

Végyári Zsolt
vegvari.zsolt@hm.gov.hu

A HIBRID VILLAMOS ENERGIAELLÁTÓ RENDSZEREK VEZÉRLÉSÉNEK TEREPI MEGVALÓSÍTÁSA

Absztrakt

Napjainkban a katonai táborok működése elképzelhetetlen a villamos áram nélkül. Ezt mostanáig szinte kizárólag fosszilis üzemanyagok elégetésével biztosították, ami nemcsak költséges és környezetszennyező, de az ellátás biztosítása is nagyon kockázatos. A hagyományos és a megújuló energiaforrásokra épülő technológiák kombinációját jelentő hibrid rendszerek ötvözik a generátorok megbízhatóságát a megújuló források olcsóságával és tisztaságával, de csak abban az esetben, ha a rendszert alkotó elemek vezérlése képes minden pillanatban optimalizálni a működést. Mivel a katonai hibrid berendezéseknek a legzordabb terepi körülmények között is megbízhatóan ki kell szolgálni a fogyasztókat, a vezérlést végző rendszerelemekkel szemben is rendkívül szigorúak az elvárások. Természetesen az eltérő tervezési elvek miatt számos módon lehetséges a vezérlés terepi kivitelű megvalósítása.

Nowadays, the operation of military camps would be impossible without electricity. Until now it was provided almost exclusively by burning fossil fuels, which is not only costly and polluting, but secure of its logistics is also very risky. As the combination of traditional and renewable energy technologies, hybrid systems connate the reliability of generators with the cheapness and clearness of renewable sources, but just in case, if the system control is able to optimize the operation of the components every moment. As the military hybrid devices must be reliably serve consumers even in the toughest field conditions, system control elements are called on to meet extremely high expectations. Of course, because of the different design principles it is possible to achieve the design of the controller according to field conditions in several ways.

Kulcsszavak: *hibrid villamos energia, mikrogriddek, műveleti terület, vezérlő egység ~ hybrid electricity, microgrids, operational area, controller unit*

BEVEZETÉS

A villamosság felfedezése óta az emberiség évről-évre egyre jobban támaszkodik erre az energiaformára. Nincs ez másként a hadseregek esetében sem. Mind a gyalogos katonák felszerelésében, mind a gép- és harcjárművek fedélzetén egyre több a villamos működésű eszköz [1, 42 o.] és külön fejezet a katonai létesítmények villamos energiával történő ellátása. A védelmi szféra állandó települési helyű, avagy „béke” létesítményei az esetek döntő többségében a polgári villamos hálózatra kapcsolódnak, hiszen ennél gazdaságosabb megoldás aligha kínálkozik, de egészen más a helyzet a haderők ideiglenesen települt egységeivel. A gyakorlatok, a békemissziós küldetések illetve a tényleges fegyveres konfliktusok idején komoly logisztikai és technikai kihívás a táborok villamossággal történő ellátása ott, ahol nincs megbízható villamos infrastruktúra.

A második világháború idején a táborokban a világítást, a főzést és a fűtést is fosszilis tüzelőanyagok vagy fa elégetésével oldották meg, még a legkorszerűbb hadseregek is, és a villamosságra csupán a kommunikációs eszközök működtetéséhez volt szükség. Erre a célra akkoriban kisebb aggregátorokat¹ rendszeresítettek [2, 258 o.], jobbára az adott eszközökhöz külön-külön. Ezzel szemben napjainkban gyakorlatilag a katonai táborok csaknem kizárólag villamossággal működnek. A világítás, a már alapkövetelménynek számító klímaberendezések, a tábori konyhák és a teljes vezetési rendszer villamos energiával üzemel. A nagyszámú, hálózatba kötött villamos fogyasztó kiszolgálására pedig nagyteljesítményű, egész táborok vagy táborrészek ellátására alkalmas aggregátorok használatosak.

A katonai aggregátorok jelenleg többnyire a polgári berendezésekhez hasonlóan gázolajjal üzemelnek, aminek oka a dízelmotorok viszonylag nagy hatásfoka, de a NATO egységesítési törekvéseinek következtében az üzemanyag módosulhat². A folyamatos működéshez szükséges üzemanyag biztosítása annak fajtájától függetlenül mindenképpen jelentős logisztikai kihívás. Fegyveres konfliktusok alatt, békemissziók idején legalább részben megsemmisült, megbízható működésre képtelen polgári infrastruktúrával kell számolni, vagyis a táborok működtetéséhez szükséges üzemanyagokat, a hadseregeknek maguknak kell biztosítani. A gyakorlatban üzemanyag-szállító konvojokat szerveznek, amelyek nyilvánvalóan elsősorú célpontjai az ellenségnek. Ez annyira igaz, hogy közelmúlt iraki és afganisztáni megszállása alatt az egyik legveszélyesebb, legtöbb áldozatot követelő tevékenység is a konvojok kísérete volt [4].

¹ A magyar szakirodalom aggregátornak nevezi a villamos energiát előállító generátor és az azt meghajtó hőerőgép (többnyire dízelmotor) komplexumát. Az angolszász szakirodalom nem ismeri az aggregátor kifejezést és csak, mint „diesel generator”-t említik az ilyen berendezéseket, amely szokás a magyar hivatkozásokban is terjed. Jelen cikkben ragaszkodom a magyar kifejezéshez.

² A közelmúlt háborús eseményei igazolták, hogy szárazföldi haderők béke lehelyezésén kívüli üzemanyag-ellátása a számos használatos tüzelőanyag miatt tarthatatlanul bonyolult, ezért az új doktrína [3, 1512. pont] értelmében a jövő harceszközei és hadfelszerelése már csupán egyetlen üzemanyagot, a kerozint használhatják, ami várhatóan lényegesen leegyszerűsíti az ellátási lánc kiépítését.



1. ábra: egy holland gyártmányú, konténeres „nagy” hibrid rendszer működés közben a CL15 gyakorlaton (a szerző fotója)

Mivel a katonai táborok villamos energia iránti igénye a közeljövőben aligha fog csökkenni, a villamosság előállításához szükséges fosszilis energiahordozóktól való – legalább részbeni – függetlenedés kiemelt kutatási terület mind a nemzeti és nemzetközi,³ mind a NATO⁴ fejlesztési célkitűzéseiben. A megújuló energiaforrások felhasználása kézenfekvő megoldás a katonai tevékenységek során is, de azok megbízhatatlansága miatt egyelőre nem mondhatunk le a hagyományos aggregátorokról sem [1, 53 o.]. A két technológia házasságából születtek az ún. hibrid rendszerek. A cikk írásának idején még egyetlen európai haderő sem tart rendszerben ilyen berendezést,⁵ de miután a nemrégiben Magyarországon megrendezett CL15 logisztikai gyakorlaton⁶ több ilyen eszköz is demonstrálta a technika életképességét, várható, hogy a közeli jövőben szép számmal megjelennek majd a hadfelszerelések között.

Mivel a hibrid rendszerek összetett algoritmusokkal biztosítják az optimális működést, a katonai változatoknál kiemelt fontosságú a vezérlésre alkalmazott elektronika olyan robosztus kivitelezése, ami alkalmassá teszi őket, hogy a terepen való fokozott igénybevételnek kitéve is el tudják látni feladatukat. Mivel a témának újszerűsége miatt még nagyon csekély irodalma van, elsősorban saját gyakorlati tapasztalatokra építve kívánom ismertetni ezt a modern technológiát, külön figyelmet fordítva a vezérlő elektronika terepi működést lehetővé tevő elméleti és gyakorlati megoldásokra.

³ Az Európai Védelmi Ügynökség (European Defence Agency – EDA) Energia és Környezet Munkacsoportja foglalkozik a vonatkozó nemzeti fejlesztések összehangolásával.

⁴ A NATO szervezetén belül a brüsszeli székhelyű Újszerű Biztonsági Kihívások Osztálya (Emerging Security Challenges Division – ESCD) valamint a vilniusi székhelyű Energiabiztonsági Kiválósági Központ (Energy Security Center of Excellence – ENSEC COE) végez ilyen jellegű kutatásokat.

⁵ Az EDA már közel egy éve üzemeltet kísérleti jelleggel egy ilyen berendezést Maliban, a NATO ENSEC COE pedig nemrégiben vásárolt szintén a tapasztalatok gyűjtése céljából egy hibrid komplexumot [5].

⁶ A Capable Logistician 2015 Nemzetközi Logisztikai Együttműködési Gyakorlat 2015 júniusában került megrendezésre az MH Bakony Harckiképző Központjában a várpalotai lőtéren [6, 30 o.].

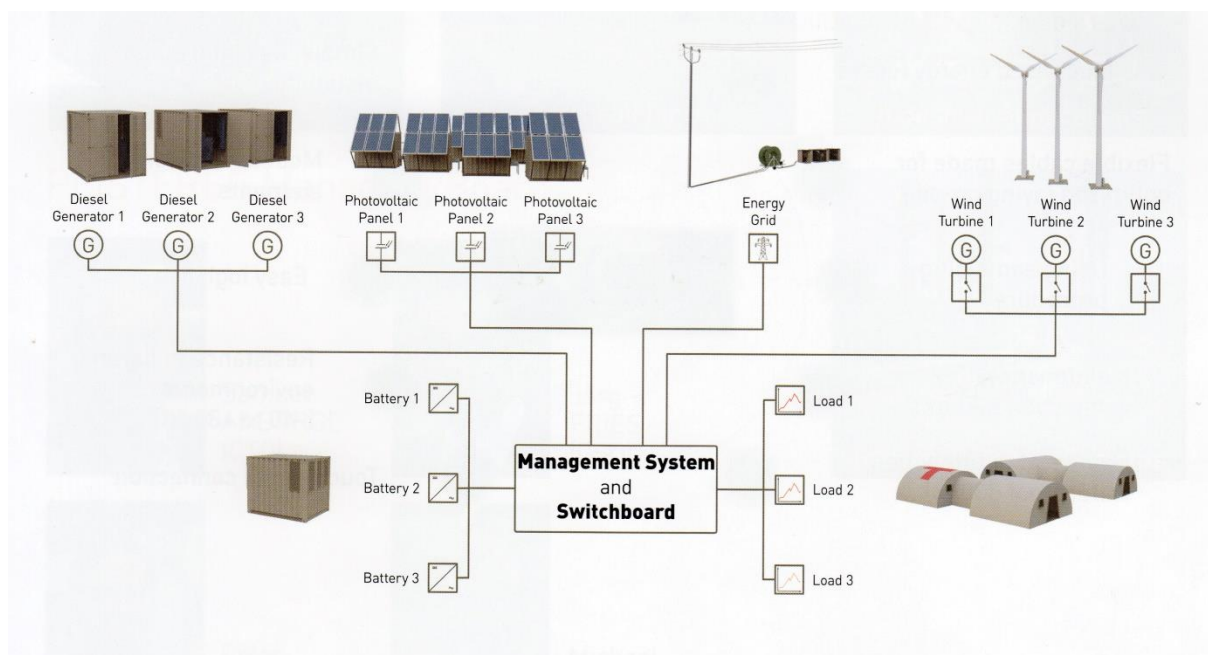
A HIBRID VILLAMOS RENDSZEREK

A hibrid villamos rendszerek felépítése és működése

A hibrid villamos energia ellátó berendezések alapvető célja, amint azt már említettem, a fosszilis tüzelőanyagok felhasználásának csökkentése. Az első ilyen jellegű eszközöket polgári céllal hozták létre még a XX. század végén, az energiatakarékosság és a környezetvédelem jegyében. Amennyiben egy lokális villamos energiatermelő berendezés illetve a lokális fogyasztók egyetlen hálózatban üzemelnek, a nemzetközi szakirodalom a mikrogrid kifejezést használja, amelyet a katonai források is átvettek, bár itt még nem alakult ki az egységes terminológia.⁷

Az ilyen mikrogridek lehetséges elemei a következők:

- Megújuló energiaforrást használó villamos energiát előállító berendezések (jellemzően napelemek)
- Hagyományos dízelaggregátor
- Energiatároló egység
- Hálózati távvezeték interfész
- Vezérlő és menedzsment rendszer



2. ábra: egy teljes kiépítésű mikrogrid elvi vázlata (forrás: Pfisterer)

A polgári rendszerek az esetek többségében az eltérő célok és követelmények miatt nem teljes kiépítésűek, vagyis nem tartalmazzák az igen költséges energiataroló egységet és a dízelaggregátort sem. A működés során a többlet energiamennyiséget, amit a helyi fogyasztók pillanatnyilag nem használnak fel, visszatáplálják a hálózatba, és ha a helyi termelés nem képes kielégíteni a helyi fogyasztást, akkor a hálózatról fedezik a különbözetet. Amint látható, a helyi energiabiztonság növelése nem elsődleges kívánalom az ilyen megoldásoknál, de a sok összekötött mikrogriddel megerősített hálózat mégis jelentősen megnöveli a teljes villamos rendszer hibatűrő képességét [6, 32 o.].

⁷ A NATO-n belül a „microgrid”, az EDA-nál inkább a „smart grid” kifejezés használatos.

A katonai rendszerek gyökeresen más koncepció szerint épülnek fel. Mivel a szükséges energiamennyiséget bármikor, bármilyen körülmények között biztosítani kell a fogyasztók felé, a hagyományos aggregátor itt kötelező elem. Ugyanakkor a villamos távvezetékhez való csatlakoztathatóság lehetőségét sok esetben nem teremtik meg, mert ahová ezeket a berendezéseket szánják, ott valószínűleg úgyszincs vezetékes áramszolgáltatás. Ez azt is magával vonja viszont, hogy meg kell oldani a helyi többlet tárolását és a kisebb hiányok, az aggregátorok indítása nélküli áthidalását is, amit többnyire masszív lítium-alapú akkumulátorcsoportokkal érnek el [6, 32 o.], illetve újabban vizsgálják a hidrogéncellás működés lehetőségét is.

Ugyan a katonai mikrogrideknél nem annyira a gazdasági, mint inkább a taktikai előnyök megszerzése motiválja a fosszilis üzemanyagok felhasználásának mérséklését, azért az aggregátorok által meg nem termelt energiát még valahonnan fedezni kell. Erre szolgálnak a megújuló energiaforrásokon alapuló technológiák, amelyek igen sokfélék lehetnek, de többségük sajnos nem alkalmas a katonai felhasználásra. Az erőművi technikák túlnyomó része már a méreténél fogva sem jöhet szóba, így pl. a tükrös naperőművek sem. Vízerőművek elvben egész apró méretben is kivitelezhetőek, és bár a hatékonyságuk is alacsony, elsősorban azért nem használhatók, mert a műveleti területek jelentős részén egyszerűen nincs olyan vízfolyás, amelyre rá lehetne építeni őket. A biomassza és a geotermikus energia pedig olyan méretű kiszolgáló infrastruktúrát igényel, aminek a mobilitása gyakorlatilag nulla. A gyakorlatban tehát a lehetséges alternatívák száma mindössze kettőre csökken, a szélenergiára és a fotovillamos elven alapuló⁸ napelemekre [1, 47 o.; 50 o.].

A szél a kontinentális éghajlaton (így Magyarországon is) többnyire csak a talajszinttől mért nagyobb magasságokban számottevő és megbízható [10, 24. p.]. Ráadásul a szélgenerátorok telepítése nehézkes, könnyen elárulják a felhasználás helyét (a magas árbocok jól láthatóak, zajosak és nagy a radarkeresztmetszetük is), így az alkalmazásuk csak nagy körültekintés mellett javasolt. A napelemek főbb hátrányai, azon nyilvánvaló tényen túl, hogy éjszaka nem működnek, hogy hatékonyságuk radikálisan csökken, ha a napfény szűrten, vagy nem merőlegesen éri őket, a csillogásuk is árulkodó lehet. Mindezeket túl villamos egyenfeszültséget állítanak elő, ami ugyan az akkumulátoros tárolás szempontjából ugyan kedvező, de mivel a tábori hálózatok a polgári szabványú váltakozó feszültséget használják, a teljes rendszerben több átalakítás is szükséges. Ugyanakkor tagadhatatlan előnyük, hogy kisebb vagy nagyobb mértékben szinte minden égőv alatt elérhetőek (sőt még a világűrben is tökéletesen működnek), továbbá nagyon egyszerűen, gyorsan telepíthetőek [6, 48 o.].

A hibrid villamos rendszerek előnyei és hátrányai

A CL15 nemzetközi gyakorlat számos európai szintű újdonsággal szolgált a résztvevő nemzeteknek. Ezek közül is kiemelkedik, hogy soha nem látott mennyiségben vonultak fel korszerű katonai energetikai berendezések. Ennek nyomán – szintén első alkalommal – a villamosságért felelős erők és eszközök önálló logisztikai egységet alkotva, saját parancsnokság alatt tevékenykedtek⁹. A számos egyéb berendezés mellett a gyakorlat során négy önálló, viszonylag nagyméretű hibrid áramellátó rendszer került telepítésre. Ezek – jogi és technikai okok miatt – nem mikrogridként, hanem sziget üzemben,¹⁰ azaz önállóan, a

⁸ Nem a napfény hőhatásával forralt vízgőz segítségével hajtanak meg turbinákat és generátorokat, hanem a beeső fotonok egy félvezetőrétegben direkt módon hoznak létre elektron-áramot, mindenféle kísérőjelenség, pl. zaj nélkül.

⁹ Annak ellenére, hogy a gyakorlaton résztvevő korszerű energetikai rendszereket kivétel nélkül külföldi polgári cégek szállították, jelentősen emelte Magyarország elismertségét, hogy az egység parancsnokságát egy magyar katona, a HM Védelemgazdasági Hivatal állományába tartozó Illés Attila ezredes látta el. E cikk szerzője a gyakorlat alatt az egység technikai tanácsadójaként és összekötőként dolgozott.

¹⁰ Az angol szakirodalom az ilyen jellegű működést off-gridnek nevezi.

gyakorlatot kiszolgáló villamos hálózattól függetlenül látták el árammal a hozzájuk rendelt katonai egységeket. A gyakorlat két hete alatt valamennyi rendszer hibátlanul, kiesés nélkül működött, ami már önmagában is igazolja, hogy a hibrid rendszerek legalább akkora vagy még nagyobb üzembiztonságot kínálnak, mint az egyszerű aggregátorok, de ez természetesen még nem elég annak alátámasztására, hogy célszerű a hagyományos rendszerek kiváltása.

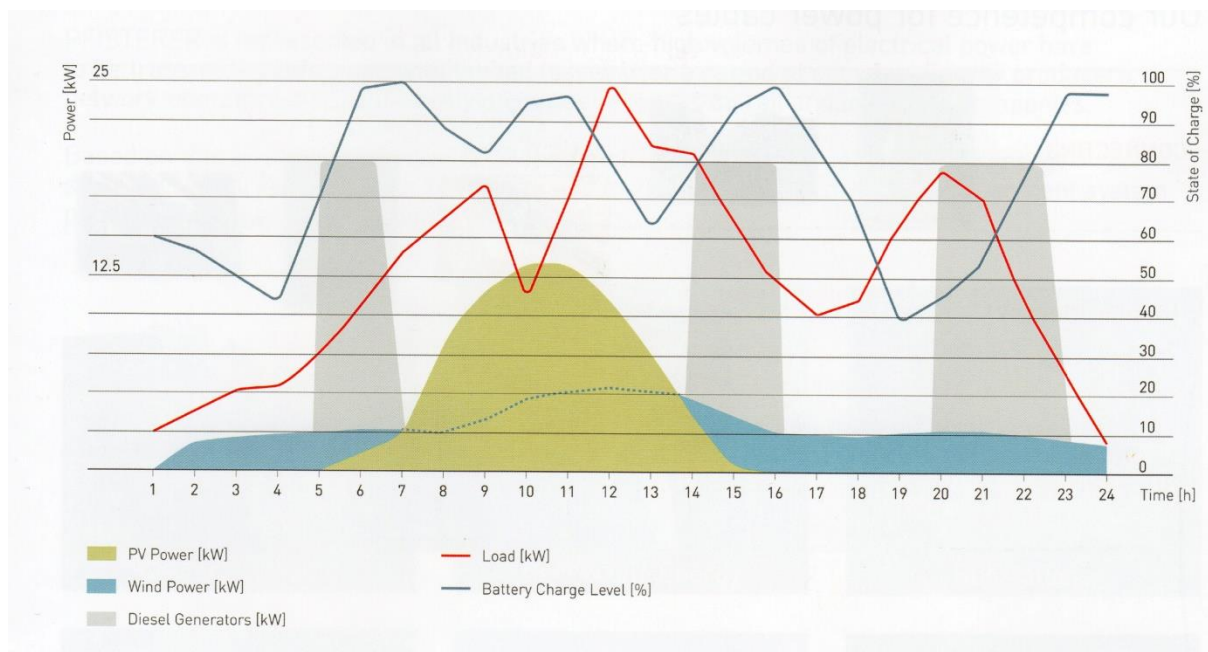
Az már sokkal többet árul el az ilyen rendszerek képességeiről, hogy a hozzájuk tartozó mintegy 800 m²-nyi napelem a júniusi napsütésben naponta átlagosan 1 MWó tiszta energiával látta el a gyakorlat résztvevőit. A rendszerek gyártói előzetesen úgy kalkuláltak, hogy kb. 40-50 %-os üzemanyag-megtakarítást lesznek képesek felmutatni a gyakorlat végére, de részben a napos időnek köszönhetően több mint 60 %-ot értek el. Ez egyben alátámasztja azt is, hogy éves szinten nagyon is elképzelhető a magyarországi klíma mellett, a mintegy iparági szabványnak tekintett 40 %-os üzemanyag-megtakarítás. Azt is fontos viszont hangsúlyozni, hogy a 40 %-os elvárt érték egy jól kiegyensúlyozott rendszerre igaz, ahol a rendszerelemek skálázása arányos.

Szintén a gyakorlat alatt derült ki, hogy az egyik hibrid rendszer a tényleges fogyasztáshoz képest jelentősen túlméretezett PV és akkumulátor kapacitással lett felszerelve, így annak aggregátorát a második naptól már átvezényelték egy másik helyszínre, mivel egyáltalán nem volt rá szükség. Ez rámutat arra, hogy ha akkora akkumulátorkapacitást integrálunk egy hibrid rendszerbe, ami több napra is elég tartalékot jelent, elvben teljesen kiváltható az aggregátor (és már nem is hibrid a rendszer). De ez sajnos csak elvi lehetőség, mert a korszerű lítium-polimer akkumulátorok rendkívül drágák, így jelenleg csak egy hibrid rendszer lehet igazán gazdaságos, mert az nem hoz létre számottevő ritkán kihasznált tartalékot.¹¹

Kevésbé ismert tény, hogy a hibrid rendszerek gazdaságosságához jelentős mértékben hozzájárul a beléjük integrált aggregátorok különleges működési módja. A hagyományos rendszereknél a dízelmotornak folyamatosan működni kell, akkor is, ha épp nincs fogyasztás, a hatásfok pedig mindvégig erősen függ a fogyasztó rendszerek pillanatnyi áramfelvételétől. A hatásfok kb. a névleges megengedett terhelés 80 %-nál maximális, kisebb terhelésnél ez drasztikusan romlik. Ezzel szemben a hibrid rendszerekben az aggregátorok csak az akkumulátorok töltésére szolgálnak, arra is csak akkor, ha a napelemek nem termelnek elégséges mennyiségű villamosságot. Ez annyit tesz, hogy csak ritkán, jellemzően egy-két alkalommal kapcsolódnak be egy nap, de akkor végig maximális hatásfokkal üzemelnek (ez az aggregátorok élettartama szempontjából is kedvező).

Ennél a pontnál érkeztünk el a hibrid rendszerek legnagyobb hátrányaihoz. Bár az általuk szolgáltatott villamos energia mintegy fele ingyen van, és az előállítás nem jár környezeti terheléssel sem, ezért cserében lényegesen bonyolultabbak, mint a hagyományos aggregátorok. Mivel a hibrid rendszerek több forrásból is állítanak elő energiát, megbízhatóbbak és hibátűrőbbek egy szimpla aggregátornál, de a számos kiegészítő berendezés sokkal szerteágazóbb üzemeltetési gyakorlatot és karbantartást kíván, jelentősen megnövelve a rendszer mérete és tömege továbbá természetesen jelentős költséggel is jár az integrálásuk. A jelenleg létező katonai rendszerek nem sorozatgyártásúak, csupán még prototípusok, így elég nehéz kérdés azok árát megállapítani, de a gyártó cégekkel való konzultáció alapján a bekerülési költségük 3-5-szöröse lehet egy hasonló teljesítményű konvencionális aggregátornak.

¹¹ Amennyiben a gazdaságosság nem elsődleges szempont, reális alternatívája lehet az akkumulátoroknak a hidrogén üzemanyagcella és a vízbontó készülék kettőse, a témával bővebben foglalkozik Gregory Hoogers könyve [7]. A hidrogén energiasűrűsége sokkal nagyobb az akkumulátoroknál, és a napelemek áramával felbontva a vizet, folyamatosan állítható elő hidrogén. Katonai hibrid rendszerekben még nem használatos, de számos polgári megvalósítása már működik. Az üzemanyagcellák tömeges elterjedésének fő akadályai a katalizátorként használt platina drágasága és a rendkívül illékony és a levegővel igen robbanásveszélyes elegyet alkotó hidrogén megbízható tárolása [8, 97. o.].



3. ábra: egy mikrogrid 24 órás működésének sémája (forrás: Pfisterer)

Miután hibrid áramellátó rendszerek katonai környezetben történő üzemeltetésével kapcsolatban még csak minimális hiteles információ áll rendelkezésre a megtérülési időre vonatkozó számítások nem tekinthetők hitelesnek, de nagyságrendileg jó támpontnak tekinthetők [9]. Az egyik cég literenkénti 3 eurós üzemanyagár mellett¹² a rendszert folyamatosan használva mintegy 3-4 éves megtérüléssel kalkulál [9], ami igen kedvezőnek tekinthető. Ne feledjük viszont, hogy a gazdaságosság és a környezet védelme nem lehet elsődleges szempont ott, ahol katonák élete forog veszélyben. A hibrid rendszerek katonai alkalmazásának legfontosabb előnye, hogy általuk csökken a szállító karavánok támadásoknak való kitettsége, illetve azonos készletezett üzemanyag-mennyiség mellett mintegy kétszeresére nő a műveleti területen települt táborok önálló alkalmazási ideje.

A hibrid villamos rendszerek katonai alkalmazhatósága

Ahogy az előző részből kiderült, megfelelő alkalmazás mellett nem elhanyagolhatóak a hibrid rendszerek gazdasági és környezetvédelmi előnyei, a katonai felhasználást mégis az általuk biztosított kiterjesztett túlélőképesség indokolja. Az tény, hogy a hibrid áramellátó berendezések jelenleg még annyira újszerűek, hogy eddig egyetlen hadseregnél sem kerültek rendszeresítésre, de az általuk biztosított műveleti előny és a gazdaságosság miatt a védelmi szektor komolyan érdeklődik a technika iránt. Nem lebecsülendő indok a haderők a környezet védelme melletti elkötelezettségének demonstrálása sem.

A régi időkben megszokott volt, hogy a hadseregek voltak a technológiai újítások úttörői, de ez a szerep mára az alkalmazott technikák komplexitása és költségessége miatt részben átkerült az iparhoz. Ennek ékes példái a hibrid rendszerek. A jelenleg már üzemelő prototípusok szinte mindegyike egy-egy polgári rendszerre épül, gyakorlatilag azok katonai igények szerint módosított, robosztusabb kivitelű változatai. Alig egy-két olyan példa van, ahol az eszköz eleve előre megfogalmazott hadműveleti követelmények teljesítésére lett tervezve, illetve gyakori a kettős, katonai-polgári használatra is alkalmassá tehető megvalósítás.

¹² Az ár nyilvánvalóan lényegesen magasabb, mint a hazai töltőállomásokon megszokott, de ne feledjük, hogy a példában katonai műveleti területről van szó. Az itt említett ár magában foglalja az üzemanyag készletezéséhez, szállításához és védelméhez szükséges összes képesség fenntartásának és működtetésének aggregált költségeit is.

Mivel még csak kísérleti eszközökről és prototípusokról van szó, talán még korai ezek csoportosítása, de két fő fejlesztési irányzat már most is jól elkülönül és ezek sok szempontból markánsan különböznek is egymástól. Az első csoportba tartoznak a jellemzően nagy teljesítményű, önálló alegységek, kisebb táborok vagy táborrészek ellátására alkalmas rendszerek. Ezek a méretüknél és tömegüknél fogva szinte kivétel nélkül egy vagy több szabványos konténerre épülve kerültek kialakításra, de a mobilitásuk így is korlátozott. Noha a polgári rendszerekhez képest az egy-két órás települési és bontási idő extrém gyorsnak számít, ez még mindig nem teszi lehetővé, hogy gyorsan mozgó katonai egységeket kísérjenek.

A kisebb mobilitásért cserébe ezek a berendezések rendkívül jól bővíthetőek és skálázhatóak. Jellemzően teljes kiépítésűek, azaz valamennyi mikrogrid elemet tartalmazzák, többnyire még a nagyfeszültségű távvezetékekhez való kapcsolódás is megoldott, vagy csekély átalakítással megoldható. A konténeres kialakítás egyébként is nagyfokú modularitást tesz lehetővé, a várható körülményeknek és az alkalmazói igényeknek megfelelően könnyen módosítható pl. az akkumulátorok mennyisége és kapacitása, vagy megoldható a többféle nemzeti tábori villamos hálózatokra (pl. 230 V / 50 Hz vs. 110 V / 60 Hz) történő, akár egyidejű táplálás is. Napjainkban a korszerűtlen nagyteljesítményű tábori aggregátorok leváltására szánják őket.

A másik jellemző megvalósítás a rendkívül mobil, percek alatt üzembe helyezhető és bontható, de kisebb teljesítményű eszközöké. Ezek tipikus implementációja az ún. szolár-utánfutó, ahol egy vontatható alvázra telepítik a napelemeket, az akkumulátorokat és a vezérlést, de az aggregátort nem. Itt arra a koncepcióra építenek, hogy a gyorsan mozgó kis katonai egységek (pl. egy híradó állomás) saját áramellátása gépjárműfedélzetről vagy kisméretű aggregátorról megoldott, de mivel az áramellátás része a komplex célrendszernek (pl. a híradó komplexumnak), nem annak cseréjére, hanem inkább kiegészítésére szánják őket, mintegy utólagosan hozzáadva a hibrid rendszerek előnyeit. Ennek jegyében az ilyen, nem teljes, hibrid rendszerek sokféle „külső” aggregátorral képesek együttműködni, de a villamos távvezetékekhez történő csatlakoztathatóság egyáltalán nem elvárás velük szemben. A tervezők természetesen itt is törekszenek a modularitásra, de az alváz mérete és terhelhetősége e tekintetben nyilvánvalóan komoly akadályt jelent pl. az akkumulátorok mennyiségének variációja szempontjából.

A HIBRID VILLAMOS RENDSZEREK VEZÉRLÉSE

A hibrid rendszerek vezérlésének elvei

A hibrid rendszerek vezérlését hardveresen napjainkban minden esetben egy a feladathoz skálázott számítástechnikai eszköz, számítógép [12, 210 o.] valósítja meg. Ehhez kapcsolódnak az érzékelő elemek (szenzorok) és a beavatkozó elemek (kapcsolók), illetve rendkívül fontos a szoftver, vagyis az az algoritmus, amely megteremti az optimális termelés-felhasználás arányt.

Mind a polgári, mind a katonai hibrid rendszerek elsődleges célja a fosszilis tüzelőanyag felhasználás csökkentése, ezért a termelés során mindig a megújuló források használata élvez prioritást. A megújuló források által termelt villamosság polgári rendszereknél (napelemeket feltételezve egy inverteren¹³ keresztül) közvetlenül a fogyasztói hálózatra kerül, míg katonai rendszereknél minden esetben az akkumulátorokat tölti. Ennek oka a folyamatos rendelkezésre állás biztosítása. Amíg az akkumulátorok és a fogyasztók közötti kapcsolat ép, a rendszer más elemeinek esetleges kiesésétől függetlenül mindaddig biztosított a folyamatos áramellátás, amíg az akkumulátorok teljesen le nem merülnek. Ez az idő egy jól megtervezett

¹³ Villamos egyenfeszültségből váltakozó feszültséget előállító berendezés.

rendszernél több óra kell, legyen, így bőven adva lehetőséget az üzemeltetőknek a beavatkozásra.

Amennyiben a megújuló források tartósan nem képesek a fogyasztók által az akkumulátorokból kivett energiamennyiség pótlására, akkor szükséges elindítani a generátorokat. Ezt általában az akkumulátorok töltöttségének egy kritikus szint alá csökkenése váltja ki, ami az általam ismert rendszereknél 20 % körül van, de a konkrét konfigurációtól és a fogyasztóktól függően mindig a megkívánt minimális üzemi tartálékhoz állítják be, sőt akár bizonyos paraméterek függvényében dinamikusan változhat is.

A vezérlés tervezési alapelveinél érdemes még megemlíteni a fogyasztók prioritizálhatóságát. Ez annyit tesz, hogy túlterhelés esetén, vagy ha valamilyen meghibásodás miatt a rendszer nem képes teljes kapacitással működni, akkor a kevésbé fontos fogyasztói csoportok (pl. sátrak klimatizálása) leválasztásra kerülnek annak érdekében, hogy a létfontosságú alrendszerek (pl. kommunikáció) működőképesek maradhassanak. Ez egy olyan képesség, ami elvben egy egyszerű aggregátor esetében is megvalósítható lenne egy plusz berendezés hozzáadásával, de a hibrid rendszereknél elég csupán a meglévő szoftvert módosítani hozzá.

A fenti alapelvek csak egy adott konfiguráció optimális működését szabályozzák, vagyis a prioritizált rendelkezésre állás követelménye mellett az aggregátorok üzemidejének minimalizálását. Ugyanakkor a vezérlésnek támogatnia kell az adott hibrid rendszer megvalósításának (konfigurációjának) teljes spektrumát. Ez annyit tesz, hogy ha a rendszer működhet különböző mennyiségű és teljesítményű akkumulátorok, napelemek és aggregátorok többféle összeállításában is, akkor azt a vezérlésnek is kezelnie kell. Ennek érdekében a vezérlést hardveresen több input és output csatornával kell ellátni, míg a szoftver oldaláról is lehetővé kell tenni az egyes konfigurációkhoz optimális algoritmus alkalmazását. Ez a jelenleg működő prototípusok esetén még kézzel történik, tehát a rendszerelemek megváltoztatása után módosított paraméterekkel újraindítják a vezérlést, de piacérett termékek esetén valószínűleg elvárás lesz a rendszerelemek „hot-swap”¹⁴ variálhatósága.

Látható, hogy a hibrid rendszerek csak akkor képesek a tőlük elvárt működésre, ha a rendszerelemek megfelelő skálázása mellett a vezérlés is elég intelligens, mindamelllett kellően gyors és pontos. A fejlődés trendjéhez tartozik az is, hogy míg a hagyományos katonai aggregátorok többsége úgy lett kialakítva, hogy folyamatosan igényli a kezelőszemélyzet jelenlétét, a hibrid rendszerek felépítéséből adódóan triviális a többé-kevésbé autonóm működés. Mivel a vezérlés mindenképpen része a rendszernek, bizonyos ergonómiai vagy a rendszer üzembiztonságát javító funkciók kialakítása lényegében nem jelent plusz hardverköltiséget csak némi programozói munkát.

A vezérlésre alkalmazott informatikai megoldások

A hibrid villamos energia ellátó rendszerek vezérlése három főbb részre bontható, a rendszer állapotáról, működéséről információkat szolgáltató szenzorokra, a vezérlő algoritmust megvalósító informatikai eszközökre és a beavatkozó elemekre. A szenzorok villamos paramétereket (túlnyomóan feszültség és áramerősség) mérnek, illetve hőmérsékletet. Más érzékelő (pl. szélgenerátornál a fordulatszám-érzékelő) csak elvétve fordul elő az ilyen berendezéseken. A beavatkozó elemek szintén elég homogén képet mutatnak, lényegében csupán nagyszámú mágneskapcsolóról, néhány hőkioldóról van szó. Bár a kisebb teljesítményű szolár-utánfutókon félvezető kapcsolókat is alkalmazhattak volna, talán az anyacégek¹⁵ hagyományai miatt minden esetben ragaszkodtak a mágneskapcsolókhoz.

¹⁴ Az elektronikus eszközök azon képessége, ami lehetővé teszi egyes részelemek működés közbeni cseréjét, anélkül, hogy a teljes rendszer működésében ez zavart okozna.

¹⁵ A hibrid rendszereket fejlesztő cégek többségének nem ez a fő profilja. Az esetek többségében valamilyen hagyományos villamos energetikai cégnek a leányvállalata felelős az újszerű megoldások fejlesztéséért.

Egyértelmű tehát, hogy a vezérlés minden szempontból leginkább érdekes része az alkalmazott informatikai megoldás.

Miután a katonai hibrid rendszerek még csak prototípus szinten léteznek, nincs általánosan elfogadott „kvázi-szabvány” megoldás a vezérlő algoritmus implementálására. Erre a célra számos az informatikából ismert architektúra is alkalmas lehet. A rendszer összetettségétől és teljesítményétől függően egy 8 vagy 16 bites programozható kontroller ugyanúgy használható, mint egy mikroszámítógép (pl. Raspberry) vagy akár egy nagyteljesítményű PC. Ahogy a már működő rendszerek esetében viszonylag jól elkülöníthetőek a nagyobb teljesítményű konténeres rendszerek a mobil változatoktól, úgy a vezérlés kialakítása tekintetében is jól megfigyelhető két markánsan különböző eljárás.

A mobil szolár-utánfutók minden esetben valamilyen egyszerűbb programozható logikai vezérlőt (PLC)¹⁶ alkalmaznak, amelyek kis méretek és tömeg mellett, számos változatban, igen szerteágazó képességekkel szerezhetőek be. Az általam megismert eszközökben Siemens, Omron és Wago gyártmányú PLC-k voltak megtalálhatók. Ennek a megoldásnak nagy előnye, hogy PLC-k szabványos ki- és bemenetekkel valamint szabványos programozási nyelvekkel rendelkeznek. A korszerűbb eszközök már időzítőt és számlálóáramköröket is tartalmaznak és a programnyelvük utasításkészletében olyan elemek is megtalálhatóak, mint a feltételes ugróutasítások vagy a szubrutinhívás. Ezekkel együtt a jelenleg akár már 100 euróért is beszerezhető PLC-k olyan feladatok megoldására is alkalmasak, amelyekhez néhány éve még komoly számítógépek voltak szükségesek.

A PLC-k a szerszámgépek vezérlésére használt félvezetős logikai áramkörökből jöttek létre, ezért az ipari környezetben való alkalmazásuk ma is triviális. Ennek köszönhetően igen sok PLC már eleve el van látva azokkal a védelmi megoldásokkal, amelyek alkalmassá teszik őket a terepi felhasználásra. Mivel hődisszipációjuk alacsony, nem igényelnek aktív hűtést és olcsón kialakíthatóak az IP65, IP67 védelmi szintnek megfelelő eszközök is.

A PLC-s megoldás hátrányai a korlátozott számítási teljesítmény, a rugalmatlanság és a korlátozott ergonómia. Annak ellenére, hogy a korszerű PLC-k is igen jelentős számítási teljesítményt nyújtanak, egy bizonyos szint felett a gyártók már áttérnek a teljes értékű folyamatirányításra is alkalmas számítógépek alkalmazására. Ennek oka nem abban keresendő, hogy a félvezetők mai integráltsági fokán nem lehetne erősebb processzorokat alkalmazni, hanem a bonyolultabb logikai modellek már nem követhetőek a PLC-k programozására használt gépközel programnyelvekkel. Ahol a logikai modell már csak magasabb absztrakciós szintű programnyelvvvel hozható létre, az már a számítógépek világa.

A PLC-k programját szinte minden esetben egy PC-n futó, igen egyszerű fejlesztői környezetben hozzák létre és többnyire még ma is soros porton, ritkábban USB-t vagy hálózati interfészt használva töltik fel az eszközre. Ez egyben azt is jelenti, hogy a terepi viszonyok közötti programmódosításuk nem igazán életszerű. A korlátozott ergonómia azt jelenti, hogy a PLC-k manapság megszokott megjelenítő funkciókkal és beavatkozási lehetőségekkel nem rendelkeznek. Állapot és státuszkijelzésre LED-eket, esetleg szegmensekből álló LCD panelt kapnak, amelyekkel és néhány gombbal egyszerűbb menürendszerek is kialakíthatóak, de ezek nem alkalmasak a teljes körű ellenőrzésre így a tesztelésre sem. Az utóbbi egy-két évben már kaphatóak 7-8 colos érintőkijelzővel szerelt PLC-k is, ám ezek inkább csak a kezelést teszik egyszerűbbé és látványosabbá, a PLC-k lehetőségeit nem terjesztik ki számottevően, ráadásul a legtöbb megjelenítő nem képes biztosítani a terepi katonai eszközöknél elengedhetetlen, minden időben való láthatóságot [12, 244 o.].

A nagyobb teljesítményű konténeres rendszerek vezérlése minden esetben számítógépen futó programmal megoldott. Ez egy fix konfiguráció esetében könnyedén megoldható lenne

¹⁶ PLC – Programmable Logic Controller.

PLC-vel is, de a kivitelező cégeknek nincs végleges gyártmányuk illetve nem is terveznek ilyet, így nem tudnak lemondani a számítógépes megoldás nyújtotta rugalmasságról. Az ilyen nagy értékű berendezéseknél egyáltalán nem szokatlan, hogy nem egy uniformizált termék kis szériás sorozatgyártására rendezkednek be, hanem rendelésre, manufakturális jelleggel építik meg az egyes példányokat. A konténeres rendszerek egyik legfőbb vonzereje márpedig az, hogy az alkalmazók igényeinek (és pénzügyi lehetőségeinek) illetve a várható bevetési területeknek a függvényében számos konfiguráció kialakítható azonos bázison.

Az itt alkalmazott platform tekintetében manapság már igen nagy a választék. A szükséges számítási kapacitást, a könnyű bővíthetőséget és a képernyő-billentyűzet kombináció jelentette felhasználói ergonómiát akár Android-os alapon, vagy egy olcsó Raspberry-Pi miniszámítógéppel is lehetne biztosítani, de a gyakorlatban mégis a PC-s alap kínálja a legnagyobb lehetőségeket.

Az általam ismert valamennyi nagyobb teljesítményű katonai hibrid áramellátó berendezés egy Windows operációs rendszert futtató PC-t, egy esetben laptopot használ a rendszer vezérlésére. A szoftverek minden esetben egyedi fejlesztések, a gyártók legalább annyira titkolják a felépítésüket, mint a gyakran szintén egyedi akkumulátoraikat. Ezek a programok nyilvánvalóan sokkal részletesebb beállítási lehetőségeket tesznek lehetővé, és bár adott esetben még nem mentesek a hatásvadász marketingelemektől, valóban sok vizuális információt képesek nyújtani, amelyek segítségével tovább optimalizálható a rendszer működése.

Külön érdekesség, hogy a PC-s megoldások esetében mennyire eltérő buszrendszerekre fűzték fel a vezérléshez tartozó szenzorokat és beavatkozó elemeket a gyártók. Általában a legkézenfekvőbb megoldásként a PCI-E foglatba illeszkedő bővítőkártyát preferálják a kivitelező cégek, de a laptopos megoldáshoz, USB-n keresztül vezérelt külön kapcsolódobozt konstruáltak. Az egyik gyártó pedig egy meg nem nevezett ipari buszrendszert alkalmazott, a masszív árnyékolt csavart érpáras kábelek alapján valószínűsíthetően a Profibus¹⁷ egy verzióját, amit az anyacég profilja is sejtet.

A nyilvánvaló előnyök mellett a PC-k és kiegészítők ára nem nevezhető igazi hátránynak, mivel a teljes rendszer bekerülési költségeihez képest eltörpülnek. A konténerekben az igen méretes és nem éppen könnyű akkumulátorok társaságában a kiterjedésük sem okozhat gondot. Igazából éppen a terepi működés követelményeinek való megfeleltetés jelent megoldandó konstrukciós problémát, így némi nehézséget.

HIBRID VILLAMOS RENDSZEREK VEZÉRLÉSE TEREPI KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT

Informatikai eszközök terepi kivitele

A visszafogott üzemanyag fogyasztásból eredő műveleti előny biztosítása, mint fő célkitűzés, illetve számos egyéb elvárás is gyökeresen más megközelítést kíván a hibrid rendszerek tervezésekor és kivitelezésekor, amennyiben katonai felhasználásra készítenek fel egy ilyen eszközt. Ezt a fajta alkalmazói igényt számos paraméterben fel lehet fedezni, amelyek együttesen, mint „terepi kivitel” fogalmazódnak meg.

Fontos megjegyezni, hogy egy eszköz nem lesz terepi kivitelű attól, hogy katonák használják. Példának okáért a legtöbb manapság a katonák által használt PC egyszerű irodai eszköz. Katonai értelemben a terepi kivitel nem is egyfajta off-road képességet jelöl, hanem azt jelenti, hogy az adott eszköznek a hétköznapi infrastruktúrától távol, műveleti területen, „terepen” kell működnie. Ez a triviális környezeti viszonyok túrésán kívül abban is jelentkezik, hogy ezek az eszközök nem számíthatnak a polgári megoldásokéhoz hasonló

¹⁷ PROcess Field BUS. Európában kifejlesztett és elterjedt ipari automatizálási buszrendszer.

„gondos” bánásmódra, a használat során mindig alávetik őket a katonai célok teljesülésének. A terepi alkalmasságot meghatározó elvárások két fő részből állnak, a működés szempontjából káros külső tényezőkkel szembeni ellenálló-képességből, valamint a speciális igényeknek való megfelelésből.

A környezeti hatás szempontjából legfontosabb, általános követelmény-jellemzők, amelyekkel szemben egy eszköznek valamilyen szintű ellenállást kell tanúsítani, az alábbiak [12, 243-244 o.]:

- Víz, nedvesség
- Hőmérséklet
- Por, szilárd szennyeződések
- Légnymás
- Vegyi anyagok
- Rázkódás
- Esés, ejtés, ütés, gyorsulás
- Kopás
- Elektromágneses sugárzás
- Extrém akusztikus hatások

Polgári alkalmazáskor ezek többségére nem is adnak meg tűrést, hiszen pl. a lakossági eszközöknél egyértelmű, hogy csak szobai környezetben vagy legalábbis az emberek komfortzónáján belül lesznek használva, míg az ipari berendezéseknél az adott feladatkörben kritikus paraméterekre adnak meg komolyabb elvárásokat. A terepi eszközöknél a terepi körülmények azt jelentik, hogy a bevetés valamennyi tervezett helyének klimatikus viszonyaival, a végtelen saját és az esetleges szándékos ellenséges tevékenységgel szemben is védelmet kell biztosítani – az ésszerű határokon belül.

A gyakorlatban általános terepi követelmény a minimum a fröccsenő víz elleni védelem, a teljes porvédelem, valamint a legalább -25 és + 50 °C fok közötti hőmérsékleten, tetszőleges relatív páratartalom melletti üzemképesség. A legtöbb terepi eszköznel elvárás a túlnyomás biztosítása nélküli légi szállíthatóság, illetve a terepjáró gépkocsin, harcjárművön történő szállítással járó rázkódás tartós elviselése is. A többi paramétert az eszköz jellegétől függően definiálják. Ruházati anyagoknál pl. igen fontos a kopás, a szakítószilárdság és a nyújthatóság, de nincs nagy jelentősége az elektromágneses sugárzásnak, ami viszont az elektronikus berendezéseknél, így a hibrid villamos rendszerek vezérlésénél is igen fontos, a működést befolyásolni képes tényező.

Az informatikai eszközöknél fontos követelmény, hogy burkolatuk legyen kopásálló és álljon ellen minden rendszeresített vegyi mentesítő anyagnak, valamint nyújtson mechanikai védelmet is. Többé-kevésbé szabvány követelmény, hogy a terepi informatikai eszköz maradjon működőképes három egymást követő 50 cm magasságból betonlapra történő ejtést követően, valamint extrém, akár 120 dB –t meghaladó akusztikus hatásnak kitéve is.

A környezeti hatások tekintetében a legtöbb alkalmazási környezetre vonatkozóan szabványok segítik a megfelelő tervezést és kivitelezés. A villamos működésű eszközök tokozására vonatkozóan a por-, a víz-, illetve a mechanikai védelem tekintetében közismert polgári besorolás az ún. IP védelem.¹⁸ Egyszerűsége és ismertsége okán gyakorta alkalmazzák katonai területen is. Az „IP” jelölés utáni első szám a szilárd testek (por) szerkezetbe jutása elleni mechanikai védettség szinte, ahol a 0 védettség hiány, míg a 6 a tökéletes védettség. A második szám a vízállóságot jelöli, a 0 itt is a védettség hiánya, az 5, a kisnyomású vízszűrő

¹⁸ IP – International Protection Marking (Nemzetközi Védettség Jelölés). Leírását az USA Nemzeti Szabványügyi Intézete (ANSI) IEC 60529 szabvány tartalmazza, amelyet Magyarországon MSZ EN 60529.2001 jelzéssel honosítottak.

elleni védetség, a 8 az 1-3 méter mélységig a víz alatti használhatóság jelölése. A 9-es jelzésű készülékek nagy nyomású víztömeg alatt is működőképesek. Ritkábban használt a mechanikai szilárdságot jelölő harmadik szám 0-9, amelyet bizonyos tömegű tárgyak bizonyos magasságokból történő leejtésének energiáját adják meg, mint elviselendő esés-energiát [11, 31 o.], illetve a szabványhoz tartoznak még kiegészítő betűjelölések is.

Természetesen a többi környezeti tényező tekintetében is számos polgári szabványosítással foglalkozott testület adott ki mértékadó dokumentumokat, például az elektromágneses kompatibilitás (EMC) tekintetében is legalább 4-5 nagyobb szervezet gondoz több tucatnyi sztenderdet, ám ezeket katonai eszközöknél csak elvétve használják.

Magyarországon, ahogy sok más kisebb, szövetségi rendszerhez tartozó államnál, jelenleg nincsenek önálló katonai szabványok. Általában az ún. NATO STANAG¹⁹-eket honosítjuk és használjuk, ezek hiányában pedig gyakorta az USA MIL STD²⁰-k jelenthetnek iránymutatást, amelyek egyébként is többnyire a STANAG-ek bázisát képezik. A hőmérsékleti viszonyokra és a páratartalomra vonatkozó ajánlásokat a STANAG 2895 tartalmazza, illetve jóval bővebben a MIL-STD-810 tárgyalja a klíma követelményeket. Az elektromágneses interferencia tekintetében nincs általános STANAG, az egyes eszközcsoportokra vonatkozó specifikációk tartalmazhatják ezeket, de az USA katonai szabványai közül a MIL-STD-461 általánosságban is felöleli ezt a kérdést. Mechanikus ellenállóságra szintén generális érvényű STANAG, az USA szabványok közül a MIL-STD-883 foglalkozik vele.

A nem környezeti viszonyokból fakadó terepi elvárásokat az eszköz jellege és az alkalmazás helye együttesen határozza meg, így igen sokfélék lehetnek. Villamos energiaellátó berendezések vezérlése esetében én az alábbiakat emelném ki:

- Egyszerű, ergonomikus kezelés, nagyfokú automatizáltság, a véletlen hibák elleni védelem
- Nagyfokú mobilitás, gyors telepíthetőség és bonthatóság, kompakt méretek és kis tömeg
- Minimális karbantartási igény, magas hibatűrés
- Vizuális álcázhatóság, minimális zaj, csekély kompromittáló kisugárzás
- Távvezérlés lehetősége

Ezek többségére nem léteznek szabványok, a katonai berendezések esetében a mindenkori alkalmazói igények alapján a megrendelők írják elő az eszköz harcászati-műszaki paramétereiben. Kivételt képez az álcázás, álcázhatóság követelménye. Minden tábori használatú haditechnikai eszköz esetében alapvető elvárás az álcafestés, ami Magyarországon a RAL 6031 jelzésű matt zöld színt jelenti. Mivel az áramellátó rendszereken érzékeny adatok nem találhatóak, a felderítésük pedig vizuálisan jóval egyszerűbb, a kompromittáló kisugárzás megengedett mértékét nem tartom szükségesnek definiálni.

A hibrid rendszerek vezérlése terepi kivitelben

A CL15 gyakorlaton szereplő katonai hibrid villamos energia ellátó eszközök elég pontosan reprezentálták a jelenlegi európai technológiai színvonalat és a fejlesztés trendjeit. Az ott a vezérlésen alkalmazott védelmi megoldások is jó áttekintést adnak a létező és működő rendszereken fellelhető korszerű technikákról.

Ahogy maguk a berendezések is két nagyobb csoportba voltak sorolhatók, úgy a terepi körülményeknek való megfeleltetés tekintetében is elsősorban két eltérő elképzelés mentén kerültek kialakításra a vezérlés elemei. Annyiban mérettől és teljesítménytől függetlenül

¹⁹ STANdardization AGreement. NATO szabványosítási megállapodás, amelyet jóváhagyás után valamennyi tagországnak alkalmaznia kell.

²⁰ MILitary STandarD – Katonai szabvány. Az USA védelmi minisztériuma által kiadott szabványok.

minden kivitelező megegyezett, hogy a szenzorok és mágneskapcsolók esetében nem alkalmaztak különleges védelmi megoldásokat. Az alkalmazott érzékelők minden esetben átlagos, kereskedelmi forgalomban kapható, de ipari kivitelű darabok voltak. Ezek valójában olyan egyszerű szerkezetek, hogy a megfelelő szerelés esetén semmilyen körülmények között nem képezhetik a vezérlés gyenge pontját. A felhasznált mágneskapcsolók is minden esetben kereskedelmi termékek voltak, nem egyszer az anyacég gyártmányai. Ezek a szerkezetek működési elvükből és a kiforrott technikából adódóan a környezeti hatások egy jelentős részére érzéketlenek. Egy erős ütés, a por vagy a víz természetesen tönkretelhetné őket, de akár IP 685-ös tokozású kivitelben is viszonylag olcsón beszerezhetők, amelyek a megfelelő szerelés esetében önmagukban garantálják a terepi körülményeknek való megfelelést.

A hagyományos szolár-utánfutók egyikén sem alakítottak ki külön védett helyet a vezérlés számára. Egész egyszerűen a megfelelő IP védettséggel rendelkező PLC-t és mágneskapcsolókat használtak fel, amelyeket más tervezési elvek mentén helyeztek el az alvázon. A kábelek por és vízálló bevezetését a PLC-k és kapcsolók saját tömszelencés bevezetései biztosították. A kézi kapcsolók gumisapkás kivitelűek voltak. A PLC-k és a mágneskapcsolók annyira elnyűhetetlen eszközök, hogy néhány esetben közvetlenül a komoly rázkódásnak és vibrációnak kitett alvázra szerelték őket, mindössze egy vékony gumialátétet használtak a behatások csillapítására. Ahol a vezérlés elemei az alváz olyan helyére kerültek, ahol a ki voltak téve a felfröccsenő sárnak, ott a tisztíthatóság érdekében elhelyeztek egy fém vagy műanyag pajzsot, amelyek viszont hangsúlyozottan nem jelentettek önmagukban semmiféle védelmet, esetleg annyiban járultak hozzá a működés fenntartásához, hogy a passzív hűtések hatékonyságát a hűtőbordákra száradt sár nem volt képes lerontani.

A konténeres bázisú berendezések esetében a konténeren belül semmilyen víz- vagy por elleni védelmet nem alkalmaztak, azt maga a konténer biztosította. A konténerek ajtóí erős gumiszigetelést kaptak és legalább 20 cm-es lábakon álltak, így azokba sem por, sem víz nem juthatott semmilyen körülmények között. A kábelátvezetések természetesen megfelelően méretezett tömszelencéken keresztül történnek. Az aktív elemek hűtésére sem alkalmaztak külön technikát, mivel valamennyi konténer légkondicionált volt. Ennek oka nem a kezelőszemélyzet kényelmének biztosítása volt, hiszen ezeket az eszközöket alapvetően teljesen automatikus működéshez tervezték, hanem az akkumulátorok hatékonyságát kívánták így biztosítani.

A CL15 gyakorlaton bemutatott hibrid eszközök mindegyike (még a szolár-utánfutók is) nagy energiasűrűségű lítium-polimer akkumulátorokat alkalmazott az energia tárolására. Ezek viszont a legtöbb ilyen eszközhöz hasonlóan nagy hidegben sokat veszítenek a kapacitásukból, -20 °C alatt akár a névleges töltésük 80-90 %-át is elveszíthetik [13, 638-639 o.]. A szolár-utánfutók esetében erre nem is találtak megoldást, extrém hidegben egyszerűen jobban hagyatkoznak az aggregátorokra. A táborok villamos ellátásának szívéét jelentő nagyobb rendszereknél ez már komolyabb problémát jelentene, ezért a gyártók vállalták a klimatizálás extra energiaigényét, amely még mindig jóval szerényebb veszteséget jelent, mint amit az akkumulátorok drasztikus kapacitásvesztése okozna.

A fentiek okán a vezérlés algoritmusát adó PC-k védelme is jelentősen egyszerűsödött, hiszen lényegében már csak a mechanikus hatásoktól kell azokat óvni azokat. Csupán érdekesség, hogy az acél konténer igen jelentős, az épületekét jóval meghaladó védelmet képes biztosítani az elektromágneses hatások ellen is. A konténer, mint uniformizált bázis ellenére, mindegyik PC kialakítása egyedi volt. Az egyik gyártó a konténer belső falára rögzített konzolon egy erősített kivitelű ipari PC-t helyezett el. Egy másik csupán egy közönséges brand PC-t használt erre a célra, bár hangsúlyozták, hogy a vibrációra, ütődésekre érzékeny merevlemez korszertű SSD-re cserélték, illetve ügyeltek a jó láthatóságot biztosító nagy fényerejű IPS kijelzőre. A harmadik megoldás egy egyszerű polgári kivitelű laptop volt. A cég jelezte, hogy a CL15-re összeállított konfigurációhoz akkor csupán ez állt a

rendelkezésükre, de a vezérlő szoftvere minden probléma nélkül telepíthető a katonai laptopokra is.

Két mobil és egy „köztes” berendezést külön is említék, mert tervezésüknek és kivitelezésüknek van néhány sajátossága, ami némileg eltér a két fő vonaltól, és ez a vezérlésben is tetten érhető. Egy osztrák cég gyártja a nagyon innovatív „okos virágot”. Ez tulajdonképpen egy négy ember által mozgatható műanyag doboz, amelyből gombnyomásra virágszerűen kiemelkedik, majd szirmokhoz hasonlóan kinyílik egy sor napelem. A mintegy 2,5 m²-nyi PV felület ebben a kategóriában egyedülálló módon, egy GPS vevő segítségével követi a napot a pályáján, hogy a napsugarak mindig az optimális merőleges szögből ériék. A viszonylag kis alaphoz képest nagy felület erős szélben még a rögzítés ellenére is instabillá válhat, ezért a 70 km/h –át meghaladó szél esetén a virág automatikusan bezáródik.

Ezek a plusz képességek nem jelenthetnek igazán nagy megterhelést a vezérlés számára, de a rendszer kiegészül még néhány szenzorral, illetve számos szervomotorral is. Az osztrák mérnökök nem akarták elárulni, hogy milyen informatikai eszköz képezi a vezérlés központját, de szinte biztos, hogy nem egy egyszerű PLC, hanem egy mikroszámítógép, mivel egyetlen GPS helyadat alapján kell kiszámítani a PV felület mindenkor optimális beállítását két tengely mentén, ami egy viszonylag számításigényes feladat. Annyi tudható, hogy a vezérlés alkatelmei nem IP védettek, az egészet egy több csavarral és gumigyűrűvel lezárt üreg rejti. Mivel a rendszer működése alapesetben teljesen automatikus, csak néhány kapcsoló és visszajelző került védett kivitelben a burkolatra – de szállításkor, vagy telepített állapotban ezeket is fedél takarja.

Az egyik brit cég rendkívül ötletesen gondolta újra a szolár-utánfutót. Nem hagyományos merev üvegtáblákat²¹ kell kihajtogatni az alvázról, hanem egy dobozzerű felépítményben szőnyegszerűen van felcsavarva a mintegy 70 méternyi flexibilis napelem.²² A felépítmény biztosítja a PLC alapú vezérlés megfelelő védelmét is, ugyanakkor a kezelőszervek a szigetelt ajtók nyitása után könnyen, ergonomikusan hozzáférhetőek. Ez a koncepció jóval több lehetőséget hagy a különféle kiegészítők elhelyezésére, így a szolár-utánfutók között messze ez a megoldás volt a legjobban skálázható és modulokkal az igényekhez igazítható, amelyhez természetesen a vezérlést is adaptálták.

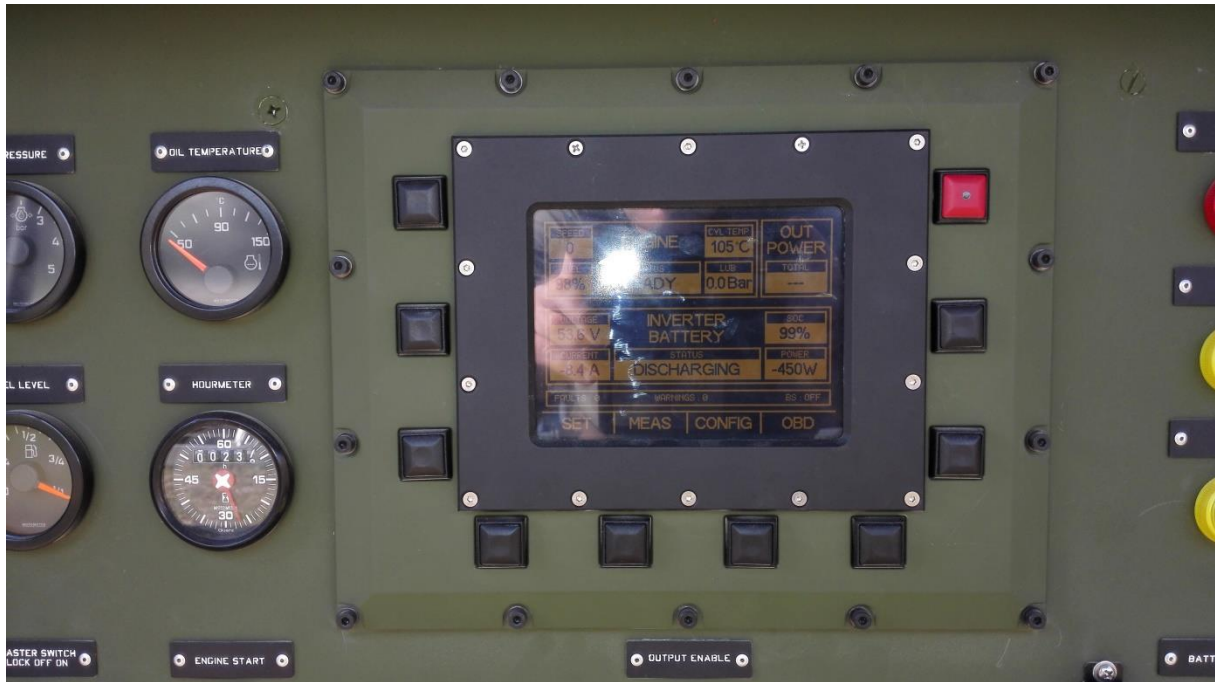
A gyakorlaton a Görögországot egyedül képviselő cég terméke minden szempontból egyedülálló volt. Lényegében ez volt az egyetlen megoldás, ami nem egy civil rendszer módosításával jött létre, hanem eleve katonai célra szánták, ami számos részletben megmutatkozott. Teljesítménye alapján inkább a szolár-utánfutók kategóriájába tartozott, de nem volt mobil, a kb. 1 m³-es kompakt berendezés targoncás, darus és helikopteres emelésre is fel volt ugyanakkor készítve. A görög szakemberek elsősorban automatikusan működő létesítmények, pl. híradó állomások ellátásához optimalizálták. A rendszer szintén unikális módon nem egy külső aggregátort használt, hanem azt a kompakt egység tartalmazta, igazából csak a napelemek elhelyezése nem volt szabott. A tervezésnél semmilyen későbbi bővíthetőségnek nem hagytak helyet, viszont minden olyan módszert alkalmaztak, ami elősegítette a tartós üzemet. Az alkalmazott akkumulátorok az átlagosnál kisebb energiasűrűségű, de a szélsőséges hőmérsékleten jóval megbízhatóbb Lítium-ferrofoszfát típusba tartoztak [8, 95. o.].

A vezérlés lelke egy mikroszámítógép, amely önmagában is IP67-es védelmi szinttel büszkélkedhet és valamennyi többi rész szintén önmagában is IP67-es minősítéssel bír, mindezekon túl a legkritikusabb részeket még duplikálták is. Az energetikai folyamatok

²¹ A szilícium poli-, illetve monokristályos napelemtáblák a legelterjedtebbek és a legolcsóbbak. A legkorszerűbb többtámenetes típusok hatásfoka megközelíti a 40 %-ot [1, 49 o.].

²² Általában különleges félvezetőkből, pl. réz-indium-szelenidből készülnek. Hatásfokuk jelenleg még 20 % alatt van, de számos olyan előnyös tulajdonsággal bírnak, mint a kis tömeg és az olcsó gyártástechnológia, sőt még jelentős fejlesztési tartalékok is vannak a technológiában [1, 50 o.].

menedzselése nem kívánta volna meg a számítógép alkalmazását, de az algoritmus az átlagosnál sokkal több önellenőrző és konfigurációs, sőt önjavító rutint is tartalmaz. A rendszer kezelésére egy nagy fényerejű, akár direkt napsütésben is látható monokróm kijelző és néhány vízálló billentyű szolgál, amelyeket egy masszív fémajtó mögé rejtettek. A görög tervezők alapos munkát végeztek, a cég 5000 órát meghaladó MTBF²³-et adtak meg a készülékre.



4. ábra: a görög hibrid rendszer vezérlőpanele

ÖSSZEZÉS

Mivel a jelenleg ismert villamos áram termelésre alkalmas technológiák közül egyedül az aggregátoros megoldás az, ami minden időben képes terepi viszonyok között is ellátni a katonai egységeket, alkalmazásukról nem mondhatunk le. Ugyanakkor mind a várható műveleti, mind a gazdasági előny okán szükséges a terepi viszonyok között is kiaknázható megújuló energiaforrások bevonása a villamos energiatermelés rendszerébe. A két technológia integrációjából születő hibrid berendezések képesek a kétféle eljárás előnyös tulajdonságait egyesíteni, így hosszabb távon a nagyobb bonyolultság és a magasabb bekerülési költség ellenére is megtérülő (műveleti szempontból is) az alkalmazásuk. Az optimális működést a viszonylagos bonyolultság okán kizárólag korszerű, teljesítményében megfelelően skálázott informatikai eszközökkel lehet biztosítani. Az ilyen eszközöket mindenképpen úgy kell tervezni és alkalmazni, hogy képesek legyenek elviselni mindazt a környezeti illetve a katonai feladatrendszerből adódó romboló hatásokat, amelyeket a rendszer többi eleme is.

A kisebb méretű és teljesítményű hibrid berendezések jellegükből fakadóan kevesebb lehetőséget kínálnak a modularitás és a bővíthetőség terén, ezért vezérlésükhöz tökéletes megoldás a viszonylag olcsó, de megbízható PLC, míg a nagyobb rendszerek vezérléséhez szükséges a teljes értékű számítógépek teljesítménye és az általuk biztosított egyedi konfigurálhatóság. Mindkét csoport esetében járható út az informatikai eszközök a rendszer

²³ Mean Time Between Failures – Meghibásodások között eltelt átlagos idő. A készülékek megbízhatóságára vonatkozó általános mérőszám.

többi elemétől független, védelmének egyedi kialakítása, illetve az is, hogy a rendszer más elemeivel együtt, esetleg az általuk már biztosított megoldásokat használva alakítunk ki megfelelő védettséget.

Magyarország viszonylatában a teljes kiépítésű konténeres megoldások alkalmazásának jelenleg nincs realitása, mivel az ország valamennyi katonai objektumában, még a gyakorlótereken is elérhető a távvezetékes áramszolgáltatás, így nem használható ki a hibrid rendszerek által biztosított előnyök egyike sem. Tartós missziós szerepvállalás esetében pedig viszonylag ritka az önálló magyar jelenlét, szinte mindig nemzetközi kötelék részeként ténykednek a magyar katonák, így az önálló áramellátás igénye itt sem fogalmazódik meg. Mindebből az következik, hogy a konténeres megoldásokkal kapcsolatos terepi informatikai eszközök tekintetében Magyarországnak jelenleg nem kell követelményeket támasztani.

Lényegesen nagyobb az esélye annak, hogy autonóm működésű híradó állomások ellátásához, illetve a szakcsapatoknál rendszeresített tábori eszközökhöz kiegészítő lehetőségként merül fel a hibrid rendszerek alkalmazásának igénye. Ilyen jellegű berendezés konstruálására nem mellesleg a hazai ipar is képes lehet, míg a komplexebb konténeres megoldások valószínűleg meghaladják a magyar cégek lehetőségeit. A vezérlés elemeinek elosztott egyedi védelme, illetve a központosított elhelyezés és védelem kialakítása az ilyen mobil eszközökön terepi követelmények szempontjából egyenértékű, valószínűleg az egyik vagy másik preferálásával elérhető árelőny is eltörlődik a teljes berendezés bekerülési költségéhez képest. Amennyiben más konstrukciós szempont ezt nem írja felül, én rendszertechnikai szempontból mégis a centralizált vezérlés és a hozzá tartozó védelem kialakítását tartom előnyösebbnek, mivel a kezelés így ergonomikusabb, a karbantartás és javítás némileg egyszerűbb.

Felhasznált irodalom

- [1] Végvári Zsolt: A megújuló villamos-energiaforrások felhasználásának lehetőségei harctéri körülmények között, *Hadmérnök*, 1 (2016), 41-55
- [2] Hegedűs Ernő, Fröhlich Dávid: Az R/7 rádióállomás és a Csonka áramfejlesztők gyártásának és alkalmazásának körülményei, különös tekintettel a sereglövesség híradó eszközeinek üzemeltetésére (1927-1945). *Katonai Logisztika*, 1 (2014), 258-266
- [3] *Chapter 15: Fuels, Oils, Lubricants and Petroleum Handling Equipment – Military Fuels and the Single Fuel Conception*, NATO Logistic Handbook, 1997
- [4] Christopher Helman: For U.S. Military, More Oil Means More Death, *Forbes*, November 12, 2009. <http://www.forbes.com/2009/11/12/fuel-military-afghanistan-iraq-business-energy-military.html> (a letöltés ideje: 2015. 11. 23)
- [5] Nanette Cazaubon: A german engineering system brings NATO closer to smart energy targets, *The European Security and Defence Union*, 23 (2016), 56-57
- [6] Végvári Zsolt: A Smart Energy koncepció és eszközei a CL15 logisztikai gyakorlaton, *Haditechnika*, 6 (2015), 30-34
- [7] Gregor Hoogers (Eds): *Fuel Cell Technology Handbook*, CRC Press, London, 2003
- [8] Végvári Zsolt: Akkumulátorok a gyalogos lövész katonák felszerelésében, a fejlesztés lehetséges irányai, *Katonai Műszaki Közlöny*, 2 (2016), 85-101
- [9] Pfisterer GmbH expo és konferencia nyomtatványai
- [10] Tóth Péter, Bulla Miklós, Nagy Géza: Energetika, *Digitális Tankönyvtár*, 2011

- [11] ANSI/IEC 60529-2004 Degrees of Protection Provided by Enclosures (IP Code), *National Electrical Manufacturers Association*, Rosslyn, 2004
- [12] Munk Sándor: *Katonai informatika a XXI. század elején*, Zrínyi, Budapest, 2007
- [13] Yan Ji, Yancheng Zhang, Chao-Yang Wang: Li-Ion Cell Operation at Low Temperatures, *Journal of The Electrochemical Society*, 4 (2013), 636-649