

Végyári Zsolt¹

AKKUMULÁTOROK A GYALOGOS LÖVÉSZKATONÁK FELSZERELÉSÉBEN, A FEJLESZTÉS LEHETSÉGES IRÁNYAI

(BATTERIES IN THE EQUIPMENT OF THE DISMOUNTED INFANTRY, POSSIBLE WAYS OF THE DEVELOPMENT)

Az akkumulátorok nélkülözhetetlen szerepet töltenek be a gyalogos katonák haditechnikai eszközeinek villamos áramellátása területén. Mivel a jövőben várhatóan nőni fog a harctéren alkalmazott villamos eszközök száma, fontos ismerni, hogy melyek a technológia korlátai és milyen lehetőségek vannak a fejlesztésre.

Kulcsszavak: akkumulátorok, harctéri villamosság, katonai felszerelés, fejlesztés

The batteries play indisposed role in the field electricity supply of defence technical assets of dismounted infantry. As the number of electrical devices used in the future battlefield is expected to grow, it is important to know what are the limitations of technology and what opportunities exist for the development.

Keywords: secondary batteries, field electricity, military equipment, development

BEVEZETÉS

A villamosság felfedezése óta az emberiség egyre inkább függ ettől az energiafajtától. Gépeink, berendezéseink jelentős része ilyen elven működik és a villamosság szerepe egyre nagyobb a hadviselésben is. Napjainkban az elektromos áram az erőművek és a távvezetékek révén viszonylag egyszerűen és nagy mennyiségben is hozzáférhető a fix telepítési helyű eszközök esetében.

A háztartások, az ipar és természetesen a katonai létesítmények is egyre több villamos energiát igényelnek, amely igény kielégítésének viszont nincs semmilyen technológiai akadálya.

Egészen más a helyzet a mobil eszközök esetében, ahol hangsúlyozni kell, hogy ebben a kontextusban nem csupán napjaink divatos telefonjait és egyéb infokommunikációs eszközeit tekintem mobilnak, hanem minden olyan eszközt, amellyel szemben elvárás, hogy mozgás közben a vezetékes villamos infrastruktúrától távol is üzemeljen.

Amennyiben nem megoldható, hogy a villamos energiát előállító berendezést (tipikusan generátort) integráljuk az ilyen rendszerekbe², akkor szinte egyedüli megoldásként a villamos energiát vegyi formában tároló elemek illetve akkumulátorok³ állnak a rendelkezésünkre.

¹ Nemzeti Közsolgálati Egyetem, doktorandusz. E-mail: vegvari.zsolt@hm.gov.hu ORCID: 0000-0003-2543-6049

² Az egy személy által viselhető vagy hordozható eszközök ilyenek.

Sajnos a polgári életből is látható, hogy a mobil villamosság tekintetében az elérhető technológiák napjainkban már nem, vagy csak alig képesek kielégíteni az igényeket. A már említett okostelefonok többsége egy feltöltéssel csupán egy-két napig képes üzemelni, a mobil számítógépek csupán néhány óráig és a villamos gépkocsik tömeges terjedésének is csak az akkumulátor-technológia korlátai szabnak jelenleg határt.

AZ VILLAMOS ENERGIA TÁROLÁSÁNAK TÖRTÉNETE, A TECHNOLÓGIA ALAPJAI

A villamos energiái kémiai tárolása

Már ókori leletekben is találtak olyan tárgyakat, amelyekben egyesek ősi vegyi áramforrásokat vélnek felfedezni [1], de ezek tudományosan nem igazolt és nem elfogadott nézetek. Azt a tényt, hogy a vegyi energiából villamosság állítható elő Luigi Galvani olasz tudós dokumentálta a XVIII. század vége felélsőként, a híres békacomb kísérletei során. Nevét őrzik az ún. galvánelemek, amelyeket egy elektrolitba mártott két fémelektroda alkot. A kémiai elektromosság jelenségének oka, hogy bizonyos kémiai anyagok a megfelelő környezetben hajlamosak elektronokat leadni, míg más anyagok felvenni azt. A kémiai áramforrások két elektródból (a pozitív neve katód, a negatívé anód) állnak, ahol az elektronok forrása az anód. A kettő között helyezkedik el az ún. elektrolit, ami lehetővé teszi az elektronok mozgását. Ha az elektródok között záródik az áramkör, lehetővé válik az töltések áramlása az elektródok között, miközben azok egy vegyi reakció során átalakulnak. A folyamat addig tartható fenn, amíg az elektródok anyaga teljesen át nem alakul [2].

A szárazelemek és fajtáik

Jelentős áttörést jelentett a villamosság terjedésében a XIX. és XX. század fordulóján létrehozott szárazelem [3], amelynek kémiája megegyezik a galvánelemkével, de az elektrolitot sikerült egy szilárd rétegben rögzíteni és így egy valóban hordozható áramforrást létrehozni. A szárazelemek a mai napig általánosan használt eszközök, elsősorban az olyan kis energiaigényű és/vagy ritkán használt villamos szerkezetekben, mint az órák, távirányítók, mert az akkumulátoroknál kevésbé hajlamosak az önkisülésre⁴.

A szárazelemeknek tucatnyi változata ismert, de a gyakorlatban, kezdetben csak az igen olcsó szén-cink, majd az 1950-es években megjelenő alkálielemek⁵ terjedtek el igazán. Mindkettő ele-

³ Az angolszász szakirodalom ezt a két energiatárolót egyaránt „battery”-nek nevezi. Ahol szükségesnek látják hangsúlyozni, hogy az adott eszköz többször is használható, ott „rechargeable” – azaz újratölthető – „battery”-ről beszélnek. Ritkábban fordul elő a „primary battery”, mint elem és „secondary battery”, mint akkumulátor megkülönböztetés. A magyar nyelv az egyszer használatos vegyi tárolókat egyértelműen elemnek, a többször is feltölthető és használhatóakat pedig akkumulátornak nevezi és én jelen cikkben ragaszkodom ehhez a terminológiához.

⁴ A vegyi energiatárolók azon tulajdonsága, hogy idővel akkor is elveszítik a töltésüket, ha nincs rájuk kapcsolva fogyasztó.

⁵ Működésük a cink és a mangán-dioxid reakcióján alapul, nevüket az elektrolitot alkotó kálium-hidroxidról, az egyik leggyakoribb alkáli vegyületről kapták.

mi cellafeszültsége 1,5V, míg elméleti energiasűrűségük⁶ 150 Wh/kg körül alakul (lásd a táblázatban). A gyakorlatban azonban ennek az energiasűrűségnek mindkét típus csak kb. a felét képes biztosítani, így az alkálielem létjogosultságát elsősorban az adja, hogy kisebb a belső ellenállása, így az önkisülése jóval alacsonyabb mértékű, mint az elődé.

Léteznek higany-oxid vagy ezüst-oxid aktív katódos alkáli elemek is, melyek kapacitása némileg nagyobb, de lényegesen drágábbak és rendkívül környezetszennyezők is. Ez a tény, hogy az alkálielemek általában környezetszennyezők, jelentős lökést adott az akkumulátorok fejlesztésének az 1980-90-es évektől kezdődően, míg a szárazelemek paraméterei, gyártástechnológiája azóta tulajdonképpen nem sokat változott és e téren nincs is remény jelentős fejlődésre. Ennek megfelelően az várható, hogy bár az elemek még sokáig jelen lesznek a mindennapokban, de a jelentőségük egyre csökken.

Az akkumulátorok működési elve

Az akkumulátorok alapvető működése megegyezik az elemekével, azzal az igen fontos eltéréssel, hogy a bennük lezajló kémiai folyamatok reverzibilisek, azaz a lemerült cellákat a megfelelő feszültségre kapcsolva visszaállnak az eredeti kémiai alkotóelemek és az akkumulátor újra üzemképesé válik. Sajnos az ilyen ún. töltés-kisütés ciklusok során az elektródák károsodnak, elveszítik a tömegük egy részét, és ezzel csökken az akkumulátor kapacitása is.

A gyakorlatban az akkumulátor élettartamának nevezzük azt a töltés-kisütés ciklusszámot, amíg annak a kapacitása az eredeti névleges érték 80%-ára esik⁷. Az elemekhez hasonlóan az akkumulátoroknak is számtalan változata létezik, ezért most csak az legáltalánosabban használt típusok kerülnek bemutatásra.

Az akkumulátorok típusai

Az első többször használható vegyi áramforrások az ólomsavas akkumulátorok voltak, amelyek az 1830-as évektől ismertek [4]. A felépítésük igen egyszerű volt, ólom és ólomdioxid elektródák merülnek desztillált vízzel hígított kénsavba és ez lényegében a mai napig változatlan [2]. Rendkívül nagy tömegük mellett az ólomakkumulátorok energiasűrűsége csekély (lásd a táblázatban), a nem gondozásmentes típusoknál komoly probléma a töltéskor jelentkező gázfejlődés is.

A korszerűbb, ún. „zselés” akkumulátoroknál az elektrolitot egy szövetszerű anyagban felitva tárolják, de ez még önmagában nem jelent gondozásmentességet és a kapacitást sem javítja. Minden hiányosságuk ellenére a jó értelemben vett igénytelenségük (pl. jól viselik a túltöltést) és amiatt, hogy nagy felületű elektródákat alkalmazva igen nagy, akár több 100 amperes indítóáramot is képesek leadni, az autóiparban jelenleg is általánosan használtak.

Az 1960-as évektől terjedtek el a nikkkel-kadmium (NiCd), majd később a nikkkel-fémhidrid (NiMH) akkumulátorok. A nikkkel-kadmium páros az ólomsavasnál mintegy kétszer nagyobb

⁶Az energiatároló képességnek egy mérőszáma, amely azt mutatja meg, hogy egységnyi tömegben vagy egységnyi térfogatban mekkora energiát képes tárolni az adott anyag. A gyakorlati energiasűrűség számos tényezőtől függ, de természetesen minden esetben lényegesen kisebb az elméleti maximumnál.

⁷Erre vonatkozólag nincsen hivatalos előírás, de a téma szakirodalmában a 80%-os értéket tekinti de facto szabványnak.

energiasűrűséget (lásd a táblázatban) biztosít [2], de a használatuk nehézkes az ún. memóriaeffektus⁸ miatt és a kadmium, mint anyag további két rossz tulajdonsággal is bír. Egyrészt igen ritka elem, így meglehetősen drága is, másrészt oxidjai olyan mérgezőek, hogy korábban még vegyi fegyverként is kísérleteztek velük.

A nikkel-fémhidrid kombinációban a kadmium helyett már egy speciális hidrogénmegkötő fém-ötvezetet alkalmaznak, ami a kadmium alkalmazásának hátrányait ugyan kiküszöböli, de a teljesítménysűrűségre nincs hatással, továbbá rendkívül drága töltőberendezések szükségesek hozzá [2], mert ha nem a hőmérsékletet és egyéb paramétereket figyelembe vevő speciális algoritmus szerint töltődnek, hamar tönkremennek az ilyen eszközök.

Mint látható, a nikkel alapú akkumulátorok, bár nagyobb a kapacitásuk, sokkal gondosabb kezelést igényelnek, mint az ólomsavas társaik és drágábbak is, ezért inkább csak a háztartási elektronikai eszközökben voltak egészen napjainkig használatosak.

A lítium alapú technológia

Napjaink akkumulátor-fejlesztései csaknem 100%-ban a lítiumon alapulnak. Ez a Földön nem túl gyakori, de még viszonylag nagyobb tömegben fellelhető és kitermelhető alkálifém számos rendkívüli tulajdonsággal bír. A legkisebb sűrűségű valamennyi fém között, a többi alkálifémhez hasonlóan igen reakcióképes, továbbá jó a villamosság- és hővezető képessége is [5], ezért gyakran használják a hűtéstechnikában illetve különleges kenőanyagok létrehozásához is. Bizonyított élettani hatása jelenleg nem ismert, ezért a kezelése nem igényel fokozott elővigyázatosságot.

A lítiumos akkumulátorok első generációjában a katód lítium-kobaltdioxidból, míg az anód valamilyen széntartalmú kristályból (jellemzően garfítból) készül, és a lítium-ionjai alkotják az elektrolitot. Már a 90-es évek második felében megjelenő korai típusok is jóval nagyobb energiasűrűséget biztosítottak (lásd a táblázatban) a nikkel-alapú megoldásoknál, és közben sokkal kevésbé voltak kényesek a töltés-kisütés szabályosságára [2], így elég gyorsan elterjedtek.

Mivel a lítiumos akkumulátorok a kristályosodásra kevésbé hajlamosak, kezdetben úgy vélték, hogy a töltés algoritmusai igazából nem is fontosak, de újabb kutatások igazolták, hogy – bár kisebb mértékben – de a memóriaeffektus azért itt is megfigyelhető [6].

A lítium-polimer akkumulátorok a lítium-ion technológia egyik újabb állomását képviselik. Az alapvető jellemzők nem változtak, de itt már csak minimális mennyiségű folyékony elektrolitot tartalmaznak a cellák és helyettük egy speciális polimer választja el az elektródokat egymástól. Ez nemcsak a geometriai kialakítás (formatervezés) során biztosít nagyobb szabadságot a mérnököknek, de nemrégiben megjelentek a hajlékony akkumulátorok is [7], ahol a polimer már egy csupán egyetlen atomnyi vastagságú grafitréteg, az ún. grafén⁹.

⁸A nikkel alapú akkumulátorokra jellemző kristályosodás miatt, ha az akkumulátor rendszeresen nem merül le teljesen, akkor az „megjegyzí” azt az értéket ameddig kisütötték, és később már nem is lehet ez alá a szint alá meríteni, vagyis a kapacitásának egy jelentős részét elveszíti.

⁹Ez az anyag nemcsak hajlékony, de rendkívül erős is. Több ezer vele kapcsolatos szabadalmat tartanak nyilván, pl. a hajlékony kijelzőét is.

Akkumulátorok a gyalogos katonák felszerelésében¹⁰

A gyalogos katonák minden hadsereg alapvető fegyvernemét jelentik. A gépesítés, és a korszerű technológiák ellenére sem csökkent a jelentőségük, sőt a modern hadseregekben az aszimmetrikus hadviselés¹¹ csak növelte a fontosságukat [8].

Természetes, hogy a korszerű haderők mindegyike komoly erőforrásokat mozgósít a felszerelésük folyamatos korszerűsítésére, hiszen sok más tényező mellett a lövész fegyvernem képességeit a kiképzettségén túl alapvetően a felszerelés határozza meg.

A gyalogos katonák felszerelése

A gyalogos katonák felszerelését sokféleképpen számba lehet venni, én az alábbi felosztást javaslom:

- Öltözet, ruházati kiegészítők (hátzsák, málhamellény, hálózsák);
- Élelmiszer, víz (vagy víztisztító készlet) és kapcsolódó eszközök;
- Egyéni fegyverzet, lőszer;
- Ballisztikai védelem (mellény, sisak), esetleg ABV védelem;
- Kommunikációs, navigációs és informatikai eszközök (taktikai rádió, GPS);
- Egyéb eszközök (távcső, elsősegély felszerelés, stb.);
- Nem egyéni (kollektív) felszerelések és eszközök.

Viszonylag könnyen belátható, hogy egy egészséges, jó fizikumú katona teherbíró képessége is limitált. Ennek megfelelően a felszerelés a tömege – nemzettől és feladattól függően – nagyjából 30 és 50 kg között változik [9], amely terhelést már valóban nem lehet tovább növelni, mert az a katonák harcértékének rohamos csökkenését vonná magával.

Ez definiálja, hogy a fenti felsorolás elemeit ebben a tömegben kell elhelyezni, illetve lehetőség szerint minimalizálni.

Adott technológiai szinten az egyik elem erősítése csak egy, vagy több másik elem kárára valószínűsíthető meg. A legnyilvánvalóbb példa az egyéni lőfegyver, mint minden katona alapvető harc-eszköze.

A Magyar Honvédségben rendszeresített Kalasnyikov mintájú gépkarabélyokat¹² rajszinten kiegészíti egy nagyobb tűzgyorsaságú és hatótávolságú PKM golyószóró¹³. Elvben kaphatna min-

¹⁰ A lövészkatonák természetesen nem csak gyalogosan harcolhatnak és a villamos energia iránti igény a harcjárműveket és a tábori elhelyezést is érinti, de az ilyen eszközök nem képezik a katonák egyéni felszerelését, így jelen cikkben nem is érintem azokat.

¹¹ A hadviselés jellemzően modernkori változata, amikor a hadseregeknek gerillákkal, terroristákkal, tehát nyilvánvalóan kisebb harcértékű, gyengébb felszerelésű, de nehezen felderíthető és leküzdhető ellenféllel kell szembenéznie.

¹² A NATO terminológiában rohampuska. A karabélylőszer a pisztolylőszerrel tüzelő géppisztolynál sokkal nagyobb hatásos lőtávolságot és becsapódási energiát biztosít, de jócskán alatta marad a géppuskának.

den katona golyószórót, hiszen az radikálisan megnövelné az alegység tűzerejét, de annak tömege még lőszer nélkül is több, mint kétszerese a karabélynak (7,5 kg vs. 3,5 kg), ami számottevően korlátozná a további felszerelések mennyiségét.

A felszerelési elemek korszerűsítése magától értetődően folyamatosan zajlik, de az manapság számos ponton ütközik technológiai korlátokba. A hagyományos felszerelési elemek többségének a technikája már igen kifinomult, jelentős költségekkel sem növelhető oly mértékben azok képessége, hogy az döntő tényező legyen a harcmezőn. Megint az egyéni lőfegyvert hoznám fel példának. Csillagászati összegekért fejlesztenek egyre futurisztikusabb fegyvereket [10], de az azokkal felszerelt katonák ellen továbbra is hatékonyan alkalmazható a fél évszázados Kalasnyikov. Az új fejlesztésű és rendszeresített amerikai lángálló öltözet is bizonyára számos katonát megóv majd a súlyos sérülésektől [11], de ez aligha veszi el a harci kedvét (és hatékonyságát), az esetleg farmerben harcoló gerilláknak, vagyis ezek *a drága új fejlesztések nem képesek döntő technológiai fölényt biztosítani.*

Villamos eszközök a gyalogos katonáknál

Fenti körülmények okán egyre gyakoribb, hogy olyan új eszközökkel próbálják a katonák képességeit kibővíteni, adott esetben a hagyományos felszerelési elemek terhére is, amelyek eddig nem szerepeltek a máhalistán. A taktikai rádió mellett általában ma már legalább raj szinten megtalálható egy műholdas készülék is. Alapfelszerelés lett továbbá a GPS, az éjjellátó és/vagy éjszakai irányzék, amelyek egyértelműen bővítik a katonák képességeit, így növelve hatékonyságukat és túlélőképességüket.

Ennél a pontnál találkozunk a katonák felszerelése és az akkumulátorok minősége, mert *ezek az eszközök mind villamos árammal üzemelnek* és az is elég tisztán látszik, hogy *a villamosságra egyre nagyobb lesz az igény a harctereken a közeli és távolabbi jövőben is.* Már most is használnak valós idejű taktikai felderítőrendszereket, rendkívül kisméretű taktikai drónokat, már kísérleti fázisban vannak az autonóm harctéri roboteszközök [12], az exo-skeletonok¹⁴ [13] és talán már nincs messze az elektromágneses fegyverek kora sem, amelyek bizonyosan mind jelentős villamos fogyasztók lesznek.

Jól példázza a fejlődés ezen tendenciáját, hogy a Magyar Honvédség nemrégiben korszerűsítette a rendszeresített Kalasnyikov gépkarabélyok egy részét, de a fejlesztés során annak ballisztikai tulajdonságain egyáltalán nem változtattak. A módosítással kizárólag a fegyver ergonómiáját

¹³ A Magyar Honvédség gyalogos alakulatainak többségénél nincs rendszeresítve klasszikus értelemben vett géppuska az elvárt nagyfokú mobilitás miatt. A PKM golyószórót saját villaálványáról vagy „csípőből” tüzelve alkalmazzák tűzfedezet biztosítására. Létezik hozzá egy jelentősebb tömegű háromlábú állvány is, amely statikusan elhelyezve képes egy géppuska stabilitását és pontosságát biztosítani a fegyvernek, de a lőszer és a fegyver alapvető ballisztikai tulajdonságai nem változnak. A NATO terminológiában a golyószóró kifejezés nem ismert, a 7,62mm-es puskalőszerrel tüzelő, még egy ember által hordozható fegyvereket könnyű géppuskának nevezik, hogy elkülönítsék a nagyobb ürméretű és pusztító erejű, de tömegük miatt csak járműfedélzetre telepíthető „nehéz” géppuskáktól.

¹⁴ Szó szerint fordításban „külső csontváz”. A katonák testére erősített, és a katonák mozgását motorokkal felerősítő szerkezet, ami emberfeletti teherbírást kölcsönöz a viselőjének.

javították, illetve megteremtették a lehetőségét, hogy gránátvetővel, valamint *vörösponyos irányzék*¹⁵, *éjszakai irányzék* és *éjjellátó készülék* szereljék fel azokat [14].

A harctéri villamos energetika kutatási területei

A jelenleg általánosan használt harctéri villamos eszközökhöz egy három napos küldetéshez máházott akkumulátorok tömege (nem számítva magukat az eszközöket) átlagosan már most is közel 7 kg [15] és a korábban vázoltaknak megfelelően nem valószínű, hogy csökkenne a villamoság iránti igény a harctereken. Ez azt hozza magával, hogy az akkumulátorok száma és tömege folyamatosan korlátozó tényező lesz a katonák felszerelésének összeállítása során.

Meg kell ismerni tehát mindazokat a módokat, amelyek lehetővé teszik, hogy a katonák továbbra is megkaphassanak és használhassanak minden olyan elektronikus eszközt, ami taktikai előnyt biztosít számukra a műveletek során. Ezzel kapcsolatban én az alábbi elvi megoldásokat találtam:

- Az eszközök fogyasztásának mérséklése;
- Az akkumulátorok töltésének és/vagy a szükséges mennyiségű villamos energia termelésének megoldása terepi kivitelben, hordozható méretben;
- Az akkumulátorok energiasűrűségének növelése;
- Az akkumulátorok kiváltása más technológiával;
- Szabványosítás, személyi-kisalegységi energia-menedzsment.

Az eszközök fogyasztásának mérséklése

A kisebb energiaigény várhatóan kevesebb akkumulátort jelent, így kézenfekvő módszer az alkalmazott villamos katonai eszközök fogyasztásának mérséklése. Sajnos az elméleti lehetőség a gyakorlatban nem jelent valódi megoldást. A haditechnikában jelenleg alkalmazott villamos eszközök döntő többsége az információs fölény¹⁶[16] taktikai szintű megszerzését szolgálja, vagyis a katonák kommunikációját, navigációját illetve az ellenséges és saját csapatokkal kapcsolatos információszerzést segítik. Ezek a működés szempontjából három részre bonthatóak: jelek kisugárzása és/vagy detektálása valamint a köztes információfeldolgozás. A jelek kisugárzásánál és detektálásánál a kisebb energiafogyasztás az esetek többségében rontaná az eszköz paramétereit, így elsősorban a köztes információfeldolgozás energiaigénye lenne csökkenthető. Mivel az információfeldolgozása napjainkban 100 %-ban a félvezetőkön alapul, azok erőteljes integrálásával a disszipált¹⁷ energia mennyisége elvben csökkenthető, ugyanakkor az integráltság már jelenleg

¹⁵ A hagyományos irányzású Kalasnyikov karabélyoknál a lövőnek egy vonalba kell hozni a szemével a célzótűskét, az irányzékot valamint a célt is. A vörösponyos irányzék egy optikai eszköz, amelybe úgy lehet belenézni, mint egy fegyvertávcsőbe. A lövőnek elég az optikára vetített vörös pontocskát „célra tenni”, így lényegesen gyorsabban és pontosabban tud tüzelni.

¹⁶ Az információs fölényt birtokló fél jobban ismeri a saját és az ellenséges csapatok számát, elhelyezkedését, erejét, stb. Az információs fölény birtoklásának általában egyenes következménye a vezetési fölény kialakulása, aminek köszönhetően kisebb saját erővel, kisebb veszteség mellett is elérhető a győzelem.

¹⁷ A félvezető eszközök működése során hővé alakuló energia.

is olyan fokú, hogy legfeljebb néhány %-os javulás várható, míg a technológia eléri elvi korlátait, vagyis az egyetlen atomnyi tranzisztorokat [17]¹⁸.

A villamos energiát a jövőben valószínűleg mozgásra, mozgatásra is alkalmazzák majd a harctereken, de mivel a villanymotorok hatásfoka jelenleg is 90 % körül alakul, itt sem található számottevő fejlesztési potenciál. A jelenleg még a tudományos fantasztikum határán mozgó elektromágneses fegyverek esetében azok pusztító ereje pedig arányos a felhasznált energiával, tehát itt sem a takarékoság lesz a fő tervezési szempont a jövőben.

A félvezetőkhez tartozik a LED-es technológia, de külön említem, mert üdítő kivételt jelent az energia felhasználásának szempontjából. A LED-ek, vagyis a fénykibocsátó félvezető diódák, számos egyéb előny mellett¹⁹ a hagyományos izzók fogyasztásának alig egy tizedével képesek ugyanazt a fényerőt előállítani [18].

Ennek a nyomán a sisaklámpák és taktikai lámpák mérete és tömege harmadára, negyedére is csökkenhet, miközben azok világítástechnikai paraméterei nem változnak. Ez kötelező technológiaváltást jelent minden olyan haderőnek, amelyik eddig még nem cserélte le a korábban rendszerített harcászati világító-eszközeit. Az is nyilvánvaló ugyanakkor, hogy a világítás csak egy viszonylag kis része a teljes vertikumnak, miközben a villamos energia iránti igény alighanem nagyobb ütemben fog nőni. Így összességében megállapítható, hogy *a takarékosabb eszközök alkalmazása nyomán nem csökkenthető lényegesen a málházott akkumulátorok száma és tömege.*

Személyi méretű villamos energia-termelő technikák

Amennyiben taktikai hátrány elszűnése nélkül képesek lennének számottevő villamos energia előállítására a harctéren, az lehetővé tenné az akkumulátorok gyakori töltését, így csökkenhetne azok mérete vagy mennyisége. Amennyiben bármilyen körülmények között képesek lennének ezt az energiát megtermelni, akkor az akkumulátorokra egyáltalán nem is lenne szükség. Az erőművekben alkalmazott technikák sajnos nyilvánvalóan nem alkalmasak erre, és a megújuló energiaforrások többsége is olyan infrastruktúrát igényel, ami kizárja az ilyen kis méretben történő megvalósítást [19]. Az alkalmazott eljárás által igényelt méret tehát kizárja a napjainkban általánosan használt megoldások többségét, csak a belsőégésű motor által hajtott generátor²⁰ valamint a nap-elem marad, mint lehetőség.

A hőerőgépek, így a belsőégésű motorok általános jellemzője, hogy a hatásfokuk arányos a méretükkel, vagyis a kisméretű motorok hatásfoka sokkal rosszabb a nagyobbaknál. Ugyanakkor a fosszilis üzemanyagok energiasűrűsége annyival nagyobb a legkorszerűbb akkumulátoroknál is (a gázolajé pl. meghaladja a 13 kWh/kg-ot, lásd a táblázatban) [20], hogy még az igen rossznak

¹⁸ A legmagasabban integrált félvezető eszközök a mikroprocesszorok, ezeknél a vezető szálak mérete jelenleg 10 nm körül alakul, amely méret már jelenleg is csupán néhány szilícium-atomot jelent.

¹⁹ Csupán a legfontosabbak: a kisebb tömeg és méret, a nagyságrendileg nagyobb várható élettartam és a mechanikai hatásokkal szemben való sokkal nagyobb ellenálló képesség.

²⁰ A belsőégésű motorral hajtott generátort a magyar szakirodalom aggregátornak nevezi, míg az angolszász terminológia ezt a komplex áramfejlesztő berendezést is csak „generator”-ként említi. Én ebben a cikkben a magyar megnevezéseket használom.

tekinthető 20 % alatti hatásfok mellett is²¹ érdemes a használatán elgondolkodni. Jelenleg is gyártanak katonai használatra olyan „mindenevő”²² áramfejlesztőt, aminek az 1 kW-os teljesítménye ideális lehet egy raj vagy szakasz akkumulátorainak töltésére [21].

Alkalmazásával kapcsolatban a fő probléma, hogy mivel rendkívül zajos, könnyen elárulja a kezelője helyzetét, így csak akkor lehet működtetni, amikor biztosan nem áll fenn közvetlen harc-érintkezés veszélye. Amikor viszont a kezelője nem számíthat ellenséges támadásra, akkor valószínűleg olyan védett táborban tartózkodik, ahol ki van építve tábori villamos ellátás is. Elgondolkodtató az is, hogy a kis méretből, a több üzemanyagot tartalmazó technikából és az egyenirányító veszteségéből²³ adódó mindössze 16,6 %-os hatásfok azt jelenti, hogy a teljes rendszert vizsgálva már csak kb. 2 kWh/kg a gázolaj energiasűrűsége (a benziné pl. még rosszabb), ami alig kétháromszorosa a korszerű akkumulátorokénak, miközben a berendezés tömege üzemanyag nélkül is csaknem 16 kg.

A napelemek működése az ún. fotovillamos hatáson alapul [19], ahol az eszközre érkező fotonok teljesen hangtalanul generálnak elektronokat és hoznak létre villamos egyenáramot, amivel az akkumulátorok közvetlenül tölthetők. A napelemek nyilvánvaló hátránya, hogy rossz időben, fedett terepen vagy épületben és legfőképpen este egyáltalán nem használhatók. Az általánosan, pl. az épületek tetején használt ún. „üvegtáblás” napelemek hatásfoka 20-30 % is lehet, de ezek méretük és tömegük miatt nem képezhetik a gyalogos katonák felszerelésének részét.

Léteznek flexibilis napelemek²⁴ is, de a legjobbak hatásfoka is csak kb. 15 %. Ez azt jelenti, hogy 1 m²-nyi PV panel²⁵ a magyarországi földrajzi szélességen optimális esetben (nagy intenzitású direkt napsütésben) is csak maximum 100-150 W-ot képes termelni. Több m²-nyi panel kezelése terepen már nehézkes, és a csillogás is elárulhatja a felhasználók tartózkodási helyét. A felsoroltak ellenére már léteznek ilyen működésű hordozható eszközök is [22], de az alkalmazásuk valószínűleg ugyanolyan marginális marad, mint a törpe aggregátoroké.

Léteznek még elképzelések a villamos energia helyi megtermelésére, de ezek többnyire inkább mulatságosak, mint valóban hasznosak. Igen fantáziadús a katonák mozgásából villamos energiát előállító készülék ötlete. Az exo-skeletonokhoz hasonló, lábra erősített eszköz a katona mozgásának intenzitásától (séta – futás) függően 15-40 W energiát termel [23], de nehéz elképzelni, hogy a lábára szerelt fémdarabkák ne akadályoznák vagy zavarnák a katona mozgását.

²¹ Egy korszerű, közúti járművek hajtására alkalmazott dízelmotor hatásfoka elérheti a 35 %-ot is, a vegyes gáz-dízel motoroké akár 45% is lehet.

²² A bármilyen fosszilis üzemanyaggal működni képes hőerőgépek közkeletű elnevezése.

²³ A generátorok váltakozó áramot (Alternate Current - AC) állítanak elő, míg az akkumulátorok egyenárammal (Direct Current - DC) tölthetők. Léteznek a forgó mozgást egyenárammá alakítani képes gépek is, az ún. dinamók, de ezek hatásfoka annyival gyengébb a generátorokénál, hogy mára teljesen kihaltak, mert még az AC-DC átalakítást végző egyenirányítók veszteségével kalkulálva is hatékonyabb a generátor.

²⁴ A legtöbb napelem szilíciumkristályokból növesztett „üveg” panel, amelyek jelentős tömegük miatt alkalmatlanok a terepen történő használatra. A vékonyfilm technikával készülő flexibilis napelemek más félvezetőkre épülnek és a hatásfokuk egyelőre alacsonyabb [18].

²⁵ A „fotovillamos” angol betűszavából (PV – Photo Voltaic) kialakult közkeletű elnevezése a napelemeknek.

A rendszer része a generátort rejtő méretes hátizsák is, amelynek cipelése mellett más felszerelésnek már nemigen jut hely, így az energiatermelésnek sincs túl sok értelme.

Megállapítható, hogy szükséges a villamos energia helyi, harci körülmények között történő előállításának kutatása, de *a terepi villamos energia előállító módszerek nem képesek sem az akkumulátorok teljes kiváltására, sem azok megbízható, minden körülmények között történő töltésének biztosítására.*

Az akkumulátorok energiasűrűségének növelése

Amennyiben az akkumulátorok energiasűrűségét sikerülne radikálisan megnövelni, azzal jelentősen csökkenhetne azok mérete és tömege is az alkalmazás során. Ez a mobil kommunikációs és számítástechnikai eszközök, illetve nem utolsósorban a villamos hajtású közlekedési eszközök miatt²⁶ olyan fontosságú terület manapság, hogy a vezető multinacionális cégek egészen elképesztő összegeket költenek minden évben az ezzel kapcsolatos kutatásokra. Ez egyben azt is meghatározza, hogy míg korábban sokszor a hadseregek voltak a technológiai haladás úttörői, mára, legalábbis ezen a területen, néhány kivételtől eltekintve a legtöbb ország védelmi költségvetése egyszerűen nem teszi lehetővé, hogy a hadseregek vezető szerephez jussanak a fejlesztésekben.

A jelen és a belátható jövő akkumulátor-technológiája szinte teljes egészében a lítiumra épül, az elektrolit mindig lítium-ion, jellemzően LiPF_6 [25], a katód pedig minden esetben valamilyen lítium-vegyület. Azt is gondolhatnánk, hogy ez nem jelent túl nagy mozgásteret a fejlesztésben, de nem így van. A két elektróda optimális anyagának kialakítása mára önálló fejezet az anyagkutató-sokon belül. Ennek ékes példája, hogy míg a kilencvenes évek közepén a lítiumos akkumulátorok katódja az esetek mintegy 95 %-ában lítium-kobaltdioxid (LiCoO_2), 5 %-ban pedig lítium-mangántetroxid (LiMn_2O_4) volt, addig mára ezek együttes aránya sincs 50 % és már jelenleg is legalább féltucatnyi versenytárs technológia elérhető és még továbbiak állnak fejlesztés alatt [25].

Az anód vonatkozásában a kilencvenes években még csak kb. az eszközök 80 %-a épült a szén valamilyen formájára, mára ez szinte egyeduralgódóvá vált, ugyanakkor a szénen belül jelentősen előretörték a mesterséges grafit szerkezetek, még annak ellenére is, hogy természetes grafitnál nincs olcsóbb megoldás [25]. Érdekes, hogy újabban általános vélekedés szerint a szénre alapuló anódtechnikában már nincs jelentős fejlesztési potenciál, így ismét a már régről ismert fém-oxidoktól (kobalt, réz és vas), illetve a lítium ötvözetektől remélnek megújuló fejlődési lehetőséget.

Jelenleg két olyan technológia van az érdeklődés középpontjában, amelyek ha eljutnak a kereskedelmi forgalmazásig – mégha igazi áttörést nem is hoznak – jelentős lökést adhatnak az akkumulátort használó eszközök újabb generációinak. Régóta ismert tény, hogy a lítium oxidációja során is jelentős energia szabadul fel. Mivel az katód ilyenkor lehet a levegő oxigénje is, az akkumulátor tömegéből lényegében csak az anód jelentkezik teherként, így az energiasűrűség három-

²⁶ A tisztán villamos hajtás az akkumulátorok kis energiasűrűségéből adódó korlátozott hatótáv miatt manapság még ritka, de a gépjárműveknél már jól ismert hibrid meghajtás újabban megjelent pl. a helikoptereken is [24].

ötszöröse is lehet a korábbiakhoz képest (lásd a táblázatban). Újratöltéskor az oxidból ismét fém keletkezik, de a mellékreakciók során a lítium is veszít a tömegéből. A szénelektrodás lítium-ion akkumulátoroknál a keletkező lítium-karbid mennyisége csupán ezrelékekben mérhető, de a lítium-levegő változatoknál még százalékos a veszteség nagyságrendje, így a jelenlegi példányok élettartama csupán néhány ciklus [26]. A megoldás érdekében szerves elektródákkal és katalizátorokkal kísérleteznek.

	anyag/technológia	elméleti maximális energiasűrűség	
		térfogatarányos	tömegarányos
	alkálielemek	~100 Wh/l	~150 Wh/kg
Villamos akkumulátorok	ólomsavas (Pb-acid)	~40 Wh/l	~25 Wh/kg
	nikkel-kadmium (NiCd)	~150 Wh/l	~100 Wh/kg
	nikkel fémhidrid (NiMH)	~300 Wh/l	~150 Wh/kg
	lítium-ion (Li-ion)	~650 Wh/l	~250 Wh/kg
	lítium polimer (Li-polymer)	~700 Wh/l	~250 Wh/kg
	lítium ferfoszfát (LiFePO ₄) ²⁷	~200 Wh/l	~100 Wh/kg
	lítium-levegő	~2.000 Wh/l	~1.700 Wh/kg
	lítium-kén	~1.500 Wh/l	~1.000 Wh/kg
Fosszilis 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

1. sz. táblázat: különféle tüzelőanyagok és akkumulátorok energiasűrűsége

A másik reménység a lítium-kén kombináció, amelyről szintén régóta ismert, hogy az elméleti energiasűrűsége jóval meghaladja a lítium-ionét (lásd a táblázatban), de a hagyományos szerkezetek mellett a kicsi a terhelhetőségük és rövid élettartamuk miatt mostanáig nem voltak használatosak. A megoldást a nanokompozit anyagok jelenthetik [27] és a kezdeti eredmények ígéretek.

Elmondható, hogy az akkumulátorok energiasűrűségének növelésére igen komoly erőfeszítéseket tesznek, és az folyamatosan zajlik, de a fejlődésre nem a nagy áttörések, hanem a lassú haladás a

²⁷ A lítium ferfoszfát akkumulátor csupán egyik fajtája a lítium-ionos típusnak. Azért szerepeltetem külön, mert bár az energiasűrűsége nem tartozik a legjobbak közé, minden más akkumulátornál jobban teljesít nagy hidegben. Amíg -30 °C-on egy átlagos lítiumos akkumulátor a szobahőmérsékleten mért kapacitásának akár több, mint 90 %-át is elvesztheti, a lítium-ferfoszfát akkumulátoroknál ez az arány jóval kedvezőbb, 40-50 %. Általában véve is egy igen robusztus technológia, ezért gyakori a katonai alkalmazása.

jellemző. Ezt jól példázza, hogy a mobil villamos energiaforrásokat leginkább igénylő mikroelektronika szédületes fejlődési üteméhez képest a lítiumos akkumulátoroknak 20 év kellett ahhoz, hogy az átlagos energiasűrűségük megháromszorozódjon [25]. *Mivel az akkumulátorok energiasűrűségének növekedése a belátható időn belül lassú marad, nem várható, hogy képes lesz tartani a villamos energia iránti igény növekedésének ütemét.*

Új technológiák az akkumulátorok kiváltására

A villamos energiát elvben sokféle egyéb energiává átalakíthatjuk és tárolhatjuk (lendkerék mozgási energiája, hőenergia, stb.), de ezen transzformációk hatásfoka olyan csekély, hogy csak mint elméleti lehetőséget említem. A gyakorlatban jelenleg mindösszesen egyetlen olyan eljárás létezik a villamosság tárolására, ami akár csak elvben is versenyképes lehet a lítiumos akkumulátorokkal szemben, ez pedig az üzemanyagcella, pontosabban a hidrogéncella.

Tulajdonképpen minden olyan eszközt üzemanyagcellának nevezünk, ahol a villamosság forrása egy anyag égés nélküli oxidációja [28]. A korábban említett lítium-levegő akkumulátor csak azért nem tekinthető üzemanyagcellának, mert ez utóbbiak további fontos jellemzője, hogy a kémiai reagenseket kívülről táplálják be, a keletkező vegyületeket pedig elvezetik, így az akkumulátorokkal szemben nem „merülnek le”, folyamatos üzemanyag betáplálás mellett elvben bármennyig képesek áramot szolgáltatni – akár egy aggregátor.

Léteznek hagyományos energiahordozókkal működő üzemanyagcellák is, de a legnagyobb jövő jelen állás szerint a hidrogéncellák előtt áll, mivel igen jó a hatásfokuk, nem bocsátanak ki káros anyagokat, és a folyamat reverzibilis, vagyis elvben valóban képesek helyettesíteni a hagyományos akkumulátorokat.

Két évszázada tudott, hogy villamos egyenárammal a víz alkotóelemeire, hidrogénre és oxigénre bontható, amelyeket később egyesítve ismét vizet és villamosságot nyerhetünk. Ez a folyamat már az 1800-as évek első felében is ismert volt és többen is alkottak pl. foszforsav felhasználásával üzemanyagcellákat, de a technológia a múlt század 70-es évtizedéig nem lépett ki a laboratóriumok falai közül, míg meg nem született a protoncsere membrános cella²⁸.

Az elvi működése igen egyszerű. A hidrogén-molekulákat az anódra, az oxigént a katódra vezetik, ez utóbbi elvben lehet a levegő oxigénje is (tehát a víz bontásakor elég a hidrogént tárolni). A kettőt elválasztó elektrolitban található katalizátor segítségével a hidrogént protonokra és elektronokra bontják. A protonok egyszerűen átáramlanak az elektroliton és egyesülnek az oxigénnel, de az elektronoknak egy külső vezetőn, és a katódon keresztül kell ide eljutniuk, miközben munkát végeznek [28].

A technológia néhány szegmensben már jelenleg is piacképes alternatíva lehet, többek között már Magyarországon is több cellás rádióhálózat használ hidrogéncellákat a szünetmentes áramellátás biztosítására [29], illetve Németország jelentős piaci sikereket ért el a hidrogéncellás U-212 típusú tengeralattjárójával [30]. A hidrogén energiasűrűsége imponáló (lásd a táblázatban), ahhoz

²⁸ A magyar szakirodalomban is egyre gyakrabban nevezik PEM-cellának a protoncsere membrán angol betűszava után (Proton Exchange Membrane).

azonban, hogy az egy ember által hordozható eszközökben (így a gyalogos katonák felszerelésében) is megjelenhessen, még számos nehézséget kell leküzdeni. A hidrogén a kis molekulamérete miatt rendkívül illékony gáz, szinte lehetetlen olyan zárt rendszert készíteni, amiből ne szökne meg egy kevés. Az elillanó gáz pedig nem csak veszteséget jelent, de a levegő oxigénjével keveredve egy nagyon veszélyes elegyet, ún. „durranógázt” is alkot. További probléma, hogy kis méretekben a PEM-cella nem tud az akkumulátorokkal összemérhető áramerősséget produkálni, mert a membrán felülete kicsi, illetve a hidrogén ionizálására felhasznált platina igen ritka és drága fém. Végezetül azt is figyelembe kell venni, hogy az üzemanyagcellákhoz használatos anyagok nem NATO szabványos üzemanyagok, így az esetleges alkalmazásukhoz új logisztikai ellátási láncot kell kiépíteni.

A nehézségek ellenére az üzemanyagcellák kutatása napjainkban megélénkülni látszik, és ezen a területen a védelmi szféra is aktív szereplő, aminek részben az is lehet az oka, hogy az akkumulátorok fejlesztése nem képes lépést tartani a növekvő elvárásokkal. A megfelelő méretű membránfelület kialakításához a nanotechnológiát (konkrétan a nanocsöveket) hívták segítségül, a platina kiváltására pedig számos elemmel, a szintén nem olcsó aranyon, ezüstön és palládiumon túl, higanyal és rézzel is kísérleteznek.

Mások mellett a Nobel-díjas magyar származású Oláh György kémikus munkásságának köszönhetően alkották meg a metanolt használó regeneratív üzemanyagcellákat [32], melyek szintén jó hatásfokkal lehetnek képesek villamos energiát tárolni. Bár ez a fejlesztés még nem piacképes, a szakértők sokat várnak tőle, mert lényegesen olcsóbb és egyszerűbb lehet a hidrogéncellás rendszereknél. Amennyiben a fejlesztések sikerrel járnak – és erre mutatkozik némi reális esély – *az üzemanyagcella hosszabb távon lehetséges alternatívává válhat az akkumulátorokkal szemben.*

MENEDZSMENT, SZABVÁNYOSÍTÁS

A NATO szabvány-dokumentumai az ún. STANAG²⁹-ek számos esetben (közúti járművek, tengeralttjárók, stb.) részletesen specifikálják az akkumulátorokkal szembeni követelményeket, de a gyalogos katona viszonylatában még nem született ilyen szabvány. Ennek megalkotása azonban alighanem elkerülhetetlen, mert a gyártók – nyilvánvaló piaci érdekektől vezérelve – saját termékeikhez saját akkumulátoraikat gyártják és forgalmazzák. Ennek köszönhetően sajnos ma még előfordulhat, hogy egy katona még be sem kapcsolta a valamelyik eszközét, míg egy másikhoz már lemerítette a tartalék akkumulátorait is.

Tehát ahogy a fogyasztói piac nyomására a háztartási elektronikai eszközökbe szánt elemek-akkumulátorok már rég szabványosításra kerültek, úgy meg kell születessen a gyalogos katonák által használandó eszközök akkumulátorainak NATO-szabványa is. Természetesen a különféle akkumulátorokhoz különféle töltők vannak mellékelve a gyári készletekben, ami jelenleg csak további felesleges bonyolítása az eszközök üzemeltetésének.

²⁹ STANAG – STANdardization AGreement, azaz szabványosítási megállapodás. Olyan katonai szabvány, amelyet minden NATO tagország védelmi minisztere jóváhagy, és alkalmazását kötelezővé teszi az ország hadereje számára.

A szabványosítás révén lehetővé válna, hogy a katona menedzselhesse a magánál hordott villamos energiát, az aktuális helyzetnek megfelelően átcsoportosíthassa az elérhető energiamennyiséget. Egyszerűsödhetne a logisztika üzemen tartási tevékenysége is, hiszen elég lenne egy vagy két fajta töltőberendezés használata. Érdekes módon az Egyesült Államok Védelmi Minisztériuma által finanszírozott kutatás [33], gyakorlatilag csak a fosszilis üzemanyagokkal kapcsolatos célkitűzéseket határozza meg, holott a legtöbb villamos eszközt valószínűleg épp az USA lövészkatonái használják. Jóval részletesebb az ausztrál védelmi tárca kiadványa, ahol mind a szabványosítás, mind az energia-menedzsment harctéri lehetősége megfogalmazódik igényként [34]. A NATO tudományos és technológiai szervezete az STO³⁰ technikai jelentésében [35] egész konkrétan a megoldandó feladatok közé sorolja, a védelmi ipar rászorítását a harctéri akkumulátorok szabványosítására. Az EDA³¹ Energia és Környezet Munkacsoportja is dolgozik hasonló ajánlások megfogalmazásán, de ez a szervezet csupán független tanácsadó és konzultációs tevékenységet folytat, így a megállapításaik még a tagországok számára sem kötelező érvényűek.

ÖSSZEGZÉS

A fentiek alapján megállapítható, hogy jelenleg nem létezik olyan technológia, amely jelen formájában vagy a vélelmezhető fejlesztések nyomán önmagában képes lenne megoldást nyújtani a gyalogos katonák növekvő villamos energia szükségleteinek biztosítására. Egyetlen penetráns technológia hiányában valószínű, hogy a belátható jövőben a cikkben említett valamennyi megoldás tovább fog élni, és az adott pillanatnyi igényeknek megfelelő kombinációkban kerülnek alkalmazásra. Az akkumulátorok továbbra is a gerincét képezik majd a harctéri villamos energetikának és nélkülözhetetlen részei maradnak a gyalogos katonák felszerelésének. Éppen ezért az energiasűrűségük növelése is várhatóan nagy erővel folyik majd. Nagy szükség van a szabványosításukra is, hogy megvalósulhasson az egyszemélyes villamos energia-gazdálkodás a katonai műveletek során. Figyelmet kell fordítani a fogyasztás csökkentésére is és amennyiben lehetséges, meg kell vizsgálni az akkumulátorok terepi töltésének lehetőségét illetve kiváltását is.

A multitöltő koncepciója

Jelen cikk írója a Honvédelmi Minisztérium Védelemgazdasági Hivatalának kötelékében működő Kutatási, Fejlesztési és Tudományos Osztály³² munkatársa. Ebben a minőségében, előljárói támogatásával módja nyílt arra, hogy a Honvédelmi Minisztérium 2016. évi kutatási tervkötetében szereplő feladat keretében koordinálhassa egy olyan eszköz kifejlesztését, amelynek ötlete a jelen

³⁰A NATO 1996-ban alapította meg a franciaországi Neully-Sur-Seine-i székhellyel az STO (Science and Technology Organization – Tudományos és Technológiai Szervezet) és az RTO (Research and Technology Organization – Kutatási és Technológiai Szervezet) nevű háttérintézményeit, melyek célja a NATO technikai tudományos és kutatási tevékenységének vezetése, koordinálása.

³¹European Defence Agency – Európai Védelmi Ügynökség. 2004-ben brüsszeli székhellyel megalakult védelmi tanácsadó és konzultációs szervezet. Minden, akár NATO-n kívüli, európai ország képviselheti magát ülésein és részt vehet a közösen finanszírozott kutatásokban. Elvben független európai intézmény, de tevékenysége erősen kötődik az Európai Bizottsághoz.

³²A hazai katonai kutatás-fejlesztés hajdan volt neves képviselője, a Haditechnikai Intézet (HTI) többszöri átszervezés után megmaradt jogutódja.

cikkben leírt gondolatok nyomán született, és amely átmenetileg enyhíthetné az akkumulátorokkal kapcsolatos fejlesztésének lassúsága nyomán kialakult villamos energiaigényt a gyalogos katonáknál.

Az egyelőre univerzális harcászati akkumulátortöltő névre keresztelt eszköz funkcióját tekintve alkalmas kell legyen, minden a gyalogos katonák felszerelésben szereplő rendszeresített akkumulátor töltésére, méghozzá a gyártó által előírt töltési karakterisztikának megfelelően. A töltési karakterisztikát memóriájában tárolja, így újabb típusú akkumulátorok rendszeresítésekor a megfelelő csatlakozók legyártásával és a szoftver frissítésével adaptálható azokhoz. A töltéshez áramforrásként harcérrintkezés lehetősége esetén bármely más taktikai akkumulátort, továbbá nyugalmi időszakban napelemet, gépjármű fedélzeti villamos hálózatot vagy épületek, táborok villamos hálózatát illetve sokféle ad-hoc villamos forrást, valamint ezek optimális kombinációját is képes használni. Amennyiben egy akkumulátor sürgős feltöltése elkerülhetetlen, egy ún. „vészhelyzeti üzemmód” lehetőséget adna arra, hogy azt a töltési karakterisztikától függetlenül, maximális töltőárammal töltse, még akkor is, ha az az akkumulátor élettartamának csökkenésével jár.

Folyamatos üzemre tervezve rajonként valószínűleg elégséges lenne egyetlen eszköz rendszeresítése, így az általa jelentett plusz tömeget és térfogatot kompenzálná a villamos energia menedzsment megvalósíthatósága, ami viszont – azonos autonóm tevékenységi időt feltételezve – kevesebb akkumulátor málházását tenné szükségessé.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Larry Rian Radka: A Short History of Ancient Electricity. *Einhorn Press*, sine dato, http://www.bibliotecapleyades.net/ciencia/ciencia_hitech05.htm (a letöltés ideje: 2016. 04. 09)
- [2] Cristopher D. Rahn, Chao-Yang Wang: *Battery Systems Engineering*, Wiley, Chicester, 2013
- [3] Judah Ginsberg: A National History Chemical Landmark. *American Chemical Society*, September 27, 2005, <http://www.acs.org/content/dam/acsorg/education/whatischemistry/landmarks/drycellbattery/columbia-dry-cell-battery-historical-resource.pdf> (a letöltés ideje: 2016. 04. 07)
- [4] Isidor Buchmann: When Was the Battery Invented? *The National Association of Amateur Radio*, sine dato, <http://www.arrl.org/when-was-the-battery-invented> (a letöltés ideje: 2016. 04. 09)
- [5] Donald E. Garrett: *Handbook of Lithium and Natural Calcium Chloride*, Elsevier Academic Press, 2004
- [6] Paul Scherrer Institut: Memory-Effekt auch bei Lithiumionen-Batterien. *Pro-physik*, 2013 április, 13 http://www.pro-physik.de/details/news/4597171/Memory-Effekt_auch_bei_Lithiumionen-Batterien.html (a letöltés ideje: 2016. 04. 09)
- [7] Amy Fan, Joseph Tsai: Samsung, LG to release flexible display-equipped smartphones in 2H14, says report. *Digitimes*, 26 June 2014, <https://web.archive.org/web/20140629140041/http://www.digitimes.com:80/news/a20140626PD212.html> (a letöltés ideje: 2016. 04. 09)

- [8] Háber Péter: Az aszimmetrikus hadviselés növekvő jelentősége. *Hadmérnök*, 1 (2013), 328-338.
- [9] Márkus Ferenc: A gyalogos lövészkatonára egyéni harcászati felszerelésének modernizálási lehetőségei a Magyar Honvédségben. *Seregszemle*, 2-3 (2013), 7-21.
- [10] Cifka Miklós: A jövő gyalogos katonája: kézfegyverek. *SG.hu*, 2005 március 17, <https://sg.hu/cikkek/36044/a-jovo-gyalogos-katonaja-kezfegyverek> (a letöltés ideje: 2016. 04. 09)
- [11] Alexandra Hemmerly-Brown: Soldiers deploying to Afghanistan to get new MultiCam uniforms, boots, gear. *www.army.mil*, March 2, 2010, <http://www.army.mil/article/35184> (a letöltés ideje: 2016. 04. 09)
- [12] Barb Ruppert: Robots to rescue wounded on battlefield. *www.army.mil*, November 22, 2010, <http://www.army.mil/article/48456/robots-to-rescue-wounded-on-battlefield> (a letöltés ideje: 2016. 04. 09)
- [13] Marques Chavez: Exoskeleton enhances Warfighter strength, reduces injury. *www.army.mil*, January 6, 2011, <http://www.army.mil/article/50144/exoskeleton-enhances-warfighter-strength-reduces-injury> (a letöltés ideje: 2016. 04. 09)
- [14] AK-63F gépkarabély modernizáció. *Arzenál*, sine dato. <http://www.hmarzenal.hu/vedelmi-ipar/ak-63f-gepkarabely-modernizacio.html> (a letöltés ideje: 2016. 03. 17)
- [15] Keith Johnson: Fighting Form: Military Takes On Battery Fatigue. *The Wall Street Journal*, June 18, 2012, <http://www.wsj.com/articles/SB10001424052702304371504577405982280891076> (a letöltés ideje: 2016. 04. 09)
- [16] Haig Zsolt: Az információs hadviselés, vezetési hadviselés, mint a XXI. század új hadviselési formája, *Nemzetvédelmi Egyetemi Közlemények*, 2 (1998), 231-248
- [17] Martin Fuechsle, Jill A. Miwa, Suddhasatta Mahapatra, Hoon Ryu, Sunhee Lee, Oliver Warschkow, Lloyd C. L. Hollenberg, Gerhard Klimeck, Michelle Y. Simmons: A single-atom transistor. *Nature Nanotechnology*, 19 February 2012, <http://www.nature.com/nano/journal/v7/n4/full/nano.2012.21.html> (a letöltés ideje: 2016. 04. 10)
- [18] Végvári Zsolt: A LED-ek alkalmazásának lehetőségei a Magyar Honvédségben. *Katonai Logisztika*, 1 (2015), 133-162
- [19] Végvári Zsolt: A megújuló villamos-energiaforrások felhasználásának lehetőségei harctéri körülmények között. *Hadmérnök*, 1 (2016), 41-55
- [20] Battery Cell Comparison. *EPEC*, sine dato. www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html (a letöltés ideje: 2015.11.01)
- [21] 1kW multi fuel generator. *U.S. ARMY Communications-electronics Research, Development and Engineering Center*, 24 November, 2015, http://www.cerdec.army.mil/news_and_media/1_Kw_Multi_fuel_Generator (a letöltés ideje: 2016. 04. 10)
- [22] Debra Bathmann: Army deploys innovative battery-recharging kit. *www.army.mil*, August 2, 2010, <http://www.army.mil/article/43176/army-deploys-innovative-battery-recharging-kit> (a letöltés ideje: 2016. 04. 10)
- [23] Jeff Sisto: Soldiers of the future will generate their own power. *www.army.mil*, November 17, 2014, http://www.army.mil/article/138057/Soldiers_of_the_future_will_generate_their_own_power (a letöltés ideje: 2016. 04. 10)

- [24] Jason Ford: Hybrid propulsion for helicopters, *Engineer*, 10 June, 2010, <https://www.theengineer.co.uk/hybrid-propulsion-for-helicopters> (a letöltés ideje: 2016. 04. 16)
- [25] Gianfranco Pistoia (Eds): *Lithium-Ion Batteries Advances and Applications*, Elsevier, Amsterdam, 2014
- [26] Muhammed M. Ottakam Thotiyl, Stefan A. Freunberger, Zhangquan Peng, Yuhui Chen, Zheng Liu, Peter G. Bruce: A stable cathode for the aprotic Li–O₂ battery, *Nature*, 18 March 2013, <http://www.nature.com/nmat/journal/v12/n11/full/nmat3737.html> (a letöltés ideje: 2016. 04. 17)
- [27] Min-Kyu Song, Yuegang Zhang, Elton J. Cairns: A Long-Life, High-Rate Lithium/Sulfur Cell: A Multifaceted Approach to Enhancing Cell Performance, *Nano Letters*, November 9, 2013, <http://www2.lbl.gov/Tech-Transfer/publications/2013-099pub.pdf> (a letöltés ideje: 2016. 04. 17)
- [28] Gregor Hoogers (Eds): *Fuel Cell Technology Handbook*, CRC Press, London, 2003
- [29] Mayer Zoltán, Kriston Ákos: Hidrogén és metanol gazdaság, *Digitális tankönyvtár*, 2012, http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0017_31_hidrogen_es_metanol/ch02s04.html (a letöltés ideje: 2016. 04. 18)
- [30] Szűr Zoltán: Az U 212 osztályú üzemanyagcellás tengeralattjáró 1-2 rész. *Haditechnika*, 2-3 (2005), 17-20, 20-22
- [31] Detlef Stolten, Bernd Emonts (Eds): *Fuel Cell Science and Engineering*, Wiley-VCH, Weinheim, 2012
- [32] George A. Olah, Alain Goeppert, G. K. Surya Prakash: *Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy*, Wiley-VCH, Weinheim, 2006
- [33] *Energy for the Warfighter: Operational Energy Strategy*, USA DoD, Washington, 2011.
- [34] Brendan Sims: *Land 125 – Power Technologies Review*, Australian Government DoD, Edinburgh, 2012.
- [35] *Fuel Cells and Other Emerging Manpower Power Technologies for the NATO Warfighter*, NATO Science and Technology Organization, Neully-Sur-Seine, 2014