

VÉGVÁRI Zsolt

vegvari.zsolt@hm.gov.hu

A MEGÚJULÓ VILLAMOS-ENERGIAFORRÁSOK FELHASZNÁLÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI HARCTÉRI KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT

Absztrakt

Napjainkban a megújuló energiaforrások használata a civil szférában már nem számít újdonságnak. Bár arányuk a hagyományos fosszilis energiahordozókhoz képest jelenleg még nem számottevő, várhatóan rövid- és hosszútávon is nőni fog a hasznosítás mértéke. Gazdasági érdekektől vezérelve, és részben a társadalmi elvárásoknak való megfelelési kényszer miatt a megújuló energiaforrásokat hasznosító technológiák fokozatosan megjelennek a védelmi szférában is, de a tényleges műveleti területen történő alkalmazásukra még kevés példa van. Annak érdekében, hogy a fegyveres erők a béke elhelyezési körleteiktől távolabb is ki tudják használni ezeket a tiszta és lényegében kimeríthetetlen forrásokat, részletesen meg kell vizsgálni őket. Mely fajták kellően mobilisak a műveleti területen történő felhasználáshoz, milyen előnyöket kínálnak, és mik az alkalmazásuk korlátai.

Nowadays using renewable energy sources in the civilian sector is no longer a novelty. Although their proportion compared to traditional fossil fuels are not significant, usage will increase expectably in the short and also in the long term. Guided by economic targets, and because of the compulsion to conform to the social expectations renewable energy technologies will gradually appear in the defence sector too, but there is only a few examples for their application in operational areas. To ensure whether armed forces were able to use these clean and essentially unexhaustible resources far from their peace-time barracks, it's necessary to consider them in detail. Which kinds are mobile enough to use them in operational areas, what benefits do they offer and what are the limitations of their usage.

Kulcsszavak: *megújuló-energiaforrások, műveleti terület, napenergia-rendszerek, szélgenerátor ~ renewable energy sources, operational area, solar system, wind generator*

BEVEZETÉS

A közelmúlt háborús eseményei is bizonyították, hogy bár a levegőből hatékonyan lehet pusztítani az ellenséges haderőt, továbbra is szükség van a lövészkatonákra. A lövész fegyvernem fejlesztése ezért minden modern hadsereg egyik fő célja. A tapasztalat ugyanakkor azt mutatja, hogy a jelenleg használt technológiák számos esetben már nem rendelkeznek jelentős fejlesztési potenciállal. Erre kézenfekvő példa a kézi lőfegyver. Hatalmas költségek árán is csak minimális mértékben lehetett növelni a pontosságukat vagy csökkenteni a tömegüket a második világháborús eszközökhöz képest.

A hagyományos fejlesztési lehetőségek szűkülése okán általános tendenciának tekinthető, hogy a hadseregek új képességek biztosításával igyekeznek a lövész alegységek hatékonyságát növelni. Az új képességek szinte minden esetben valamilyen új eszköz rendszeresítését jelentik, így az utolsó kb. két évtizedben jelentősen bővült a katonák személyi felszerelése. Mára alapvető eszköz a harcászati rádió, amit legalább alegységszinten kiegészít egy alternatív (pl. műholdas) kommunikációs eszköz. Alapfelszerelés a GPS, az éjjellátó készülék vagy éjszakai irányzék, az improvizált robbanóeszközök ellen védelmet nyújtó zavaró-berendezés, és a lézeres célmegjelölő is. Ezen eszközök egyik fontos közös jellemzője, hogy működtetésükhöz villamos áram szükséges. Sajátos módon a közeli és a távolabbi jövő haditechnikai eszközei is szinte mind villamos energiát használnak. Egyes hadseregek kísérleti szinten már alkalmaznak taktikai drónokat és harctéri roboteszközöket, továbbá léteznek már működő exo-skeletonok, [1] illetve energiafegyverek [2] is (railgun). A belső égésű motorokat is szinte minden paraméterében felülmúlja a villanymotor, tömeges elterjedését jelenleg már csak az akkumulátor-technológia korlátozza.

Az elmondottak alapján nyilvánvaló, hogy a villamos energia biztosítása már most is kulcskérdés a lövész alegységek számára, és a terület jelentősége a belátható jövőben valószínűleg még tovább fog nőni. A megfelelő mennyiségű villamos energia biztosítása érdekében minden lehetséges megoldást számba kell venni. E tekintetben megkerülhetetlen a megújuló energiaforrások beható vizsgálata is, hiszen szinte mindenütt jelen vannak valamilyen formában, ingyen vannak (bár ez természetesen nem igaz a hozzáférést biztosító technológiákra) és még a környezetet sem terhelik.

A VILLAMOS ENERGIA SZEREPE A FEJLESZTÉSEKBEN

Katonai felhasználásnál rendkívül fontos az eszközök mobilitása, ezért a szükséges villamos energiát minden esetben akkumulátorok biztosítják. Jellemző adat a jelenlegi energiaigényre, hogy a Magyar Honvédegnél nemrégiben korszerűsített harcjárműveknél külön akkumulátorokat kellett beépíteni az új fedélzeti elektronikus rendszerek részére. Ugyanis álló helyzetben működtetve azokat, akár félóra alatt annyira lemeríthették a harcjármű saját akkumulátorát, hogy azt nem lehetett beindítani. [3] A gyalogos katonáknál az elvárt háromnapos autonóm ténykedéshez a felszerelés tömege hadseregektől, évszaktól és feladattól függően 30–50 kg között mozog, [4] és ebből akár 5–10 kg is lehet az akkumulátor.

Jelenleg a civil életben is minden hálózattól független (mobil) elektronikus eszköz működési idejét is erősen korlátozza a rendelkezésre álló akkumulátor-technológia. Azt, hogy mennyi energiát vagyunk képesek magunkkal vinni, az energiasűrűség határozza meg. A jelenlegi legkorszerűbb, valamilyen lítiumos technikát használó akkumulátorok energiasűrűsége meghaladja a 300 Wh/kg-ot, vagyis egy 1 kg-os akkuban 300 Wh energia tárolható. [5] Ez tízszerese a hagyományos savas ólomakkumulátorok hasonló értékének, de még mindig jelentősen elmarad a szénhidrogénektől (a benziné például minőségtől függően akár 12 kWh/kg is lehet). A legjobb megoldás vitathatatlanul az lenne, ha az akkumulátorok energiasűrűségét

számottevően növelhetnénk, de e tekintetben nem várható jelentős áttörés, csak folyamatos, de viszonylag lassú fejlődés. Bár csekély mozgásteret enged, rövidebb távon hasznos lehet az akkumulátorok szabványosítása, csereszabattossá tétele is, de belátható időn belül nincs más mód a szükséges energia biztosítására, minthogy meg kell oldani az akkumulátorok töltését harctéri körülmények között is.

Gépkocsik, harcjárművek esetén bármilyen kisebb villamos eszköz töltését biztosítani lehet a jármű fedélzeti elektromos rendszeréről, azonban mivel a generátort a motor hajtja, ez többlet tüzelőanyag-fogyasztással jár, így korlátozza a jármű hatótávját, illetve az üzemidejét. Települt alegységek esetében szinte kizárólag aggregátorokat használnak villamos áram termelésére. Vannak próbálkozások, hogy létrehozzanak gyalogos katonák által is szállítható vagy hordható, [6] kisméretű áramfejlesztőket, de ezek rendszeresítéséről nincs információ, vélhetőleg a nagy zaj, hőterhelés, illetve a rossz hatásfok miatt nem vezettek eddig eredményre ezek a kutatások.

A villamos energia aggregátoros előállításával kapcsolatban problémaként jelentkeznek az ellátás logisztikai nehézségei, a tüzelőanyag ára, és a környezeti terhelés. Katonai műveletek tervezése során nem elsődleges szempont sem az ár, sem a környezetvédelem, bár a fenntartható védelem szempontjából nem is elhanyagolhatóak, de a megújuló energiaforrások olyan képességet is biztosíthatnak a harcoló katonák számára, ami valós taktikai előnyt is jelent. Minden katonai művelet achilles-ina az utánpótlás. Az Egyesült Államok 2008-ban az Iraki és afganisztáni műveletei során közel 4 milliárd liter üzemanyagot [7] égetett el, ennek jelentős részét villamos energia termelésére használva, amelyet szállító konvojok vittek a rendeltetési helyére. Az ilyen konvojok kísérete a hasonló műveletek egyik legveszélyesebb feladata. Az USA az iraki és afganisztáni összes veszteségeinek 40%-át konvojkíséret során szenvedte el, [7] ami mintegy 1500 halottat és ugyanennyi súlyos sérültet jelent. Ha tehát az energiahordozót nem kellene hosszú és veszélyes úton eljuttatni a táborokba, mert az már ott van, vagy ott előállítható, az emberéletekben is mérhető új képességet jelentene a harcoló alakulatoknak.

A megújuló energiaforrások katonai műveleti területen történő felhasználásának sajnos szinte egyáltalán nincs irodalma, mivel jobbra még csak kísérleti rendszerek léteznek. Természetesen a megújuló energiaforrások jelen vannak a védelmi szférában is, de csak a civil technológiák által. Ezek a megoldások a meglévő vezetékes villamos hálózatra ráépülve nagy biztonsággal alkalmazható kereskedelmi technológiák, amelyek alkalmazásának elsődleges célja az energiaköltségek mérséklése illetve a környezeti terhelés csökkentése. Ebben a kontextusban „civil” felhasználásnak számít a védelmi szférához tartozó béke rendeltetésű épületgépészet is, de azt mindenképp érdemes megemlíteni, hogy a béke időszakbeli felhasználás növekvő tendenciája [8] kedvező alapot szolgáltat a harctéri technológiák megjelenéséhez és későbbi esetleges elterjedéséhez.

A megújuló energiaforrások műveleti területen történő felhasználási lehetőségeinek vizsgálatakor tehát a releváns irodalom hiánya miatt rendhagyó módon el kell tekinteni azok átfogó vizsgálatától. A valós lehetőségek számbavételéhez részben a civil technológiákat bemutató forrásokra kell hagyatkozni, és az ottani információk és technológiák adaptációját kell megpróbálni a speciális katonai környezetre, illetve a már meglévő kísérleti rendszerek (többnyire még nem publikált) üzemeltetési tapasztalatait szükséges elemezni. (Itt fontos megjegyezni, hogy e cikk szerzőjeként munkakörömből adódóan lehetőségem volt számos kísérleti rendszer üzemeltetési dokumentációjába betekinteni, illetve néhányat működés közben testközelből is megismerhettem).

A MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK KATONAI MŰVELETI TERÜLETEN

Mielőtt számba vennék a lehetőségeket, fontos meghatározni, hogy a katonai műveleti területen történő alkalmazás milyen újszerű követelményeket támaszt a technológiával szemben. Továbbra is hangsúlyozni szükséges, hogy ott ahol harc folyik és a katonák élete veszélyben forog, nem élvez prioritást sem a gazdaságosság, sem a környezetvédelem. Fontos viszont, hogy ellenséges területen is legyen megoldható az ellátás logisztikája, az alkalmazott technológia legyen robosztus és megbízható, a kezelés pedig egyszerű. A választott megoldással szemben támasztott lényeges elvárás, hogy kellően mobilis legyen. A személyi felszerelést képező eszköz nyilvánvalóan nem lehet nagy és nehéz, mivel a katonák felszerelésének mozgatása már jelenleg is komoly kihívás a személyi állománynak. A gépjármű-fedélzeti berendezéseknek is határt szab a fizika, azok beépítése nem ronthatja jelentős módon a hordozó eszköz mozgékonyágát és hatótávját. A tábori ellátó eszközöknél is követelmény, hogy a rendszer legyen mozgatható szabványos katonai terepjáró tehergépjárművekkkel, és sem az üzembe helyezés, sem a bontás nem vehet igénybe 1–2 óránál több időt. Végezetül fontos általános elvárás, hogy az alkalmazott technika semmilyen módon nem ronthatja a lövész alegységek egyéb katonai képességeit, így többek között nem befolyásolhatja negatívan a felderíthetőséget.

Egy nem túl szabatos, de igen találó definíció szerint megújuló az az energiaforrás, amiből nem lesz kevesebb, ha használjuk. Ezek a földi bioszférában a következők; a biomassza, a vízenergia, a geotermikus energia, a szélenergia és a napenergia. Egyes szakirodalmak külön említik az ár-apaty, illetve a hullám-energiát, de ennek tárgyalásától már csak geopolitikai okokból is eltekintek, így jelentőségét veszti a kérdés, hogy ezeket kell-e külön kezelni a „hagyományos” vízenergiától.

A biomassza

A biomassza tulajdonképpen egy gyűjtőfogalom, ide tartozik minden szerves hulladék vagy akár tervszerűen létrehozott (termesztett) szerves anyag tömeg, amelyekből vegyi folyamatok által (pl. természetesen erjedés vagy ipari észterezés) folyékony vagy gáz halmazállapotú üzemanyagot állíthatunk elő. Ezek a civil életben is elsősorban gazdasági vagy környezetvédelmi megfontolásból vannak jelen, mivel villamos áramot csak úgy nyerhetünk belőlük, hogy a fosszilis üzemanyagokhoz hasonlóan hőerőgépekben elégetve generátorokat hajtunk meg velük. Ilyen értelemben nem jelentenek a harctereken valós alternatívát a fosszilis tüzelőanyagoknak. Esetleges alkalmazásuk logisztikai szempontból még hátrányos is, hiszen legalább részben új ellátórendszert kellene hozzájuk kiépíteni. Ez ellentétes a NATO azon törekvéssel, hogy egyszerűsíteni igyekszik az üzemanyag-ellátást és a szárazföldi műveletek során, és a továbbiakban csupán egyetlen üzemanyagfajtát, a kerozint szándékozik használni. [9] Ennek fényében a bio-üzemanyagok felhasználása csak abban az esetben képezhetné megfontolás tárgyát, ha a jelenlegi fosszilis energiaforrásoknál nagyobb határfokkal lehetne őket elégetni, de erről nincs szó, még a legnagyobb energiasűrűséggel rendelkező primer energianövényekből, mint a repce is csak a hagyományos dízel kb. 85%-ának megfelelő fűtőértékű [10] üzemanyag állítható elő.

Az olasz haditengerészetnél folyik egy program, amely alapján néhány hajót (a legismertebb az 1500 tonnás *Commandante* osztályú *ITS Foscarini* korvett) már átalakították, hogy dízel helyett növényi származék üzemanyaggal működjenek. A tervszerűen termesztett növényi alapanyagból előállított bio-üzemanyag (az olaszok kategorikusan visszautasítják a „biodízel” kifejezést) teljes mértékben képes kiváltani a hagyományos F76 szabványú NATO haditengerészeti üzemanyagot, de tény, hogy a bio-üzemanyag drágább annál. Ennek ellenére Olaszországban további hajók átalakítását is tervezik, mert az eljárás csökkenti a haditengerészet kőolaj-függőségét, továbbá mivel a növények termesztése és feldolgozása

jelentős mennyiségű kézi munkaerőt igényel, az ország gazdaságilag elmaradottabb déli részén számottevő munkahely jött és jöhet még létre a projekt nyomán.

Geotermikus energia

Katonai alkalmazás szempontjából nyilvánvalóan a geotermikus energia sem jelent használható alternatívát. Ez elég sajnálatos, mert Magyarország nemcsak fosszilis energiahordozókban szegény, hanem például szélenergiában is. Lényegesen jobban állunk a Föld köpenyéből nyerhető energiával. A geotermikus gradiens, ami azt mutatja meg, hogy 100 méterenként lefelé haladva hány °C-al emelkedik a hőmérséklet. Ennek magyarországi átlaga 5–8 °C között mozog, míg a bolygó átlaga csak 3 °C. [11] Sajnálatos módon ez a hőenergia (amennyiben eltekintünk az igen ritka termálvizektől) csak helyhez kötött fúrásokkal, és viszonylag jelentős infrastruktúra hozzáadásával (hőszivattyú) nyerhető ki a földből, ami nyilvánvalóan nem elég mobilis megoldás a művelési területen történő felhasználáshoz. Ennél azonban még nagyobb probléma, hogy jelenleg jobbra csak tisztán hőenergia formájában, fűtési céllal használható fel, villamos energia előállítása csak az igen magas potenciálú helyeken erőművi módszerekkel képzelhető el. [11] Elvileg megvan a lehetőség a hőenergia közvetlen villamos energiává történő alakítására is az ún. Peltier-elemek segítségével, de ezek csupán 1,5–2%-os hatásfokkal működnek, ezért jelen állás szerint a geotermia villamos energetikai felhasználása a katonai művelési területeken minden formában kizárt.

Vízenergia

A víz energiája a legrégebb óta felhasznált megújuló forrása az emberiségnek. A legkorábbi bizonyító erejű leletek kb. 2000 évesek, de a története valószínűleg még messzebbre nyúlik vissza. Jelen tanulmányban csupán a rend kedvéért említem, mivel könnyű belátni, hogy a gyakorlatilag zérus mobilitásával nem felel meg a harctéren elvárt gyors telepíthetőség kritériumának. A villamos energiát ebben az esetben is generátorok állítják elő, csak azokat nem egy belső égésű motor, hanem a lezúduló víz mozgási energiája forgatja. A vízenergia hasznosításának csak statikus, erőművi implementációja ismert, [12] és még a legkisebb változatai (hazai terminológiában törpe, nemzetközi terminológiában mikro vízerőmű) is legalább néhányszor 10kW teljesítményűek. [13]

Magyarország a területéhez képest viszonylag jelentős, kb. 1 GW-nyi elméletben hasznosítható vízenergia-potenciállal rendelkezik, de ennek csaknem háromnegyedét a Duna jelenti. [12] A világ más részein elég gyakori, hogy egy jelentős területű országban (lásd Afganisztán vagy Irak) lényegében csak egy-két elvben használható méretű állandó folyóvíz áll rendelkezésre. Ezeknek megfelelően önmagában az a tény, hogy nagy mennyiségű folyóvíz nem biztos, hogy mindig van, elérhető közelségben biztosan kizárta tenné a víz energiájának művelési területen történő alkalmazását, még abban az esetben is, ha technikailag megvalósítható lenne egy gazdaságosan üzemelő mobil vízerőmű.

Szélenergia

A szél minden bizonnyal a második legrégebbi megújuló energiaforrása az emberiségnek. Egyes források szerint már az időszámításunk utáni 5. században [14] is léteztek szélmalomok a Közel-Keleten, de Európában bizonyítottan a 9. században jelentek meg tömegesen. A szél erejének kihasználása napjainkban a reneszánszát éli. Az iparosodás után a gőzgépek, majd a belső égésű motorok terjedésével szinte teljesen eltűntek a szélmalomok, aztán a múlt század második felében a környezetkímélő villamos-energia előállítással kapcsolatos igények következtében kerültek ismét előtérbe a szél forgatta kerekek. A tipikus modernkori implementációban egy légcavarszerű lapátokkal felszerelt generátort egy viszonylag magas árbocon, egy gondolában helyeznek el. A kisebb típusok többnyire képesek az árbocon tengelye

mentén a teljes gondolával körbeforogni, „irányba állni”, míg a nagyobb, erőművi megoldásokat az uralkodó szélirány figyelembe vételével fixen telepítik. [15]

2014-ben kb. 400 GW volt a világ összes szélerőművének teljesítménye, ami ugyan még 2%-a sincs a világ teljes villamos erőművi kapacitásának, de tendencia, hogy a 80-as évektől kezdődően átlagosan 3–4 évente megduplázódik az így előállított villamos energia mennyisége, így annak részaránya folyamatosan növekszik. [16] Nagy előnye a vízenergiával szemben, hogy ha nem is állandóan, de nagy rendszerességgel azért még a világ szinte bármely pontján elérhető. További előnyös tulajdonsága az ilyen berendezéseknek, hogy teljesítményük elég jól skálázható, bár itt is igaz, hogy a nagyobb berendezések hatásfoka jobb. [15] A világ legnagyobb szélturbinája jelenleg a 80 méteres lapátokkal rendelkező és 8 MW-os *Vestas V164*, [17] míg a legnagyobb teljesítményű szélerőműtelep a 6 GW-os névleges összteljesítményű kínai *Gansu* szélfarm.[18] A másik végletet a házilag is telepíthető 500-1000 W teljesítményű, kis turbinák („szélkerekek”) jelentik. Ilyenek már Magyarországon is kaphatóak, bár elterjedésüknek gátat szab, hogy a teljesítményükhöz mérten viszonylag drágák, így a megtérülési idejük igen nagy. Ehhez az is hozzájárul, hogy Magyarországon alig néhány terület van, ahol a földfelszíntől számított 10–20 méteren van annyi levegőmozgás egy évben, hogy igazán megérje a hasznosításán gondolkodni. Ha a szélturbinákat 100 méter magas árbocokra szerelnénk, már az ország területének közel fele szóba jöhetne, mint lehetséges telepítési hely, azonban ez jelentősen megnövelné egy ilyen beruházás költségeit is. [19]

A szélerőenergia katonai felhasználása

Katonai alkalmazásukra csak maroknyi példa létezik. Ezek minden esetben kísérleti jellegű, és fix tábori berendezések. Mivel a hatékony alkalmazásnak feltétele a minél magasabb árboc, [15] a telepítés minden esetben viszonylag hosszadalmas, vagyis igazán mobil, tehát gépjárművel, vagy emberi erővel mozgatható implementációja nem is lehetséges, de a települt katonai erők villamos ellátásában kiegészítő jelleggel bizonyos körülmények között már alkalmazható.

Számos civil szervezet mellett, mind a NATO¹, mind az EDA² végez villamos-energetikai kutatásokat. Mindkét szervezet létrehozott már egy-egy olyan minta katonai tábort, ahol tesztelik a villamos-energia alternatív előállítás módjait a zord katonai körülmények között. Mindkét táborban egy komplex, a napenergia és dízelaggregátor kettősére épülő rendszer szolgáltatja a villamos energiát, de mindkettő ellátható kiegészítő szélturbinákkal is. Az egyik említett rendszer 2015 nyarán két hétig üzemelt egy Magyarországon megrendezett nemzetközi gyakorlaton³, így lehetőségessé vált, hogy azt testközelből tanulmányozzam. A 15 méteres árboc a stabilitás érdekében egy szabvány 20 lábás konténerhez lett erősítve. A rotor átmérője 4 m, a maximális forgási sebesség 300/min, ekkor a generátor névleges villamos teljesítménye 5 kW. Alkalmazásának célszerűségéről a fejlesztő *Pfisterer* cég sem volt egyértelműen meggyőződve, mint ahogy az sem lehetett véletlen, hogy a többi cég hibrid rendszere egyetlen más esetben

¹ A NATO-n belül a NATO brüsszeli Európai Főhadiszállásán az ESCD (Emerging Security Challenges Division – Újszerű Biztonsági Kihívások Osztálya), illetve a vilniusi székhelyű NATO ENSEC COE (Energy Security Center of Excellence – Energiabiztonsági Kiválósági Központ) folytat ilyen jellegű kutatásokat.

² Az EDA (European Defence Agency – Európai Védelmi Ügynökség) több kapcsolódó projektet is folytat. Ezek összefogására 2014 szeptembere óta önálló Energy & Environment munkacsoportot hozott létre, amelyben Magyarországot a szerző képviseli. Az EDA kísérleti tábori hibrid áramellátó berendezését a brit BAE szállította és már közel egy éve üzemel Maliban.

³ 2015. június 1-28 között a várpalotai lőtér kerületén került végrehajtásra a Capable Logistician 2015 (CL15) nemzetközi logisztikai interoperabilitási és szabványosítási gyakorlat, ahol a NATO ESCD és NATO ENSEC COE szervezésében egy önálló SE (Smart Energy - „Okos energia”) logisztikai egység is működött. Az egységben több cég is felvonultatta kísérleti hibrid berendezését, amelyek a gyakorlat ideje alatt probléma nélkül szolgálták ki a hozzájuk csatlakozó más logisztikai egységek villamos energia igényét. A gyakorlaton a szerző az SE logisztikai egység műszaki szakértőjeként vett részt.

sem tartalmazott szélgenerátort. A szél által szolgáltatott teljesítményt napi 24 órában folyamatosan monitoroztuk, és annak ellenére, hogy Várpalota környéke Magyarország egyik legszelesebb vidéke, elég gyakran álltak a lapátok és az olykor felélénkülő szél is csak ritkán termelt 1 kW-ot meghaladó energiát.



1. kép: A Pfisterer cég szélturbinája a CL15 logisztikai gyakorlaton.

Az látható, hogy ha a gyalogos katona felszerelésének részeként nem is, de katonai táborok villamos ellátásában alkalmazható a szélenergia, bár szerepe valószínűleg továbbra is marginális marad. A gazdaságossági számítások előtt azonban még figyelembe kell venni néhány további katonai tényezőt is. A magas árbocokon forgó lapátok már messziről láthatóak és egy a tábor elleni támadás során szinte kínálják célként magukat. A forgó lapátok radarkeresztmetszete nagy és mivel messze kiemelkednek a környező sátrak és konténerek közül, könnyen lokalizálhatóvá teszik a katonai tábort a rádiófelderítés számára. Rendkívül zajosak is, és minél több energiát termelnek annál hangosabbak. [15] Ez már nemcsak felderíthetőségi szempontból aggályos, de adott esetben a katonák pihenését is zavarhatja. Biztonsági okokból értelemszerűen nem lehet őket a lakóegységektől távol (a táboron kívülre) telepíteni, viszont egy közepes méretű 4–6 méteres rotorátmérőjű szélgenerátor a maximális teljesítménye közelében üzemelve hangosabb, mint egy dízelmotor.

Napenergia

A nap emberi léptékkel soha ki nem merülő energiaforrás. Magyarországon egy évben minden egyes négyzetméternyi vízszintes felületet átlagosan 1200–1300 kWh energia ér napsugárzás formájában. [20] Ha ezt mind hasznosíthatnánk, azzal egész Európa energiaigényét fedezni tudnánk. A napenergia szempontjából legkedvezőbb Ráktérítő és Baktérítői területeken a napsugárzás energiája akár évi 5–7 MWh is lehet négyzetméterenként.

Nemrégiben még minden magyar hobbikert kötelező kelléke volt az állványra helyezett, feketére festett hordó. A napenergia hasznosításának ezt a legősibb módját valamivel szisztematikusabban megvalósító eszközök a napkollektorok. Nem állítanak elő villamos áramot, de mivel pl. a Bundeswehr már rendszeresített egy olyan tábori zuhanykonténert, ami alaphelyzetben szintén napkollektorokkal fűti a vizet, érdemes rájuk szólni pár szót. A tetőn elhelyezett jó hőelnyelő tulajdonságú csövekben manapság valamilyen fagyálló folyadékot, az esetek többségében glikolt melegít fel a nap. Ha ennek hőfoka átlépi a használati melegvíz-tartályban lévő víz hőmérsékletét néhány fokkal, egy szivattyú keringetni kezdi a fagyállót egy hőcserélőben, ami a tartály vizét melegíti, majd ha a két hőmérséklet kiegyenlítődött, a szivattyú leáll. Derült, meleg nyári napokon a rendszer hatásfoka akár 80% is lehet, de erős fagyban hiába a szikrázó napsütés, alig fog bekapcsolni a szivattyú. [21] Mindezzel együtt egy jól kivitelezett hozzávetőlegesen 10 négyzetméteres kollektor (tartósan rossz idő esetére egy villamos

fűtőszállal megtámogatva) képes egy átlagos családi ház használati melegvíz-igényét kielégíteni.

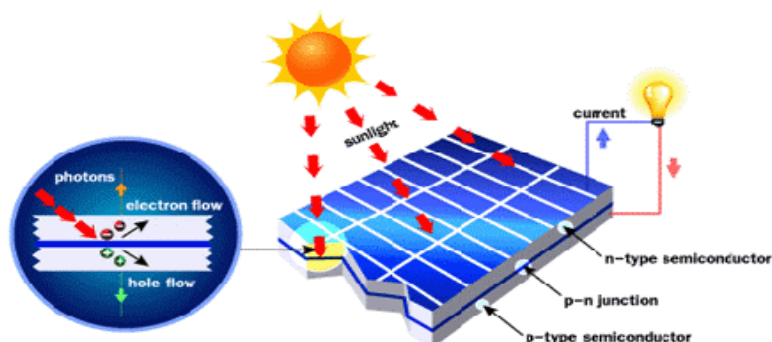
A nap energiáját először a múlt század második felétől épített tükrös rendszerű telepeken használták áramtermelésre. Ezeknél az akár több ezer darabból álló tükrrendszer egyetlen pontba fókuszálja a nap fényét, amely akár több ezer fokra is hevülhet. Az ide keringetett víz egy pillanat alatt gőzzé válik, amivel a hagyományos hőerőművekben megszokottak szerint turbinákon keresztül hajtják meg a generátorokat. A legnagyobb ilyen telepet, az *Ivanpah*-t, a Mojave-sivatagban építették meg. A 1425 hektáron telepített 300 ezer tükrő, 3 vízforralón keresztül 392 MW teljesítményre képes. [22] Természetesen az ehhez hasonló rendszerek tábori alkalmazása sincs napirenden. Hatalmas méreteik és a külön mozgatott számtalan tükrő bonyolultsága miatt ezek a rendszerek valóban csak a másképp nem hasznosítható lakatlan sivatagi területekre valók és nem a harcterekre.

A fotovillamos hatás

Szerencsére létezik egy olyan eszköz is, amelyik közvetlenül képes a nap energiáját villamos árammá alakítani. A napelemek olyan szilárdtest eszközök, amelyekben a fény fizikai és részben kémiai elvek mentén direkt módon létre elektromos áramot. Ez az ún. fotovillamos vagy fotovoltaiikus hatás. Az angol terminológiában a „solar cell”-en kívül igen gyakori a „PV-cell” megnevezés (PV – photovoltaic) is. Általában két egymásra helyezett félvezető – az esetek többségében szilícium – rétegből épülnek fel. A felső, többnyire bórral, galliummal vagy indiummal adalékolt, ún. „P” rétegen a napfény fotonjai viszonylag könnyen áthatolnak, majd az alsó, többnyire foszforral, nitrogénnel esetleg arzénnel adalékolt „N” rétegbe csapódnak. A becsapódó fotonok energiája elektronokat szakít ki az „N” réteg kristályrácsából, amelyek a kialakításnak köszönhetően a felső rétegbe kerülnek és ott negatív töltést hoznak létre, míg alul az elektronhiány miatt pozitív lesz a töltés, így alakul ki a két réteg közötti potenciálkülönbség, és létrejön a villamos áram. [23]

Azt a tényt, hogy bizonyos anyagokban feszültség jön létre, ha megvilágítjuk, már 1839-ben felfedezte a francia Alexander Bequerel. Később az idők során többen is előállítottak ilyen anyagokat, de a rendkívül gyenge hatásfok (< 1%) és egyéb problémák miatt ezek megmaradtak a laboratóriumokban. Végül az első már valóban stabil és értékelhető mennyiségű áramot előállítani képes napelemet a Bell Laboratories mutatta be 1954-ben. [23] A még mindig csupán 1–2 % hatásfokú eszköz olyan drága volt, hogy sokáig csak a műholdakon alkalmazták, ahol viszont remekül beváltak, hiszen a korábban bemutatott két megoldással szemben a működésüknél a külső hőmérséklet nem játszik jelentős szerepet.

A gyártástechnológia fejlődésével, illetve az egyre fokozódó igények nyomán kialakuló tömegtermelés miatt a napelemek ára a 70-es évektől napjainkig nominálértéken is az ezredrészére esett és ma már szinte mindenütt megtalálhatóak. Az idők folyamán sokat javult a hatásfokuk is. Kezdetben még csak csekély fogyasztású eszközök, számológépek, órák működtetésére voltak képesek. Nem kézi eszközre integrálva, hanem általános célú és nagyobb volumenű villamos energia előállítására a 90-es évektől kezdődően alkalmazzák őket.



1. ábra: A fotovillamos hatás. [24]

Az ilyen eszközök nagy előnye, hogy működésük mozgó alkatrészt, kiegészítő elemeket nem igényel, a villamos áram mindenféle elmozdulás és hanghatások nélkül, minimális hő képződése mellett jön létre. Fontos részlet, hogy a napelemek egyenfeszültséget hoznak létre, szemben a generátorok váltakozó feszültségével. Ez azt jelenti, hogy ha a megtermelt áramot nem használjuk fel közvetlenül egy egyenáramú fogyasztóban, illetve nem tároljuk el akkumulátorokban, akkor többnyire váltakozó feszültségű árammá kell alakítani, hogy ilyen típusú fogyasztókban használjuk fel, vagy a hálózatba visszatápláljuk. Erre szolgál az ún. inverter, amely elektronikus úton a generátorok szinuszos feszültségéhez hasonló feszültséget hoz létre, és eközben többnyire elvégzi a szükséges feszültség-transzformációt is (pl. 12-24 V-ból 240 V-ra). Az egyszerűbb felépítésű inverterek kimenő feszültsége még jó szándékkal is csak kvázi-szinuszos, ami nem jelent problémát egy villanymotornak, de az érzékenyebb hírközlő vagy informatikai eszközökhöz jobb minőségű, a szinuszt jobban közelítő kimenő feszültségalakot produkáló eszközök kellenek. Az inverterek alkalmazása nagyságrendileg 10% veszteséget hoz létre a rendszerben.

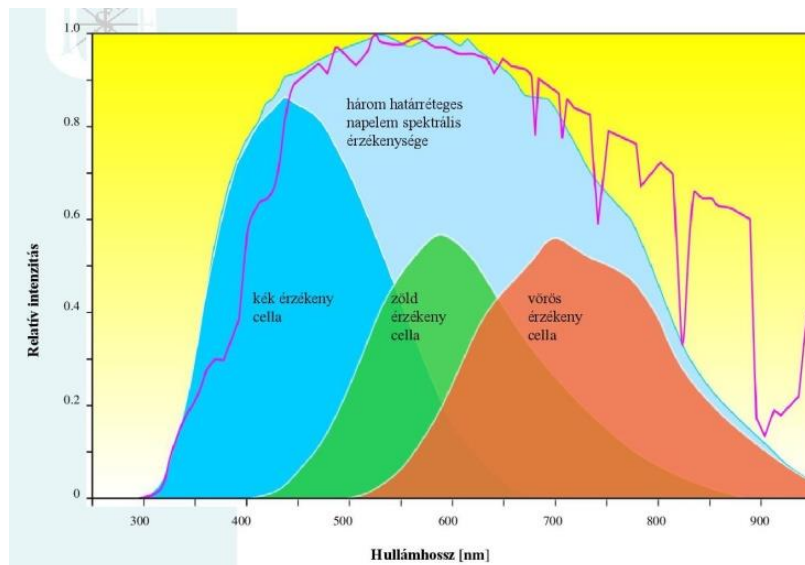
A napelemek típusai

A napelemeknek mára több változata is ismert, de a legrégebbi amorf szilícium paneleket szinte már sehol nem használják. A legelterjedtebb a kristályos szilícium cellák alkalmazása, [19] ahol a két félvezető réteget egy üveglap és egy műanyag hátlap közé laminálják. Könnyű előállíthatósága, olcsósága és viszonylag jó, 15–20% körüli hatásfoka miatt a napjainkban alkalmazott napelemek kb. 80%-a ebbe a csoportba tartozik. [23] A gyártástechnológia szerint megkülönböztetünk monokristályos és poli-, vagy multikristályos típust. A részletes magyarázatot mellőzve is elmondható, hogy igazán lényegi eltérés nincs a kettő között. A monokristályos cellák hatásfoka általában egy kicsit nagyobb, de forró éghajlaton már a polikristályos celláké az előny. Ez Magyarország éghajlati viszonyai között azt jelenti, hogy a két típust éves statisztikus vizsgálat alá vetve sem mutatható ki szignifikáns előny egyik technika tekintetében sem. Mint minden eszköz, a napelem is veszít a működésének hatékonyságából az évek során. A kristályos szilícium elemeknél ez az ún. „öregedés” nagyságrendileg évi 1%. Sajnos elmondható, hogy azonos gyártási eljárás mellett is fokozható a napelemek hatásfoka, de ez drasztikusan rontja azok élettartamát. A jelenlegi technológiai szinten a szilíciumkristályos kereskedelemben kapható napelemek hatásfoka napjainkban 15% körüli, a tervezett élettartamuk kb. 20 év.

Lényegesen újabb az ún. vékonyfilm (thin-film) technológia [23]. A működési elv ugyanaz, de a félvezető rétegeket nem egy tömbökből vágják ki, hanem filmszerűen viszik fel a hordozó anyagra. Ez a fajta gyártástechnológia olcsóbb, és nagy előnye, hogy a napelem nem lesz üvegtáblaszerűen merev, hanem a hordozóanyagtól függően egy viszonylag rugalmas, hajlítható eszközt kapunk, ami lényegesen vékonyabb és könnyebb is a kristályos modelleknél, ugyanakkor a hatásfokuk alig 8-10% körüli. Némileg gyorsabban is öregednek a kristályos szilíciumhoz képest, de alkalmazásuk részaránya a viszonylagos olcsóság miatt mégis nő a szolártechnológián belül. Az alkalmazott anyagok szerint számos változata ismert (amorf szilícium-mikrofilm szilícium, kadmium-tellurid, réz-indium-diszelenid, illetve az űrtechnológiában az indium-ezüst-gallium). [23]

Már a XXI. század fejlesztése a többátmenetes (multi-junction) napelem. A működés elméleti hátterében ez sem hoz újdonságot, csupán annyi történt, hogy több különféle félvezető réteget helyeztek el egymáson. Ezek spektrális érzékenysége eltérő, így a beeső napfénynek lényegesen nagyobb részét tudják elektromossággá alakítani. A fotovillamos rétegek által létrehozott áram összegződik, számottevően javítva ezzel a hatásfokot. A gyártástechnológia alapvetően a vékonyfilm eljárára épül, de egyelőre még nagyon drágák ezek az elemek, így az elterjedtségük is nagyon szerény, de azt jól mutatják, hogy még jelentős fejlesztési tartalékok rejlenek a napelemek gyártásában.

Szakemberek jelentős áttörést várnak az úgynevezett CIGS (réz-indium-gallium-diszelenid) napelemektől. Jelenleg is egy ilyen négyátmenetes eszköz tartja a napelemek hatékonysági rekordját. A Fraunhofer Intézetnél laboratóriumi körülmények között már teszteltek olyan napelemet, ami 46%-os értéket ért el, [25] de ennél sokkal fontosabb, hogy állítólag sikerült a tömeggyártásra is gazdaságos eljárást találni. Talán hamarosan kaphatóak lesznek elérhető áron olyan eszközök, amelyek 20% körüli hatásfokkal üzemelnek. Mivel ez a kristályos panelekével nagyjából megegyező érték, de várhatóan azoknál olcsóbban lesz gyártható, az iparágban egy kisebbfajta áttörésre számítanak. Katonai szempontból külön jelentősége van annak, hogy ezek a CIGS-eszközök megőrizték a vékonyfilm-technika kedvező méret, és tömegjellemzőit továbbá a rugalmasságot is.



2. ábra: egy háromátmenetes (trijunction) cella spektrális érzékenysége. [26]

A napelemek katonai alkalmazása

A napelemek sok szempontból ideálisak a harcéri alkalmazás szempontjából. Ilyen jellegű alkalmazásuk lehetőségével kapcsolatban már az ezredforduló környéki Magyarországon is folytak kutatások, [27] bár az akkor elérhető amorf szilícium napelemek gyenge teljesítménye még nem igazolta a technológia felhasználásának szükségszerűségét. A napelemek egyszerűek, a működtetésükhöz semmilyen szakértelem nem szükséges és teljesen zajtalanok. Laikusok számára sokszor meglepően hangzik, de mint azt az űrtechnika is igazolja, a mozgó alkatrész hiányában a legdermesztőbb hidegben is működőképesek. Teljesítmény terén minden más megoldást felülmúlóan jól skálázhatóak, a karórától az erőműig. Igazából csupán két dolog szól alkalmazásuk ellen. A világúrral ellentétben a Földön gyakorta, borult időben és éjszaka, egyáltalán nem éri fény a cellákat, márpedig villamos energiára folyamatosan szükség van. A másik fő probléma, hogy miután alapvetően könnyű és „kétdimenziós” eszközökről van szó a telepítésük gyors, viszont elég helyigényesek. Optimális esetben, vagyis a napelemet merőlegesen érő, erős direkt napsütés esetén 1 m² panel 20%-os hatásfokot feltételezve kb. 200 W teljesítményt képes leadni. Ez azt jelenti, hogy komolyabb teljesítményigény esetén már igen nagy területeket vagy felületeket kell panelekkel fedni. Ez a napelem csillogása miatt már megkönnyítheti az eszközök vizuális felderítését. Mivel a napelemek hatékony működése direkt fényt igényel, nem is igazán álcázhatóak, és pl. az erdők vagy épületek jelentette takarás sem használható ki.

A fentieket figyelembe véve megállapítható, hogy a napelemek önállóan nem, vagy csak nagyon ritkán alkalmazhatóak, de az általuk nyújtott előnyöket nem kihasználni is vétek lenne. Gyalogos katonák esetében az akkumulátorok töltésére jelenleg nincs életképes technikai

megoldás, amit azok képesek lennének magukkal vinni a harctérre, ezért a napelemek által nyújtott képesség unikális még akkor is, ha az nem működik minden időben. Összehajtható flexibilis napelemek már jelenleg is vannak rendszeresítve a fejlettebb haderőknél, és a villamosság iránti igény növekedésével és az új jobb hatásfokú cellák megjelenésével párhuzamosan várhatóan nőni fog a számuk.



2. kép: Hordozható flexibilis napelem. [28]

A harcjárművek felülete nem kínál sok lehetőséget a napelemek elhelyezésére, így a fedélzeti villamos rendszerek számára érdemleges mennyiségű energia így nem állítható elő. Több cég is kísérletezik viszont olyan napelemeket hordozó utánfutóval, amelyek kisebb települt aegységek villamos energia-igényét már ki tudják elégíteni. Jó példa erre az ún. „solar-trailerre”, a *Multicon-Solar* cég kísérleti berendezése, amelynek működését módomban volt megismerni a CL15 nemzetközi katonai logisztikai gyakorlat alkalmával⁴. Az utánfutó szélessége vontatási állapotban 2,15 m, hossza 5,95 m, a tömege 2600 kg, így mozgatásához már mindenképpen egy kisebb teherautó szükséges. A napelem függőlegesen nem dönthető, de egy oldalra nyitható mechanikus rendszer segítségével, kézi erővel alig 10 perc alatt üzemi pozícióba állítható, ilyenkor az utánfutó szélessége 6,20 m-re nő. A fotovillamos elemek teljes felülete 29 m², maximális teljesítményük 6 kW, de az utánfutó tartalmaz egy 15 kWh-ás, tovább is bővíthető akkumulátortelepelt illetve invertert is, amely képes az akkumulátorok egyenfeszültségét 230 V-os hálózati váltakozó feszültséggé konvertálni, és akár tartósan energiát szolgáltatni akkor is, ha a napelemek fény hiányában nem működnek.

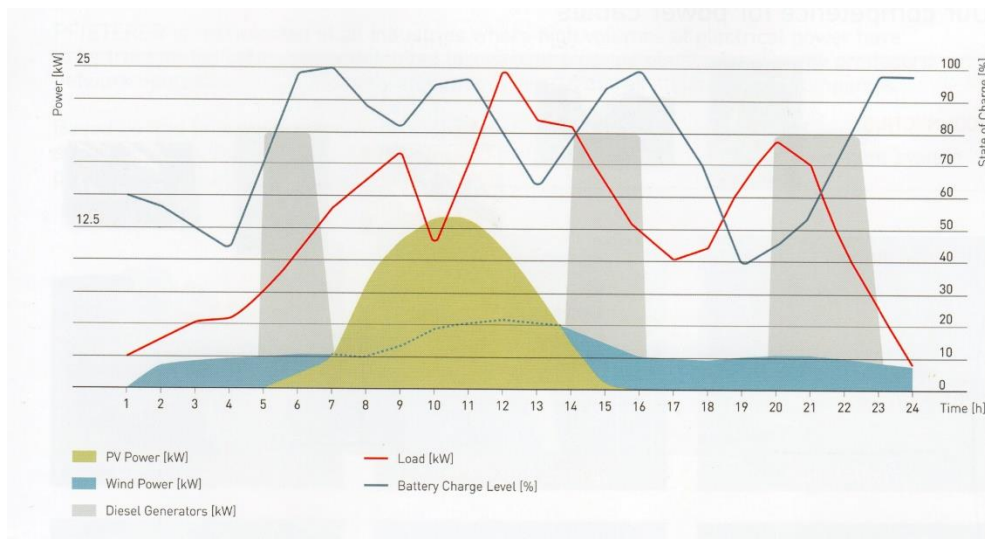


3. kép: Szolár-utánfutó telepítése a CL15 gyakorlaton.

⁴ A gyakorlaton több cég is működtetett olyan kísérleti hibrid üzemű rendszert, mint a korábban említett *Pfisterer*, és számos vontatható mobil szolár eszköz is megjelent. Ezek közül kiemelkedett a *Multicon-Solar* utánfutója, amely a sok kiegészítő berendezésének köszönhetően igen rugalmasnak bizonyult, így a gyakorlaton számos előre megrendezett szituációs gyakorlaton jutott főszerephez.

Még nagyobb jövő jósolható a napelemeknek a fix telepítésű, tábori villamos ellátásért felelős hibrid rendszerekben. A belátható jövőben az aggregátorok nyújtotta azonnali és minden időben megbízható villamos-energiáról nem tudunk lemondani, ugyanakkor, ha azokat napelemekkel (esetleg szélgenerátorokkal) és nagy kapacitású akkumulátorteleppel kombináljuk, számos előny érhető el. Ezekben az ún. off-gridekben vagy mikrogridekben (vagyis a villamos távvezeték-hálózattól független rendszerekben) az energiát egy inverteren keresztül minden esetben az akkumulátorok biztosítják. Megfelelő időben a napelemek töltik az akkumulátorokat, és ha azok töltöttsége egy kritikus szint alá esik, automatikusan beindulnak az aggregátorok is. Az inverter által okozott veszteség ellenére pusztán a napelemek alkalmazása is számottevően csökkenti a tüzelőanyag-fogyasztást, amit az aggregátorok sajátos üzemelési módja még tovább képes redukálni. Ennek oka, hogy a belső égésű motorok hatásfoka csak egy viszonylag szűk fordulatszám-tartományban tekinthető optimálisnak, de egy hagyományos aggregátor a legritkább esetben üzemel ebben a tartományban, hiszen a motor fordulatszáma függ a villamos hálózat terhelésétől. Ezt a terhelést az akkumulátorok kisimítják, így a motor mindig a legkedvezőbb fordulatszámon és terhelésen működhet, ami a fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás csökkenése mellett jótékonyan hat annak élettartamára és meghibásodási valószínűségére is.

Saját megfigyeléseim szerint az ilyen hibrid rendszerek akár 40–60%-al képesek visszafogni a tüzelőanyag-fogyasztást, ami talán nem túl sok a berendezések viszonylag magas bekerülési árához képest, de figyelembe kell venni, hogy még csupán prototípusokról van szó, ráadásul a tüzelőanyag megtakarítás egy olyan képesség, amit nem lehet csak pénzben mérni. Számolva azzal, hogy mind a napelemek, mind az akkumulátorok olyan fejlesztési potenciállal rendelkeznek, amellyel a villamos energetikában semmilyen más technológia nem bír, biztosan állítható, hogy az ilyen rendszerek hamarosan nagyobb számban is megjelennek a fejlett hadseregek eszköztárában.



3. ábra: Egy létező kísérleti off-grid működési sémája. [29]

KÖVETKEZTETÉSEK

A civil villamos energetikában is egyre nő a megújuló energiaforrások felhasználása, és elkerülhetetlen azok katonai alkalmazása is. Ugyanakkor a rendelkezésünkre álló technológia még nem teszi lehetővé, hogy ezek többségét a katonai műveleti területeken, a harctereken is felhasználjuk. Egyedül a fotovillamos elemek által elektromossággá alakított napfény az,

amelynek alkalmazása nem csupán célszerű, de szükségszerű is. Ezt alátámasztja az is, hogy bár még csak kísérleti jelleggel, de az ilyen elven működő hibrid rendszerek már bizonyítottak missziós környezetben. A belátható jövőben nem várható, hogy bármelyik másik megújuló forrás kiaknázására olyan új technológia születne, ami megoldást jelent azok mobilitási és gazdaságossági hiányosságaira. A jelenleg még általánosan alkalmazott aggregátoros tábori áramellátásban szintén rendkívül csekély a fejlesztési potenciál, azonban a napelemek és a hozzájuk kapcsolódó akkumulátorok prognosztizált fejlődési üteme alapján a hibrid villamos rendszerek hamarosan teret nyerhetnek a katonai műveleti területeken is. Ez részben pusztán gazdaságossági kérdés, de energiabiztonsági [30] és környezetvédelmi [31] tekintetben is jelentős elvárások fogalmazódnak meg napjainkban a korszerű fegyveres erőkkel szemben a társadalom részéről. Az ilyen jellegű kérdésekre jelenleg a technikának a hibrid villamos off-grideken kívül nincs más válasza.

Kissé eltérő a helyzet a gyalogos katonák villamos energiaellátása kapcsán. Az akkumulátoraik táboron kívüli töltésére a napelemen kívül jelenleg sincs más eszközük, és nem is várható ilyenek a megjelenése. Viszont a katonák felszerelésének tömegét csak minimális mértékben növelhetjük, és ez ésszerű határokon belül mindössze egy kb. 1–2 m²-es önálló flexibilis napelem rendszeresítését teszi elképzelhetővé. Ez erős direkt napsugárzás esetén is csak egy vagy kettő kisebb eszköz töltését képes megoldani, a teljes és növekvő energiaigény maradéktalan fedezésére nem alkalmas. Ez a méretbeli korlát akkor sem lenne alkalmas a várható energiaigény maradéktalan kielégítésére, ha a napelemek közel 100%-os hatásfokkal üzemelnének, ezért a napelemes technológia fejlődése sem fog érdemben változtatni ezen a helyzeten. Ennek megfelelően a napelemek gyalogos katonák általi alkalmazása várhatóan továbbra sem lesz mindennapos. Várható ugyanakkor, hogy továbbra is folyik majd az ilyen eszközök fejlesztése, rendszeresítése és szükség szerinti használata is, de a belátható időn belül az alkalmazásuk nem lesz általános, és a küldetések villamos energetikai korlátja továbbra is az akkumulátorok kapacitása lesz.

Felhasznált irodalom

- [1] P. 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 ideje: 2015. 11. 24)
- [2] S. 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 ideje: 2015. 11. 24)
- [3] *A PK-4 pc. kódú készlet beépítési és rendszertechnikai terve, 54/938/GYEK*. HM ArmCom, 2007.
- [4] Márkus F.: A gyalogos lövészkatona egyéni harcászati felszerelésének modernizálási lehetőségei a Magyar Honvédségben. *Seregszemle*, 2–3 (2013), 7–21.
- [5] *Battery Cell Comparison*. EPEC, sine dato. www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html (a letöltés ideje: 2015.11.01)
- [6] D. 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 ideje: 2015. 11. 23)
- [7] C. 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 ideje: 2015. 11. 23)

- [8] M. Callahan, K. Anderson, S. Booth, J. Katz, T. 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 ideje: 2015. 11. 22)
- [9] *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 ideje: 2015. 11. 27)
- [10] Varga Z. B.: *A megújuló energiaforrások hasznosíthatóságának gazdasági vizsgálata Magyarországon, különös tekintettel a biomassza és a napsugárzás energiájának kiaknázására*. Kaposvári Egyetem, 2007. (PhD értekezés)
- [11] Fischer A., Hlatki M., Mezősi A., Pató Zs.: *Geotermikus villamosenergia-termelés lehetőségei Magyarországon*. Budapesti Corvinus Egyetem, 2009. http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/124/1/wp2009_2.pdf (a letöltés ideje: 2015. 11. 23)
- [12] Mayer I.: *Vízenergia hasznosítás Magyarországon*. MTA, sine dato. http://mta.hu/data/cikk/12/90/28/cikk_129028/89MayerViz.pdf (a letöltés ideje: 2015. 11. 01)
- [13] Szeredi I.: *Kis- és törpe vízerőművek*. Budapesti Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, 2006. <http://www.vpk.bme.hu/vizepkor/docs/vizparty/torpevizeromu.pdf> (a letöltés ideje: 2015. 11. 01.)
- [14] A. Y. Hassan, D. Routledge Hill: *Islamic Technology: An illustrated history*. Cambridge University Press, 1986
- [15] M. Stiebler: *Wind Energy Systems for Electric Power Generation*. Springer, 2008.
- [16] *Global Statistics*. Global Wind Energy Council, sine dato. www.gwec.net/global-figures/graphs/ (a letöltés ideje: 2015. 11. 22)
- [17] *V164-8.0 MW® Breaks World Record for Wind Energy Production*. MHI Vestas Offshore Wind, sine dato. <http://www.mhivestasoffshore.com/v164-8-0-mw-breaks-world-record-for-wind-energy-production/> (a letöltés ideje: 2015. 11. 01)
- [18] *The Gansu Wind Farm in China is the Largest Wind Farm in the Entire World*. OMG Facts, sine dato. <http://www.omgfacts.com/theworld/15232/The-Gansu-Wind-farm-in-China-is-the-largest-wind-farm-in-the-entire-world> (a letöltés ideje: 2015. 11. 01)
- [19] Kasza A.: A napenergia és szélenergia alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata hazánkban. *Hadmérnök*, 2 (2009), 29-40.
- [20] Pálffy M.: *A napenergia fotovillamos hasznosításának potenciálja Magyarországon*. Solart System, sine dato. <http://www.solart-system.hu/PVpotencialMo0604.pdf> (a letöltés ideje: 2015. 11. 01)
- [21] Kovács Cs.: *Napkollektorok működése és alkalmazása*. Óbudai Egyetem – Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Megújuló Energiaforrás Kutató Hely, 2008. <http://ekh.kvk.uni-obuda.hu/napkollektorok/6-napkollektorok-mukodese-es-alkalmazasa.html> (a letöltés ideje: 2015. 11. 23)
- [22] *IVANPAH*. Brightsource Limitless, sine dato. <http://www.brightsourceenergy.com/ivanpah-solar-project#.VjaALfkvdsc>, (a letöltés ideje: 2015. 11. 01)
- [23] C. J. Chen: *Physics of Solar Energy*. John Wiley & Sons Inc., 2011.

- [24] *Resources*. Solarpath, sine dato. <http://www.solarpath.com.au/resources> (a letöltés ideje: 2015. 11. 01)
- [25] A. 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 ideje: 2015. 11. 23)
- [26] Farkas I.: *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 ideje: 2015. 11. 01)
- [27] Turmezei P.: *Napelemes energiaellátó rendszerek katonai célú alkalmazásának kérdései*. Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2003. (PhD értekezés)
- [28] K. 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 ideje: 2015. 11. 01)
- [29] A Pfisterer cég nyomtatott kiállítási brosrúája.
- [30] Bakosné Diószegi M.: Hazai energiabiztonság növelésének lehetőségei. *Hadmérnök*, 2 (2009), 5–18.
- [31] Hankó M.: *Az éghajlatváltozás hatásaira adott lehetséges válaszok, különös tekintettel a Magyar Honvédség speciális igényeire*. Nemzeti Közsolgálati Egyetem, 2013. (PhD értekezés)