonysága és mobilitása terén azért még jelentős fejlesztési tartalékok vannak.

A harcjárművek fedélzeti villamossága terén az egyre nagyobb kapacitású akkumulátorok iránti igényen túl nincs egyetlen technológia sem, aminek látványos előretörése lenne megjósolható. Az állóhelyzeti energia biztosítására – amennyiben az akkumulátorok erre végképp alkalmatlanok – továbbra is kiegészítő áramfejlesztőket szerelnek majd fel, esetleg hibrid rendszereket.

A *gyalogos katonák viszonylatában elkerülhetetlennek tűnik a szabványosítás*, és várható, hogy egy-két éven belül a NATO rendszerében meg is fog jelenni az erre vonatkozó STANAG. Még mesze nem általános a használatuk, de már most is léteznek olyan flexibilis, összehajtható napelemek, amelyek egy-egy kisebb teljesítmé-

nyű eszköz vészhelyzeti töltésére alkalmasak, így ezek lassú terjedése is feltételezhető.

A magyar katonai kutatás-fejlesztés és a hazai hadiipar igen szerény lehetőségekkel bír, így a hibrid rendszerek vagy más nagyobb méretű és komplexebb hadfelszerelési elemek fejlesztésének nincs realitása. Ugyanakkor az akkumulátorok szabványosításáig átmenetileg talán hasznos lehet egy olyan eszköz, ami lehetővé tenné, hogy a katonák önmaguk menedzseljék a náluk hordott villamosenergiát, azaz igény szerint egyik akkumulátorból a másikba töltsék azt. Épp e cikk szerzőjének innovációs javaslata nyomán várhatóan még az idén megkezdődik az egyelőre még csak „személyi energia-menedzsment eszköz”-nek nevezett berendezés fejlesztése az MH Logisztikai Központ Kutatási-Fejlesztési, Tudományos és Szabványosítási Osztály²¹ égisze alatt, ami a nevéhez méltóan az akkumulátorból akkumulátorba történő töltésen kívül alkalmas lesz valamennyi rendszeresített taktikai akkumulátor hálózatról, gépjárműfedélzetről vagy napelemről történő töltésére is.

Felhasznált irodalom

- [1] Márkus Ferenc: A gyalogos lövészkatona egyéni harcászati felszerelésének modernizálási lehetőségei a Magyar Honvédségben. *Seregszemle*, 2–3 (2013), 7–21.
- [2] AK-63F gépkarabély modernizáció. *Arzenál*, sine dato. <http://www.hmarzenal.hu/vedelmi-ipar/ak-63f-gepkarabely-modernizacio.html> (a letöltés időpontja: 2016. 03. 17).
- [3] Patrick Tucker: The Very Real Future of Iron Man Suits for the Navy. *Defense One*, January 12, 2015. www.defenseone.com/technology/2015/01/very-real-future-iron-man-suits-navy/102630/ (a letöltés időpontja: 2015. 11. 24)
- [4] Samuel LaGrone: NAVSEA Details At Sea 2016 Railgun Test on JHSV Trenton. *USNI News*, April 14, 2015. <http://news.usni.org/2015/04/14/navsea-details-at-sea-2016-railgun-test-on-jhsv-trenton> (a letöltés időpontja: 2015. 11. 24)

²¹ Az MH LK KFTSZO a méltán híres önálló HM Haditechnikai Intézet, majd Technológiai Hivatal jogutódja. Jelenleg kevesebb, mint egy tucatnyi mérnöknek ad munkát.

- [5] Hegedűs Ernő, Fröhlich Dávid: Az R/7 rádióállomás és a Csonka áramfejlesztők gyártásának és alkalmazásának körülményei, különös tekintettel a sereglovasság híradó eszközeinek üzemeltetésére (1927-1945). *Katonai Logisztika*, 1 (2014), 258-266
- [6] Cifka Miklós: A jövő szárazföldi harcjárműve: túlélni mindenáron! *SG.hu*, 2005. Január 02 <https://sg.hu/cikkek/35015/a-jovo-szarazfoldi-harcjarmuve-tulelni-mindenaron> (a letöltés időpontja: 2016. 02. 11)
- [7] *A PK-4 pc. kódú készlet beépítési és rendszertехnikai terve, 54/938/GYEK*. HM ArmCom, 2007.
- [8] Végvári Zsolt: A LED-ek alkalmazásának lehetőségei a Magyar Honvédségben. *Katonai Logisztika*, 1 (2015), 133-162
- [9] *Battery Cell Comparison*. EPEC, sine dato. www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html (a letöltés időpontja: 2015.11.01)
- [10] Végvári Zsolt: Akkumulátorok a gyalogos lövész katonák felszerelésében, a fejlesztés lehetséges irányai. *Műszaki Katonai Közlöny*, 2 (2016), 87
- [11] Edwin Kee: Li/S Batteries Gain Double The Capacity Of Li-ion Batteries, *Übergizmo*, 12/03/2013, <http://www.ubergizmo.com/2013/12/lis-batteries-gain-double-the-capacity-of-li-ion-batteries> (A letöltés időpontja: 2016. 02. 23)
- [12] Ethan Crumlin: Elucidation of the surface characteristics and electrochemistry of high-performance LiNiO₂. *Chemical Communications*, 2 (2016), 52-56
- [13] Szűr Zoltán: Az U 212 osztályú üzemanyagcellás tengeralattjáró 1-2 rész. *Haditechnika*, 2-3 (2005), 17-20, 20-22
- [14] Johan Sjöblom: *Encyclopedic Handbook of Emulsion Technology*, Marcel Dekker AG, 2001
- [15] Pierre Gras: The operating principles of Stirling engines, *Stirling engine*, sine dato, <http://www.robertstirlingengine.com/principles.php> (a letöltés időpontja: 2016. 01. 20)
- [16] Kevin Bullis: Return of the Steam Engine? MIT Technology Review, December 15, 2009, <https://www.technologyreview.com/s/416701/return-of-the-steam-engine> (a letöltés időpontja: 2016. 03. 14)

- [17] Dave Roos: Biofuels vs. Fossil Fuels, *How Stuff Works*, sine dato, <http://auto.howstuffworks.com/fuel-efficiency/biofuels/biofuel-fossil-fuel.htm> (a letöltés időpontja: 2016. 03. 04)
- [18] *Chapter 15: Fuels, Oils, Lubricants and Petroleum Handling Equipment – Military Fuels and the Single Fuel Conception*, NATO Logistic Handbook, 1997. <http://www.nato.int/docu/logi-en/1997/lo-1511.htm> (a letöltés időpontja: 2015. 11. 27)
- [19] Fischer Anita, Hlatki Miklós, Mezősi András, Pató Zsuzsanna: *Geotermikus villamosenergia-termelés lehetőségei Magyarországon*. Budapesti Corvinus Egyetem, 2009. http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/124/1/wp2009_2.pdf (a letöltés időpontja: 2015. 11. 23)
- [20] Mayer György: *Vízenergia hasznosítás Magyarországon*. MTA, sine dato. http://mta.hu/data/cikk/12/90/28/cikk_129028/89MayerViz.pdf (a letöltés időpontja: 2015. 11. 01)
- [21] Szeredi István: *Kis- és törpe vízerőművek*. Budapesti Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, 2006. <http://www.vpk.bme.hu/vizekpor/docs/vizparty/torpevizeromu.pdf> (a letöltés időpontja: 2015. 11. 01.)
- [22] Michael Callahan, Kate Anderson, Sam Booth, Jessica Katz, Tim Tetreault: *Lessons Learned from Net Zero Energy Assessments and Renewable Energy Projects at Military Installations*, NREL, July, 2012. <http://www.nrel.gov/docs/fy12osti/51946.pdf> (a letöltés időpontja: 2015. 11. 22)
- [23] Manfred Stiebler: *Wind Energy Systems for Electric Power Generation*. Springer, 2008.
- [24] Kasza Anett: A napenergia és szélenergia alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata hazánkban. *Hadmérnök*, 2 (2009), 29-40.
- [25] C. Julian Chen: *Physics of Solar Energy*. John Wiley & Sons Inc., 2011.
- [26] Farkas István: *A napenergia hasznosításának hazai lehetőségei*. MTA, 2011. http://mta.hu/data/cikk/12/71/67/cikk_127167/A_napenergia_hasznositasanak_hazai_lehetUsegei.pdf, (a letöltés időpontja: 2015. 11. 01)

- [27] Pálffy Miklós: *A napenergia fotovillamos hasznosításának potenciálja Magyarországon*. Solart System, sine dato.
<http://www.solart-system.hu/PVpotencialMo0604.pdf> (a letöltés időpontja: 2015. 11. 01)
- [28] Katie Drummond: DARPA Push: Solar Cells tough enough to Handle a War, *WIRED*, June 25, 2010.
<http://www.wired.com/2010/06/darpa-push-solar-cells-tough-enough-to-handle-a-war> (a letöltés időpontja: 2015. 11. 01)
- [29] Andy Colthorpe: Soitec-Fraunhofer ISE multi-junction CPV cell hits world record 46% conversion efficiency. *PVTECH*, December 02, 2014. http://www.pv-tech.org/news/soitec_fraunhofer_ise_multi_junction_cpv_cell_hits_world_record_46_conversion (a letöltés időpontja: 2015. 11. 23)
- [30] David Godkin: A New Kind of Military Charge. *Design Engineering*, May 22, 2013. <http://www.design-engineering.com/features/a-new-kind-of-military-charge-design-eng/> (a letöltés időpontja: 2015. 11. 23)
- [31] Mariella Moon: Harnessing Kinetic Energy from Marching Soldiers, *Clean Technica*, July 27, 2009,
<http://cleantechnica.com/2009/07/27/harnessing-kinetic-energy-from-marching-soldiers> (a letöltés időpontja: 2016. 02. 20)
- [32] Turmezei Péter: *Napelemes energiaellátó rendszerek katonai célú alkalmazásának kérdései*. Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2003. (PhD értekezés)
- [33] Cristopher Helman: For U.S. Military, More Oil Means More Death, *Forbes*, November 12, 2009.
<http://www.forbes.com/2009/11/12/fuel-military-afghanistan-iraq-business-energy-military.html> (a letöltés időpontja: 2015. 11. 23)
- [34] Végvári Zsolt: A Smart Energy koncepció és eszközei a CL15 logisztikai gyakorlaton 1-2 rész. *Haditechnika*, 6 (2015), 30-34, 2 (2016), 44-48