

Végvári Zsolt alezredes:

AZ ÚJSZERŰ HARCTÉRI VILLAMOSENERGETIKAI MEGOLDÁSOK KUTATÁSÁNAK SZÜKSÉGESSÉGE ÉS A FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK ÖSSZEVETÉSE

ÖSSZEFOGLALÓ: Minden modern hadsereg alkalmazhatóságának egyik fő feltétele, hogy a területek megtartására alkalmas lövészkatonák, illetve a lövész-kisalegységek milyen képességekkel rendelkeznek. E képességek kibővítése és kiterjesztése továbbra is egyike a legfontosabb fejlesztési céloknak, a fejlesztések egyik fő iránya pedig az egyre növekvő villamosenergia-igény biztosítása, hogy a lövészkatonák a felszerelésük részeit képező különböző elektronikai eszközöket folyamatosan használhassák. Tanulmányában a szerző elsősorban a lövész fegyvernem ilyen igényeivel foglalkozik, és bemutatja a lehetséges fejlesztési irányokat.

KULCSSZAVAK: lövészkatoná, villamos energia, harctér, napelem, akkumulátor, alternatív energiaforrások

A LÖVÉSZKATONÁK KÉPESSÉGEI ÉS FELSZERELÉSE

Minden haderő képességeit sok egyéb körülmény mellett alapvetően a kiképzettség és a felszerelés határozza meg. A gyalogos lövészkatonák képességeinek egyik legalapvetőbb jellemzője az az idő, ameddig képesek utánpótlás és egyéb támogatás nélkül önállóan feladatot végrehajtani. Ez az időintervallum napjaink korszerű hadseregeinél általában három nap, vagyis egy harcba vetett lövészkatonának annyi ételmezt, lőszert és egyéb felszerelést kell magával vinnie, amennyi háromnapos ténykedésre elég. A felszerelésnek a tömege nemzettől és feladattól függően 30–50 kg között van.¹ A lövészkatonák önálló alkalmazhatóságának gyakran 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 csoportosítható az alábbiak szerint:

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

nem egyéni (kollektív) felszerelések, eszközök.

Nyilvánvaló, hogy a felszerelés változtatásával egy adott technológiai szinten valamely képességet csak más képességek rovására lehet fejleszteni. Napjainkra a klasszikus felszerelés

¹ Márkus Ferenc: A gyalogos lövészkatoná egyéni harcászati felszerelésének modernizálási lehetőségei a Magyar Honvédségben. Seregszemle, 2013/2–3., 7–21.

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 javulás a hatásos lőtávolság vagy a pontosság esetében a harctéren nem jelent számottevő előnyt, miközben a fél évszázados Kalasnyikov továbbra is hatékony eszköz maradt. Hasonló a helyzet a ballisztikai védelem, a ruházat és az élelmezés területén is, a második világháború óta folyamatos a felszerelések minden típusának a fejlesztése, de ez a fejlődés igen lassú, nincsenek már jelentős előnyt biztosító technikai áttörések.

VILLAMOS MŰKÖDÉSŰ KATONAI ESZKÖZÖK

Az új elvek szerint működő eszközök – például az elektromágneses fegyverek – megjelenéséig mára globális tendencia, hogy olyan módon kívánunk a lövészkatonáknak 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 mindenképpen már tesztelik és lassan rendszeresítik is a korszerű, valós idejű adatfeldolgozásra alkalmas felderítőrendszereket, a taktikai drónokat, korszerű harctéri orvosi diagnosztikai eszközöket is. *Az említett felszerelések egyik legfontosabb közös jellemzője, hogy villamos árammal 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 működőképés aktív álcázórendszerek, harctéri robotok, exoskeletonok² is.

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, villamos áramra csak a kommunikációs eszközök, a telefon és a rádióberendezések üzemeltetéséhez volt szükség,³ amit akkumulátorokkal és generátorokkal biztosítottak.

Napjainkban azonban még a legelavultabb harcjárművekben is alapfelszerelés a belső kommunikációs berendezés és a rádió, a korszerűbb eszközökben pedig általános a több független rádióberendezés alkalmazása, a GPS, a különféle passzív vagy aktív, de mindenképpen elektromos működésű felderítő- és tűzvezető berendezés, az improvizált robbanóeszközök elleni zavaróberendezés is. A harckocsikon alkalmazott, a páncéltörő rakéták elleni aktív védelmi rendszerek kulcseleme a szintén jelentős villamosenergia-igényű radar. Ezeknek az eszközöknek az energiaellátásához nyilvánvalóan radikálisan meg kell növelni

² 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/ (Letöltés időpontja: 2015. 11. 24.) Ez egyfajta „külső csontváz”. A katonák testére rögzíthető, villamos mozgatású külső vázrendszer, amelyet a katona a saját mozgásával irányít. A kísérleti eszközökkel egy átlagos testalkatú ember is képes mázsás terheket cipelni akár huzamosabb időn keresztül is (a szerző megjegyzése).

³ 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*, 2014/1., 258–266.

a fedélzeti villamos rendszereket, az álló helyzeti áramellátáshoz pedig nagy méretű és tömegű akkumulátorokat, olykor a harcjármű motorjától függetlenül működtethető külön segédgenerátorokat szükséges felszerelni. A Magyar Honvédség állományából nemrégiben korszerűsített BTR–80 típusú harcjárműveknél is új akkumulátorokat kellett elhelyezni a küzdőtérben,⁴ mivel a nagy mennyiségű újonnan beszerelt eszköz álló helyzetben percek alatt lemerítette volna a gyári akkumulátort.

Tábori elhelyezési körülmények között is fontos tényező a villamos áram megléte. Napjainkra az ideiglenes katonai elhelyezési körletekben is szinte minden villamos árammal működik. Ha a helyszínen nem elérhető a megbízható távvezetékes áramszolgáltatás (műveleti területen az esetek többségében ez a helyzet), akkor a teljes villamosenergia-mennyiséget fosszilis üzemanyagok elégetésével, dízelaggregátorokkal kell biztosítani a tábori mosodától kezdve a vezetési pontok informatikai eszközeiig.

A VILLAMOS MŰKÖDÉSŰ KATONAI ESZKÖZÖK ENERGIAELLÁTÁSÁNAK JAVÍTÁSA

Összefoglalva elmondható, hogy akárcsak a civil életben, *a katonai műveletek során is egyre jobban függünk a villamos áramtól.* Mind tábori elhelyezésben, mind a harcjárművek, a fegyverrendszerek terén és az egyéni katonák szintjén is nélkülözhetetlen a villamos áram. A problémát fokozza, hogy *várhatóan egyre több olyan eszköz jelenik meg a hadfelszerelések között, amely villamos energiát igényel.* Ezért számba kell venni, hogy a problémát milyen technikákra és technológiákra támaszkodva tudjuk kielégíteni. Ezek alapvetően a következők:

- az alkalmazott villamos berendezések fogyasztásának a csökkentése;
- a villamos energiát tároló eszközök energiasűrűségének a növelése;
- a villamos energiát termelő már meglévő berendezések hatékonyságának a javítása;
- új villamosenergia-források felkutatása és alkalmazása;
- adminisztratív szabályozás és energiamenedzsment.

A villamos berendezések fogyasztásának csökkentése

Harctéri körülmények között a költséghatékonyság és a környezet védelme ugyan nem élvez prioritást, a mérsékelt energiafelhasználás azonban egyéb 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 energiatároló (-előállító) eszköz terjedelme és tömege. Ez utóbbi esetén nőhet a katona vagy a harcjármű mozgékonyasága, vagy a felszabaduló térfogatban és tömegben valamely más képesség növelhető.

A legtöbb általánosan használt villamos katonai berendezés esetén azonban 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 több fényt képesek produkálni, és még jelentős fejlesztési potenciál van bennük.⁵ Az egyes harctéri eszközökben alkalmazott alkatrészek hatékonysága már csak igen kis mértékben javítható, míg pl. a villamos motorok hatékonysága 90% körüli – gyakorlatilag zéró fejlesztési potenciállal.

⁴ A PK–4 pc. kódú készlet beépítési és rendszertechnikai terve, 54/938/GYEK. HM ArmCom, 2007.

⁵ Végvári Zsolt: A LED-ek alkalmazásának lehetőségei a Magyar Honvédségben. Katonai Logisztika, 2015/1., 133–162.

A világítóeszközök azonban – talán a tábori elhelyezés kivételével – csak igen kis részét képezik az igénybe vett villamos berendezéseknek, az *energiaigény csökkentése ezen a téren* önmagában nem lehet *teljes körű és minden igényt kielégítő megoldás*. Az így elért megtakarítás várhatóan még az újabban megjelenő eszközök igényeit sem lesz képes fedezni.

A villamos energiát tároló berendezések energiasűrűségének növelése

A villamos energia tárolására szolgálnak az egyszer használatos elemek és az újratölthető akkumulátorok. 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. Az ilyen eszközök egyik legfontosabb mérőszáma az energiasűrűség, ami azt fejezi ki, hogy mennyi energiát tárolhatunk egységnyi térfogatban vagy tömegben. Az ismertebb energiátárolási módok összevetésére szolgál a következő táblázat.

Különböző akkumulátorok energiasűrűsége

Anyag/technológia	elméleti maximális energiasűrűség*	
	térfogatarányos	tömegarányos
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-ferrofoszfát (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

* *Villamos akkumulátorok esetében a gyakorlati energiasűrűség csaknem eléri az elméleti maximumot, mivel a vegyi energiából elektromos energiává alakulás hatásfoka igen magas.*

Forrás: *Battery Cell Comparison. www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html (Letöltés időpontja: 2015. 11. 01.)*

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 energiasűrűségétől, pl. benzin esetében ~9500 Wh/l, illetve 12 000 Wh/kg az érték.

Érdemes tudni, hogy a korábban említett mintegy 50 kg-os lövészfelszerelésből az adott küldetéstől függően az akkumulátorok akár 10 kg-nál is nagyobb tömeget képviselhetnek. Akkumulátoraink energiasűrűségének már a kétszeresére növelése jelentős mozgásteret biztosítana mind a gyalogos katonák, mind a harcjárművek képességeinek fejlesztése terén.

Az energiasűrűségen kívül az akkumulátorok fontos jellemzője az az idő, ami a feltöltésükhöz szükséges, és hogy milyen gyorsan lehet kinyerni belőlük az energiát. Értelemszerűen előnyös, ha mindkét idő a lehető legrövidebb. A gyors töltés és kisütés azonban a szokványosnál jobban igénybe veszi az akkumulátor elektródjait, azok gyorsabban „kopnak”. Az ún. töltés-kisütési ciklus azt mutatja, hogy egy akkumulátort hányszor lehet kisütni és

újratölteni úgy, hogy a kapacitása nem csökken számottevően.⁶ Ez az akkuk tulajdonképpen élettartama – ha 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, a mai lítiumbázisú akkumulátorok pedig akár 1000–1500 ciklust is elviselnek.

A lítium-ferrofoszfát akkumulátornak két olyan tulajdonsága is van, amelyek miatt még akkor is érdemes megfontolni a katonai eszközökben történő használatát, ha energiasűrűsége csak fele-harmada a másik kettőének. Egyrészt az élettartama akár 3-4 ezer ciklus is lehet. Másrészt, amíg az akkumulátorokra általában jellemző, hogy energiatároló képességük a hőmérséklet csökkenésével radikálisan romlik – nagy hidegben akár a szobahőmérsékleten mért érték 10%-a alá is zuhanhat⁷ –, addig a lítium-ferrofoszfát akkumulátor hőmérséklet-függése jóval enyhébb.

A közeljövő ígéretes fejlesztései lehetnek a lítium-kén⁸ és a lítium-levegő akkumulátorok.⁹ 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 javulása után lehet belőlük.

A villamos energiát termelő berendezések hatékonyságának a javítása

A villamos energia előállításának legelterjedtebb módja, amikor forgó mechanikus mozgást alakítunk villamossággá. Az erre szolgáló generátorok hatásfoka 90% körüli, a tekerceslés vagy a csapágyazás minőségének javításával ez 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 forgó mozgást biztosító eszköz hatásfokának a javítása az egyetlen igazán járható út. Katonai technikáknál jelenleg a forgó mozgást hőerőgépek, dugattyús belső égésű motorok, ritkább esetben gázturbinák biztosítják.

A hőerőgépek közül hatásfok szempontjából a 10 kW–30 MW sávban (vagyis a szárazföldi eszközökön alkalmazható erőforrások körében) a korszerű dízelmotorok a legjobbak, 36–40%-os hatásfokkal, illetve talán bonyolultságuk miatt nem terjedtek még el szélesebb körben a dízel-gáz motorok, amelyek hatásfoka akár 46% is lehet. A hatásfokuk további növelésére két elméleti út van. Többek között növelhetjük az égés hatásfokát emulziókkal, adalékanyagokkal, illetve alkalmazhatunk kiegészítő berendezéseket a hulladékhő hasznosítására.

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

⁶ Nincs szabvány definiálva, de általában akkor tekintünk egy akkumulátort „lemerültnek”, ha már nem lehet feltölteni a névleges kapacitása 80%-ára sem.

⁷ Saját hőkamrás vizsgálataim alapján. Egy általam a HM VGH KMBBI Kutatási, Fejlesztési és Tudományos Osztályon vizsgált eszköznél 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, mínusz 50 Celsius-fokon a készülék csupán 27 percen keresztül maradt üzemképes.

⁸ 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> (Letöltés időpontja: 2016. 02. 23.)

⁹ Ethan Crumlin: Elucidation of the surface characteristics and electrochemistry of high-performance LiNiO₂. *Chemical Communications*, 2016/2., 52–56.

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 villamos energia termelésére. Ez a fajta eljárás azonban minden esetben hatalmas kiterjedésű infrastruktúrát és bonyolult kiszolgáló, biztonsági stb. berendezéseket feltételez, így tábori alkalmazásuk lehetetlen.

Megújuló az az energiaforrás, amelynek mennyisége nem csökken, ha felhasználunk belőle. Természetesen elméleti szinten nem létezik kimeríthetetlen energiaforrás, de könnyen belátható, hogy pl. a Nap a maga 5 milliárd évre elegendő nukleáris tüzelőanyag-tartalékával emberi léptékben kimeríthetetlen. A földi bioszférában a következő megújuló forrásokról beszélhetünk: biomassza, vízenergia, geotermikus energia, szélenergia és 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,¹⁰ így megfontolandó, hogy megéri-e külön elszeparált előállítói és elosztói infrastruktúrát kiépíteni¹¹ ezek alkalmazása kedvéért. A geotermikus energiából direkt módon nem nyerhető villamos áram, az alkalmazása csak ott lehet gazdaságos, ahol vékonyabb a kőzetlemez, ráadásul viszonylag nagy méretű, statikus infrastruktúrát is igényel.¹² Nem jobb a helyzet a vízenergia esetében sem.¹³ Egyes szakirodalmak külön említik az árapály-, illetve a hullámenergiát, de ezeket jelen esetben nem érdemes külön részletezni. Még a legkisebb ismert ún. törpe vízerőművek mérete is meghaladja a tábori alkalmazhatóság kereteit,¹⁴ emellett az a tény, hogy nagy mennyiségű folyó víz nem található minden művelési területen, eleve kizárja a katonai alkalmazást.

Sokkal jobb a helyzet a szél és a Nap energiájának a hasznosításával.¹⁵ Ezekből valamenynyire szinte mindenütt hozzáférhető, bár az tény, hogy nem megbízható módon. Az elérhető

¹⁰ Dave Roos: Biofuels vs. Fossil Fuels. How Stuff Works. <http://auto.howstuffworks.com/fuel-efficiency/biofuels/biofuel-fossil-fuel.htm> (Letöltés időpontja: 2016. 03. 04.)

¹¹ A NATO üzemanyagokkal kapcsolatos koncepciója szerint a harcteren csak egyfajta hajtóanyag – kerozin – használatos, hogy csupán egyetlen ellátási láncot kelljen kiépíteni és fenntartani: 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> (Letöltés időpontja: 2015. 11. 27.)

¹² 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 (Letöltés időpontja: 2015. 11. 23.)

¹³ Mayer György: Vízenergia-hasznosítás Magyarországon. MTA. http://mta.hu/data/cikk/12/90/28/cikk_129028/89MayerViz.pdf (Letöltés időpontja: 2015. 11. 01.)

¹⁴ Szeredi István: Kis és törpe vízerőművek. Budapesti Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, 2006. <http://www.vpk.bme.hu/vizepkor/docs/vizparty/torpevizeromu.pdf> (Letöltés időpontja: 2015. 11. 01.)

¹⁵ 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> (Letöltés időpontja: 2015. 11. 22.)

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 árbóc tetején helyezik el, ahol a rotorlapátok egy tengelyen helyezkednek el a generátorral. A szélérőműveknél az uralkodó széliránynak megfelelően telepítik a generátorokat, míg a kisebb méretűeknél az az árbóc tengelye mentén, szabadon mozogva be tud állni az aktuális széliránynak megfelelően. A szélgenerátorok már viszonylag kis méretben is hatékonyak,¹⁶ így mobil, tábori alkalmazásuk elvben lehetséges. Már jelenleg is létezik olyan komplex tábori villamos rendszer, amelynek része a szélgenerátor, de a rendszer telepítése műveleti területen csak ott képzelhető el, ahol nem fenyeget közvetlen harcérrintkezés veszélye. Ennek oka, hogy a szélgenerátor messziről jól látható és hallható, továbbá igen nagy radarkeresztmetszetet is ad. A szél sajátossága az is, hogy nagyobb magasságokban erősebben fúj,¹⁷ de tábori körülmények között nyilvánvalóan az sem képzelhető el, hogy egy közel optimális méretű, 100 méteres árbócot állítsanak fel. A 2015 nyarán Magyarországon megrendezett Capable Logistician nemzetközi logisztikai és együttműködési gyakorlat tapasztalatai¹⁸ is megerősítik azt a tendenciát, hogy műveleti területen történő alkalmazásuk egyelőre marginális marad.

Sokkal több reménnyel kecsegtet a napelemek alkalmazása. Mivel a napjainkban elérhető napelemek hatásfoka 15–20%, ez magyarországi viszonyok között¹⁹ azt jelenti, hogy egy 1 m²-es panellel optimális esetben 150–200 W villamos teljesítmény állítható elő, vagyis nagy intenzitású, direkt napsugárzás esetén.²⁰ 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 villamos áramot, csak lényegesen kevesebbet, mint optimális fényviszonyok között.

A napelemek nagy előnye, hogy gyorsan telepíthetőek, kis túlzással kétdimenziós eszközök, így tároláskor, szállításkor könnyen összecukukhatóak. A jelenleg legelterjedtebb polikristályos „üvegpanelek” 3–4 cm vastagok és tömegük hozzávetőlegesen 10–15 kg/m², de ezek tulajdonképpen a 20 évvel ezelőtti technológiai szintet képviselik, és a tömeggyártásnak köszönhetően jelenleg a legolcsóbban hozzáférhetőek. Léteznek már olyan napelemek, amelyeket ún. vékonyfilm-technológiával visznek fel egy hordozófelületre,²¹ így a vastagságuk csupán néhány milliméter. Ezek hatásfoka egyelőre alatta marad a hagyományosoknak,

¹⁶ Manfred Stiebler: *Wind Energy Systems for Electric Power Generation*. Springer, 2008.

¹⁷ Kasza Anett: A napenergia és szélenergia alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata hazánkban. *Hadmérnök*, 2009/2., 29–40.

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

¹⁹ Farkas István: A napenergia hasznosításának hazai lehetőségei. MTA, 2010. http://epa.oszk.hu/00600/00691/00080/pdf/mtud_2010_08_937-947.pdf (Letöltés időpontja: 2015. 11. 01.)

²⁰ Pálffy Miklós: A napenergia fotovillamos hasznosításának potenciálja Magyarországon. Solart System. <http://www.solart-system.hu/PVpotencialMo0604.pdf> (Letöltés időpontja: 2015. 11. 01.)

²¹ 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> (Letöltés időpontja: 2015. 11. 01.)

de számos új fejlesztés nyomán ez a közeljövőben megváltozhat, a technológiában jelentős még a fejlesztési potenciál.²²

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. 240 V-os váltakozó feszültséget igényelnek. Ezzel szemben a napelemek törpe egyenfeszültséget, 30–40 V-ot szolgáltatnak. A fogyasztói hálózathoz való illesztésükhöz ún. inverter szükséges, ami az egyenfeszültségből váltakozó feszültséget állít elő, miközben azt fel is szorzómálja. Az inverter nemcsak bonyolítja a struktúrát, de önmagában is mintegy 10%-os veszteséget okoz. Ha a nappal megtermelt áramot pedig este kívánjuk 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. 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 üzemanyag-szállító konvojok ellenséges támadásokkal szembeni kitettségét.

Az aggregátor a táborok energiaellátásában nem tekinthető újszerű technikának, de a növekvő villamosság iránti igény miatt új területeken is megjelenhetnek. Harcjárművek álló helyzeti villamos ellátására már most is használnak kis méretű aggregátorokat, amelyek halkabbak és takarékosabbak, mintha a harcjárművek motorját járatnák, és léteznek olyan kis méretű, kb. 1 kW teljesítményű minigenerátorok is, amelyek egy raj akkumulátorainak a 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 mozgásának energiáját kívánja villamosenergia-forrásként alkalmazni. A katonák bakanca-sába épített, illetve karjára-lábára erősített, külső csontvázhoz hasonlatos szerkezetek²³ a katonák mozgékonyágát jelentősen rontják, ám csupán elhanyagolható mennyiségű áramot képesek szolgáltatni.²⁴

Energiamedzsment és adminisztratív szabályozás

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

²² 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_conversi (Letöltés időpontja: 2015. 11. 23.)

²³ 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/> (Letöltés időpontja: 2015. 11. 23.)

²⁴ 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> (Letöltés időpontja: 2016. 02. 20.)

polgári mikrogridekhez²⁵ 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 kapcsoló elektronika 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 néhány óra alatt feltöltik azokat.

Az ilyen berendezések a tapasztalatok szerint²⁶ 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 tulajdonsága, hogy a terhelés függvényében csak egy viszonylag szűk tartományban működnek optimális hatásfokkal. Ha az aggregátorok közvetlenül a fogyasztói hálózatra dolgoznak, a hatásfokuk is folyamatosan ingadozik a pillanatnyi terheléssel párhuzamosan. Abban az esetben viszont, ha egy akkucsoport töltését végzik, az mindvégig optimális terhelést és így maximális hatásfokot eredményez, ami egyébként az aggregátorok élettartamára is jótékony hatással van.²⁷

Ezek a hibrid berendezések nyilvánvalóan bonyolultabbak és drágábbak egy egyszerű aggregátoros megoldásnál, mégis a terjedésükre lehet számítani a közeljövőben. Ennek részben az az oka, hogyha folyamatosan üzemeltetik őket, akkor még e cikk írásakor érvényes viszonylag mérsékelt üzemanyagárak mellett is 4-5 év alatt megtérül az áruk. Másfelől, missziós területen az eleve gyenge, gyakorta szinte 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 üzemanyag-szállító konvojok kísérése volt az, amely az egyik legtöbb áldozatot követelte.²⁸

A közelgő rendszeresítésükre utal az is, hogy speciális igények szerint már most számos verzióban léteznek. A több konténerből álló és egész táborok kiszolgálására alkalmas berendezéseken túl már gyártanak ún. szolárutánfutókat is, ahol egy közúti vonatmányra 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

²⁵ Olyan, többnyire valamilyen megújuló forrásra épülő lokális villamos rendszerek, 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.

²⁶ A saját, a Capable Logician gyakorlaton végzett összehasonlító mérések is igazolták a nemzetközileg elfogadott, kb. 40%-os megtakarítást, de egyes cégek, amelyek 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.

²⁷ Turmezei Péter: Napelemes energiaellátó rendszerek katonai célú alkalmazásának kérdései. PhD-értekezés, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2003.

²⁸ Christopher 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> (Letöltés időpontja: 2015. 11. 23.); Casualty Costs of Fuel and Water Resupply Convoys in Afghanistan and Iraq. Army-technology, 26 February 2010. <http://www.army-technology.com/features/feature77200> (Letöltés időpontja: 2016. 03. 17.)

egységbe építették be, ami az igen rövid idejű telepítést követően emberi beavatkozás nélkül is képes huzamosabb ideig ellátni pl. egy 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 villamos eszközök 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.

A VÁRHATÓ FEJLESZTÉSI IRÁNYOK

Az talán már az eddigiek alapján is kirajzolódott, hogy *nincs egyetlen megoldás sem, amely önmagában képes lenne a villamos energiával kapcsolatos harctéri igényeket kielégíteni*. Mindhárom tárgyalt aspektusban, tehát a tábori elhelyezés, a harcjárművek és a gyalogos katonák esetében is *elkerülhetetlen az akkumulátorok energiasűrűségének a drasztikus növelése*. Ám azt is látni kell, hogy ez olyan mennyiségű és nehézségű alapkutatást feltételez, amelyet talán az Amerikai Egyesült Államok és Kína kivételével egyetlen állam hadserege sem képes finanszírozni, ezért az megmarad az óriásvállalatok és kutatóintézetek privilégiuma, így a védelmi szféra nem annyira központja, mint inkább haszonélvezője lesz az eredményeknek. Az akkumulátorok energiasűrűsége várhatóan azért évről évre nőni fog (ahogy eddig is történt), és valószínűleg csak lassan, hacsak nem történik jelentős technológiai áttörés.

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-termelés hatékonyságát emelni. Nem fér kétség az ilyen fejlesztések fontosságához, de ezek inkább környezetvédelmi szempontból érdemelnek kiemelt figyelmet, a villamos energia iránti fokozódó igények kielégítésére ez az út önmagában nem elégséges.

A tábori elhelyezés vonatkozásában a konvencionális aggregátorok mellett nincs alternatívája a napenergián alapuló hibrid eszközöknek, így azok előreláthatólag egyre több helyen megjelennek a hadseregek eszköztárában és az igényeknek megfelelően egyre változatosabb formát öltenek majd.²⁹ 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, amelynek látványos előretérése lenne megjósolható. Az álló helyzeti energia biztosítására – ha az akkumulátorok erre végképp alkalmatlanok – továbbra is kiegészítő áramfejlesztőket szerelnek majd fel, esetleg hibrid rendszereket.

²⁹ Végvári Zsolt: A Smart Energy koncepció és eszközei a CL15 logisztikai gyakorlaton. 1–2 rész. Haditechnika, 2015/6., 30–34, 2016/2., 44–48.

A gyalogos katonák viszonylatában elkerülhetetlennek tűnik a szabványosítás, és várható, hogy egy-két éven belül a NATO rendszerében meg fog jelenni az erre vonatkozó STANAG. Még messze nem általános a használatuk, de már most is léteznek olyan flexibilis, összehajtható napelemek, amelyek egy-egy kisebb teljesítményű eszköz vészhelyzeti töltésére alkalmasak, így ezek lassú terjedése is feltételezhető.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- A PK-4 pc. kódú készlet beépítési és rendszertechnikai terve, 54/938/GYEK. HM ArmCom, 2007. Battery Cell Comparison. www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html
- Callahan, Michael – Anderson, Kate – Booth, Sam – Katz, Jessice – Tetreault, Tim: *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>
- Casualty Costs of Fuel and Water Resupply Convoys in Afghanistan and Iraq. *Army-technology*, 26 February 2010. <http://www.army-technology.com/features/feature77200>
- 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>
- Colthorpe, Andy: *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
- Crumlin, Ethan: *Elucidation of the surface characteristics and electrochemistry of high-performance LiNiO₂*. Chemical Communications, 2016/2.
- Drummond, Katie: *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>
- Farkas István: *A napenergia hasznosításának hazai lehetőségei*. MTA, 2010. http://epa.oszk.hu/00600/00691/00080/pdf/mtud_2010_08_937-947.pdf
- Fischer Anita – Hlatki Miklós – Mezösi András – Pató Zsuzsanna: *Geotermikus villamosenergia-termelés lehetőségei Magyarországon*. Budapesti Corvinus Egyetem, 2009. http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/124/1/wp2009_2.pdf
- Godkin, David: *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/>
- Hegedüs 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*, 2014/1.
- Helman, Christopher: *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>
- Kasza Anett: *A napenergia és szélenergia alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata hazánkban*. Hadmérnök, 2009/2.
- Kee, Edwin: *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>
- Márkus Ferenc: *A gyalogos lövészkatona egyéni harcászati felszerelésének modernizálási lehetőségei a Magyar Honvédségben*. *Seregszemle*, 2013/2–3.
- Mayer György: *Vízenergia hasznosítás Magyarországon*. MTA. http://mta.hu/data/cikk/12/90/28/cikk_129028/89MayerViz.pdf

- Moon, Mariella: *Harnessing Kinetic Energy from Marching Soldiers*. Clean Technica, July 27, 2009. <http://cleantechnica.com/2009/07/27/harnessing-kinetic-energy-from-marching-soldiers>
- Pálfy Miklós: *A napenergia fotovillamos hasznosításának potenciálja Magyarországon*. Solart System. <http://www.solart-system.hu/PVpotencialMo0604.pdf>
- Roos, Dave: *Biofuels vs. Fossil Fuels*. How Stuff Works. <http://auto.howstuffworks.com/fuel-efficiency/biofuels/biofuel-fossil-fuel.htm>
- Stiebler, Manfred: *Wind Energy Systems for Electric Power Generation*. Springer, 2008.
- Szeredi István: *Kis és törpe vízerőművek*. Budapesti Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, 2006. <http://www.vpk.bme.hu/vizepkor/docs/vizparty/torpevizeromu.pdf>
- Tucker, Patrick: *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/
- Turmezei Péter: *Napelemes energiaellátó rendszerek katonai célú alkalmazásának kérdései*. PhD-értekezés. Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2003.
- Végvári Zsolt: *A LED-ek alkalmazásának lehetőségei a Magyar Honvédségben*. Katonai Logisztika, 2015/1.
- Végvári Zsolt: *A Smart Energy koncepció és eszközei a CL15 logisztikai gyakorlaton*. 1–2. rész. Haditechnika, 2015/6., 2016/2.