

Végvári Zsolt<sup>1</sup>

## A VILLAMOS ENERGIA JELENTŐSÉGE A KATONAI MŰVELETEK SORÁN

### THE IMPORTANCE OF ELECTRICITY IN MILITARY OPERATIONS

[HTTPS://DOI.ORG/10.30583/2024-TK-Kulonszam-163](https://doi.org/10.30583/2024-TK-Kulonszam-163)

#### **Absztrakt**

*Bár alig kétszáz éves felfedezésről van szó, az emberiség függése a villamos energiától mára kritikussá vált. Az emberi civilizáció egyre inkább rá van utalva a villamos energiára, ennek hiányában a jelenlegi életvitel teljesen elképzelhetetlen. Az, hogy az emberi kultúra fennmaradása ennyire ki van téve egyetlen energiahordozónak általános jelenség, jelen van az iparban, a mezőgazdaságban, a közigazgatásban, de még a családok mindennapjában és természetesen a honvédelemben is. Ám míg a civil és a katonai infrastruktúra egyaránt rászorul a villamos energiára, ez utóbbi néhány szempontból jelentősen eltér a többi területtől. Jelen cikk a villamos energia katonai jelentőségét vizsgálja, külön figyelemmel a villamos energia terepi biztosításának fenntarthatósági szempontjaira.*

**Kulcsszavak:** villamos energia, terepi villamos energia, katonai művelet, szárazföldi csapatok

#### **Abstract**

*Although it is barely two hundred years old discovery, humanity's dependence on electricity is now critical. Human civilisation is becoming increasingly dependent on electricity, without which the current way of life would be unthinkable. The fact that the survival of human civilisation is so dependent on that single source of energy is a general phenomenon, present in industry, agriculture, public administration, even in the*

---

<sup>1</sup> Dr. Végvári Zsolt alezredes, villamosmérnök, NKE HHK Haditechnikai Tanszék egyetemi tanársegéd, e-mail: [Vegvari.Zsolt@uni-nke.hu](mailto:Vegvari.Zsolt@uni-nke.hu), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2543-6049>

*everyday life of families and, of course, in defence. But while both civil and military infrastructure highly rely on electricity, the defence is in some respects very different from the other areas. This article examines the importance of electricity for the military, with a particular focus on the sustainability aspects of providing electricity in the field.*

**Keywords:** electrical energy, field electrical energy, military operation, land troops

## A villamos energia általában

Az International Energy Agency (IEA) 1974 óta gyűjti, összesíti és elemzi a világ csaknem összes államának energia termelési és felhasználási adatait. Ezek alapján jól nyomon követhető az emberiség egyre növekvő energiaéhsége. Az IEA első báziséhez, 1973-hoz képest mára a Föld lakossága megduplázódott, ugyanakkor az 1973-as 254 milliárd GJ-ról 2023-ra 620 milliárd GJ-ra nőtt a primer energia-felhasználás, ami több, mint két-és félszeres növekedést jelent. Ezen belül különösen érdekes a villamos energia arányának változása. Míg 1973-ban a világ teljes villamosenergia-termelése kb. 730 millió GJ (203 TWh) volt, ez mára eléri a 10 milliárd GJ-t (2 790 TWh), vagyis a vizsgált 50 éves időszakban a villamos energia felhasználása globálisan a 13,7-szeresére nőtt, vagyis a világ energiakosarán belül a villamosság aránya csaknem a hatszorosára (5,6) nőtt, ami messze meghaladja minden más szekunder energiahordozó növekményét.<sup>2</sup>

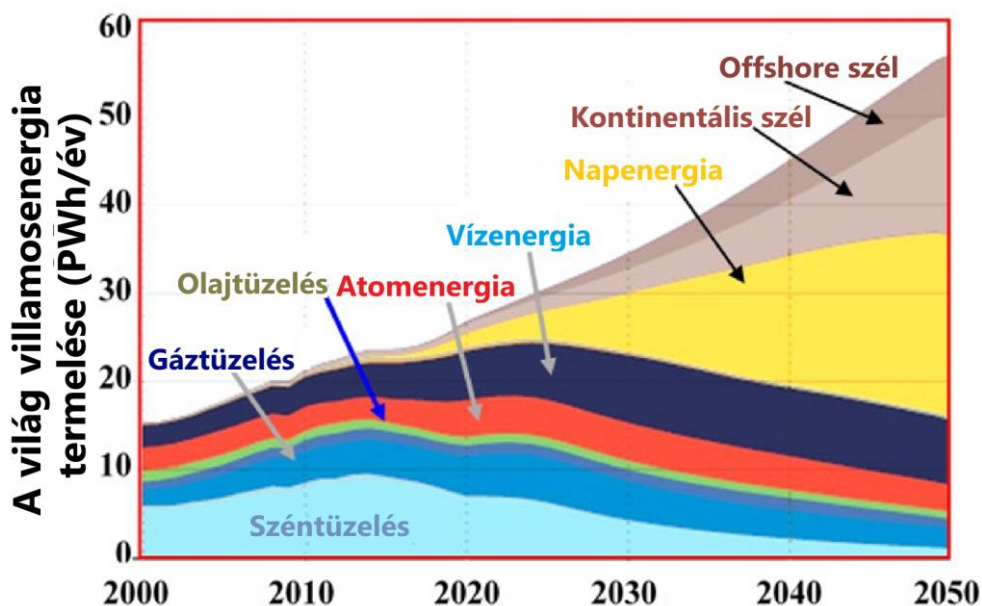
Itt fontos megemlíteni, hogy az energia hivatalos SI szerinti mértékegysége a Joule (J), de a villamosság esetében praktikus okokból a Wh-t szokás használni (egy Wh = 3 600 J = 3,6 kJ), így a továbbiakban mi is ezt a mértékegységet alkalmazzuk. Az is lényeges, hogy primer energia alatt a természetben előforduló energiafajtákat kell érteni, mint pl. a kőolaj, a földgáz vagy akár a napenergia. Ezek viszonylag ritkán kerülnek nyers formájukban felhasználásra, a legtöbbször úgynevezett szekunder energiát, vagyis energiahordozókat állítunk belőlük elő, mint amilyen a motorbenzin vagy akár a villamosság is. A primer-szekunder átalakítás során jelentős veszteségek keletkeznek, ahol a határfok mondja meg, hogy a primer energia mekkora része alakul végül szekunder energiahordozóvá. Mivel villamosságot szinte bármilyen a természetben előforduló primer energiából elő lehet állítani, az egyes

---

<sup>2</sup> („World Energy Outlook 2022” 2022)

eljárások hatásfoka igen eltérő, de ha globális szinten vizsgáljuk, akkor azt lehet mondani, hogy a villamosság túlnyomó részét erőművi technikákkal állítjuk elő, amelynek hatásfoka jó közelítéssel 50%-nak tekinthető.<sup>3</sup>

Összességében jelenleg a világban kitermelt primer energiamennyiségnek mintegy 20%-át használjuk villamos energia előállítására, de a jelenlegi trendek szerint az IEA előrejelzése szerint ez 2030-ra már meghaladhatja a 30%-ot is. Fentiek alapján kijelenthető, hogy a villamos energiának mind a nominális felhasználási mennyisége, mind az összes energia-mennyiségben belüli aránya nőni fog a belátható jövőben.<sup>4</sup>



1. számú ábra. A világ villamosenergia termelésének várható alakulása 2050-ig (a szerző szerkesztése Chrifi-Alaoui alapján)<sup>5</sup>

A villamosság elterjedtségének okaira sok elméletet találhatunk, de én leginkább négy jellemzőjére vezetem vissza:

1. A villamosság rendkívüli konverziós tulajdonságokkal bír. Csaknem bármilyen primer energiából elő lehet állítani valamilyen elemi vagy összetett módszerrel villamos energiát, illetve ez visszafelé is igaz, a villamosságból viszonylag egyszerűen bármilyen más energia előállítható. A lehetséges energiakonverziók eltérő

<sup>3</sup> (Büki 2004)

<sup>4</sup> („World Energy Outlook 2022” 2022)

<sup>5</sup> (Chrifi-Alaoui és mtsai. 2023)

hatásfokúak, de léteznek közöttük olyanok, amelyek hatásfoka jó és ipari mennyiségben is megvalósíthatók, tehát nincs akadálya a villamos energia nagymennyiségű termelésének.

2. A villamos energia a távvezetékek alkalmazásával minimális veszteség mellett továbbítható. A távvezetékhalózat kiépítése ugyan jelentős beruházást jelent, de a későbbi üzemeltetés már csak minimális költséggel bír, míg más energiahordozók, pl. az üzemanyagok szállítása jóval drágább, akár közúti, vasúti, vízi vagy akár csővezetékes módon történik.
3. A legtöbb villamos energiát még hőerőművekkel állítjuk elő, a fűtőanyag elégetése az atomenergia kivételével jelentős emisszióval bír, de a villamos energia vezetékes szállítása, illetve a felhasználása már teljesen emissziómentes, ami pl. a fosszilis üzemanyagok esetében egyáltalán nem igaz. Ráadásul a villamos energia előállításának léteznek teljesen emissziómentes módszerei is, a víz, a szél, vagy a nap energiájának felhasználásával, és a terjedésükkel ezek ára is egyre jobban közelít a hőerőművi termeléséhez. Mindeközben az olajbányászatnak és finomításnak nincsen környezetkímélő alternatívája.
4. Az emberiség jelenleg az információs korban van, vagyis a hatalom forrása nem a föld, vagy a termelőeszközök birtoklása, hanem az információ. Viszont az infokommunikációs technológia teljes egészében a villamos energiára épül. A gépek hajtására, a világításra, a fűtésre léteznek a villamos energiát nélkülöző megoldások is (bár ezek hatékonysága a legtöbbször elmarad a villamosságtól), de az információ tárolására és feldolgozására nincs semmi, ami akár megközelítené a villamossággal működő berendezések félelmetes hatékonyságát. Jelenleg a világgazdaság teljes mértékben a villamossággal üzemeltetett infokommunikációs infrastruktúrára épül, vagyis az információs kor egyben a villamosság kora is.

Bár nem tekinthető egyértelműen az energiapiac meghatározó tényezőjének, de a Magyar Honvédség – akárcsak a korszerű haderők világszerte – az egyik legnagyobb nemzetgazdasági energiafelhasználó. Általánosan elfogadott tény, hogy a lakosságra vetített energiafelhasználás mértéke arányos az adott gazdaság fejlettségével, ugyanakkor a korszerű és energiatakarékos termelési eljárások, főleg az ezredforduló óta, már némiképp torzítják ezt a képet. Ugyanakkor a villamosság aránya az energiamixen belül jól árnyalja ezt a képet, a

villamosság nagyobb mértékű felhasználása néhány kisebb anomáliától eltekintve egyértelműen fejlettebb gazdaságra utal.

ELEMI ELEKTROMOS ENERGIÁKONVERZIÓK ÉS HATÁSFOKUK  
(SZERZŐ SZERKESZTÉSE BREEZE ALAPJÁN<sup>6</sup>)

1. táblázat

| energia megjelenési formája | eszköz, hatás és iránya                                                             |                                    | hatásfok (%) | villamos energia |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------|------------------|
| kinetikus                   |    | generátor, dinamó                  | 90<          |                  |
|                             |                                                                                     | piezo-elem                         | <5           |                  |
|                             |    | villanymotor                       | 90<          |                  |
|                             |                                                                                     | piezo-elem                         | <5           |                  |
| kémiai                      |    | szárakelem, akkumulátor            | 60-80        |                  |
|                             |                                                                                     | üzemanyagcella                     | 60           |                  |
|                             |    | akkumulátor                        | 80<          |                  |
|                             |                                                                                     | elektrolízis                       | >65          |                  |
| fény                        |    | fotovoltaikus (PV) hatás (napelem) | 20-30        |                  |
|                             |  | izzó                               | 5-10         |                  |
|                             |                                                                                     | LED                                | 25<          |                  |
| hő                          |  | Seebeck-effektus (Peltier-elem)    | <10          |                  |
|                             |  | fűtőszál                           | 100          |                  |
|                             |                                                                                     | Peltier elem                       | 5<           |                  |

A fentiek alapján könnyű belátni, hogy a villamosság felhasználási aránya jól mutatja az adott haderő fejlettségét is, különösen a béke idejű működést tekintve, ugyanis ilyenkor a honvédelmi objektumok is javarészt a polgári energetikai infrastruktúrára támaszkodnak. Ez alól csak a polgári infrastruktúrától távol eső létesítmények jelentenek kivételt, mint pl. az amerikai NORAD a Cheyenne-hegységben, vagy az égei-tengeri kis görög szigetek.<sup>7</sup> Magyarországon a kis méretéből és

<sup>6</sup> (Breeze 2019)

<sup>7</sup> (Durul 2022)

viszonylag egyszerű földrajzából fakadóan nincsen olyan katonai objektum, amely ne rendelkezne távvezetékes áramellátással.

A távvezetékek sajátossága, hogy rendkívül magas, olykor több 100 kV feszültségre feltranszformálva, a villamos energiának minimális a szállítási vesztesége, akár több ezer kilométeres távolságok is áthidalhatók néhány % veszteség mellett. Ennek megfelelően (ha most eltekintünk az energiatermelés és felhasználás környezeti hatásaitól) a meglévő erőművi technikák mellett lényegében nincs akadálya a villamos energia további terjedésének.

## **Villamos energia a műveleti területen**

Teljesen más a helyzet a haderők nem béke idejű működése során. Ez nem csak a háborús tevékenységet jelenti, hanem pl. a Magyar Honvédség esetében minden olyan eshetőséget, ahol az Alaptörvény értelmében a magyar katonák bevetethetők. Ilyen esetekben a katonák nem számíthatnak a polgári távvezeték-hálózatra, mert:

1. ilyen soha nem is volt kiépítve az adott területen (pl. Afganisztán hegyeiben);
2. az részben vagy egészben működésképtelen az adott területen (pl. egy árvízi védekezés során);
3. a hálózat kapacitása nem teszi lehetővé a civil felhasználás mellett egy komolyabb katonai erő ellátását (pl. Koszovó).

Tehát katonai műveletek során a csapatoknak csaknem minden esetben maguknak kell megoldaniuk a szükséges villamos energia előállítását, ami sajátos kihívásokat rejt magában. Az általánosan használt hőerőművi megoldásokat értelemszerűen nem lehet alkalmazni, és nem csak azok kiterjedése és tömege, azaz zérus mobilitása miatt, hanem azért is, mert a számukra szükséges tüzelőanyag műveleti területre történő kiszállítása is problémás. Egészen az ezredfordulóig lényegében egyedüli megoldásként a hőerőgépekkel meghajtott generátorok, azaz a magyar terminológiában aggregátorok alkalmazása volt használatos.

A villamos forgógépek, így például a generátorok akár 90% feletti hatékonyságra is képesek és nem is számítanak túl bonyolult eszközöknek. A villamosság megjelenése idején, egészen a 2. világháború idejéig az alkalmazott villamos fogyasztók jellege miatt gyakran

használtak egészen egyszerű felépítésű egyenáramú generátorokat, azaz dinamókat, de ezeket az ötvenes-hatvanas évekre teljesen kiszorították a jobb teljesítmény-karakterisztikával bíró, egy- vagy háromfázisú váltóáramú generátorok. A legelső időkben még gyakorta alkalmaztak testi erővel meghajtott áramfejlesztőket is, de az energiaigények növekedése nyomán gyorsan áttértek az egyszerű benzinmotorokra. Később, szintén az ötvenes-hatvanas évekre a jobb, akár 30% feletti termikus hatásfokú dízelmotorok vették át ezek helyét. Az igen nagy teljesítménysűrűségű gázturbinák, számos ok miatt sosem jelentek meg ebben a szerepben.

A napjainkban is szinte kizárólagosan használt dízelaggregátorok kellően mobilak a katonai műveletekhez és igen széles tartományban, néhány kW-tól több 100 kW-os teljesítményig gyárthatóak. Bár a technika az elmúlt ötven évben sokat fejlődött, a dízelaggregátorok felépítése és működése nem változott túl sokat. A jelenleg rendszeresített katonai áramfejlesztők némileg kompaktabbak és megbízhatóbbak, mint elődeik, de főbb energetikai paramétereik alig változtak.

Az aggregátorok hajtóanyaggal történő ellátása világszerte illeszkedik a katonai logisztika ellátási rendszerébe, hiszen a harcjárművek kevés kivételtől (Abrams és T-80 harckocsik) eltekintve szintén dízelüzeműek. A NATO elsősorban az Öböl-háború(k) tapasztalatai alapján tovább redukálta az ellátás rendszerét, és a jelenleg érvényes úgynevezett single fuel concept<sup>8</sup> értelmében kizárólag egyetlen üzemanyagot, az F-34 jelű kerozinféleiséget szállítja műveleti területre. Ez nem optimális választás a hagyományos dugattyús dízelmotoroknak, de némileg megnövekedett fajlagos fogyasztás és kopás árán képesek tartósan is használni, ugyanakkor az F-36 szintén kompromisszumokkal, de alkalmas a szárazföldi csapatok helikopterei (és nem utolsósorban az amerikai M1A2 harckocsik) gázturbináinak meghajtására is.<sup>9</sup>

A villamos energiával történő ellátás szempontjából a szárazföldi csapatok<sup>10</sup> felszerelése három főbb csoportra bonthatóak:

- tábori eszközök;
- harc- és gépjárművek fedélzeti eszközei;
- egyéni felszerelés részét képező villamos eszközök.

---

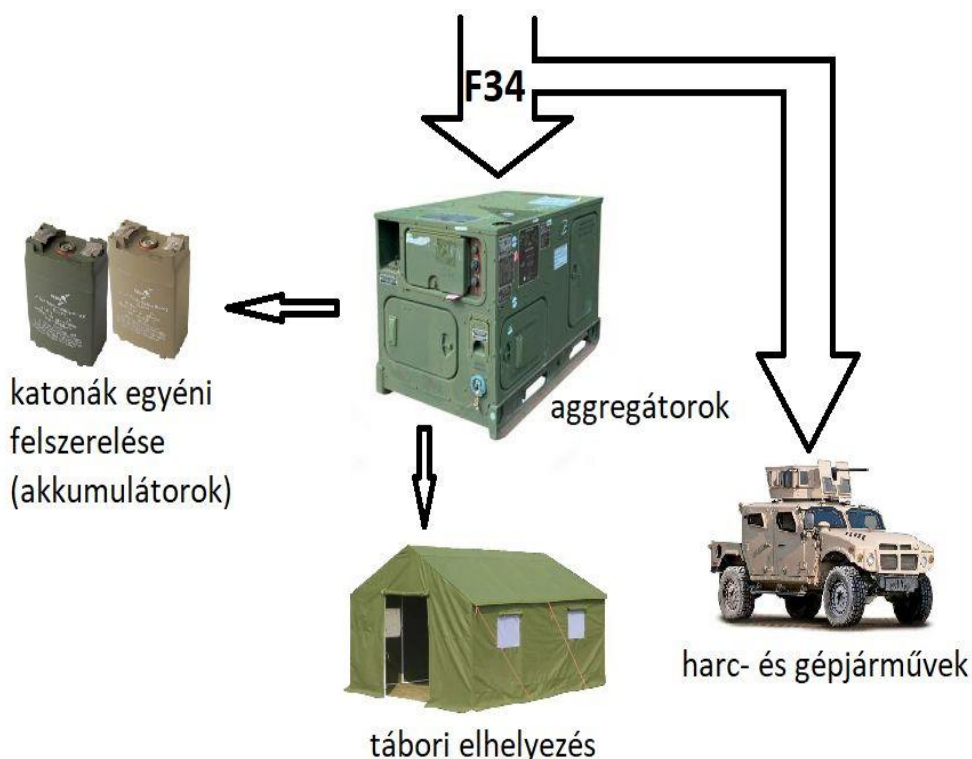
<sup>8</sup> egyetlen üzemanyag koncepció

<sup>9</sup> („Chapter 8: Petroleum Support” 2012)

<sup>10</sup> terjedelmi okokból jelen cikk nem tárgyalja a légierő tábori kitelepülését kiszolgáló villamos hálózatot, amely gyakran különleges, pl. 115 V / 400 Hz-es rendszert használ

Ezek jellegüket tekintve számos területen alapvetően eltérőek lehetnek. A legnyilvánvalóbb, hogy a tábori eszközök a gyártás és az üzemeltetés praktikus szempontjai alapján az alkalmazó haderő országában szabványos hálózati feszültségről, Magyarországon példának okáért 380 V háromfázisú, illetve 230 V egyfázisú, 50 Hz-es feszültségről működnek, tehát a tábori aggregátorok is ilyen feszültséget kell előállítanak. A harc- és gépjárművek fedélzeti villamos eszközei, a hordozó járművek fedélzeti villamos rendszeréhez illeszkedően 24 V egyenáramról üzemelnek, míg a személyi eszközök valamilyen törpe egyenfeszültséget (ami a lítium-ion akkumulátorok elemi cellafeszültségéből eredően általában 3,7 V egész számú többszörösei) igényelnek.

Végso soron azonban a harc- és gépjárművek fedélzeti villamos rendszerét tápláló generátorok meghajtásáról gondoskodó motorok ugyanazt az üzemanyagot égetik el, mint az aggregátorok és a lemerült akkumulátorokat is az aggregátorok által termelt energiával töltik fel a nap végén. Vagyis jelen formájában a csapatok műveleti területen történő villamos energiával történő ellátása teljes egészében a fosszilis üzemanyagokra, a NATO esetében az F-34 jelű üzemanyagra épül.



2. számú ábra. A műveleti területen történő villamosenergia-ellátás vázlata (a szerző saját szerkesztése)

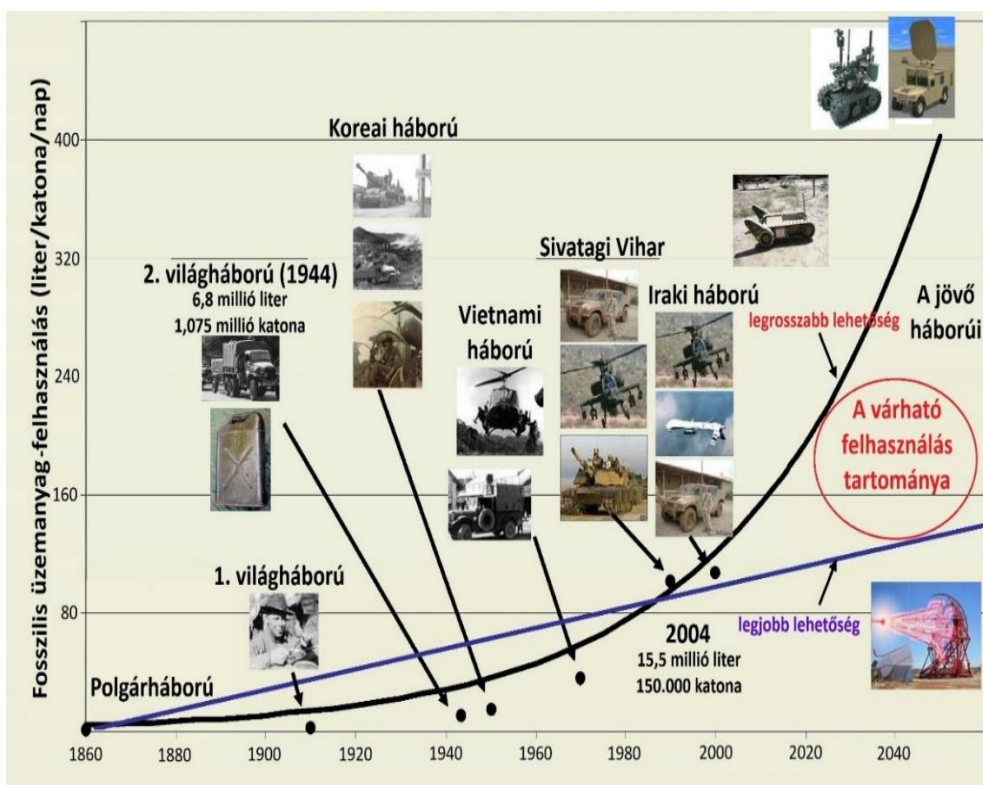
A terepi villamosenergia előállításának ez a kizárólagosan fosszilis üzemanyagokra épülő modellje több kérdést is felvet. Növekszik-e a katonai műveletek során jelentkező villamosenergia iránti igény, és ha igen, akkor milyen mértékben? Kiválthatóak-e a csapatok által használt villamos berendezések más típusú eszközökkel? Lehet-e más módon csökkenteni az energiaigényt? Fenntartható-e az üzemanyagellátás logisztikájának jelenlegi modellje? Vannak-e alternatív módok a villamos energia terepi előállítására?

Talán meglepő, de ilyen jellegű átfogó elemzéssel nem lehet találkozni. E rövid cikk sem vállalkozik a teljes körű vizsgálatra. Részint ez jelentősen túlmutatna a terjedelmi korlátokon, másrészt bizonyos területeket, például a villamosság alternatív energiaforrások által történő terepi előállíthatóságát már korábbi kutatásaim folyamán vizsgáltam. Jelen írásban arra koncentrálok, hogy milyen módon változik a szárazföldi csapatok villamos energia iránti igénye, és ennek mi áll a hátterében.

### **A katonai műveletek villamos energiaigényének változása**

A katonai műveletek során felhasznált villamos energia mennyiségét nagyon nehéz egzakt módon meghatározni. A legtöbb állam eleve nem közöl ilyen jellegű szenzitív adatokat, ha mégis nyilvánosságra kerülnek egy művelet logisztikai részletei, jobbára akkor is csak a felhasznált üzemanyag bruttó mennyisége ismert, nem részletezik, hogy ennek mekkora része volt az eszközök helyszínre szállítása, mennyit használtak fel a harc- és gépjárművek, illetve mekkora részt fordítottak villamos energia előállítására. Az nyilvánvaló, hogy a katonai műveletek energiaigénye radikálisan nőtt a modern korban, és ez a tendencia várhatóan tovább fog folytatódni. Ennek szemléltetésére több szempontból is a legalkalmasabb példa az USA hadereje.

Mivel a katonai műveletek energiaigénye teljes egészében a fosszilis eredetű hordozókra épül, és a belátható jövőben csak nőni fog, valószínűsíthető, hogy ezen belül a villamos energia előállítására felhasznált mennyiség is nőni fog, továbbá az emberiségre jelenleg általában jellemző elektrifikáció miatt a mindenkori teljes energiafelhasználáson belül a részaránya is növekszik. Ez az állítás ugyanakkor nehezen igazolható. A felhasználási adatok az információ szenzitivitása miatt a nemzetközi szinten is nem igazán hozzáférhetőek, pontos magyar adatok pedig tulajdonképpen nincsenek is.



3. számú ábra. Az amerikai haderő fosszilis energiaszükségletének változása (a szerző szerkesztése Shaffer, Massie és Cross alapján)<sup>11</sup>

Magyar sajátosság, hogy valamennyi hazai honvédségi objektum, így a gyakorlóterek is rendelkeznek villamos távvezetékes bekötéssel. Ennek okán a gyakorlatok során ezt, a lényegesen olcsóbb megoldást választják az aggregátorok üzemeltetése helyett. A katonai objektumok pedig nincsenek felkészítve az energiafogyasztás monitorozására, csak a közüzemi számlák adhatnának támpontot.

Az alakulatok egyébként nem is rendelkeznek saját tábori elhelyezésben használható áramfejlesztőkkel, illetve a tábori hálózat kiépítéséhez szükséges eszközökkel sem. A kritikus rendszereknek, például tábori vezetési pontoknak van saját aggregátora, de az esetleges tábori elhelyezéshez szükséges eszközöket (és kezelőszemélyzetet) az MH ARB biztosítja, az aggregátorokat pedig, ha például egy gyakorlaton az adott kiképzőbázis hálózati kapacitása nem elégséges, civil szolgáltatótól bérlik.

<sup>11</sup> (Shaffer, Massie, és Cross 2006)

Mindezek miatt a szárazföldi csapatok műveleti villamos energiaigényének meghatározásakor indirekt módszert szükséges alkalmazni, és a terepen használt villamos eszközök számát és működési elvükből fakadó fogyasztását kell alapul venni. Ennek során külön került vizsgálatra a tábori elhelyezés, a harc- és gépjárművek, továbbá az egyéni eszközök területe.

Tábori elhelyezésben a kritikus vezetési elemek és egy-két speciális, például orvosi berendezés kivételével minden villamos fogyasztót egy a nemzeti specifikációknak megfelelő villamos hálózatról látnak el, amelynek kiépítése a tábor létesítésének része. Ezeket a lehetőségekhez mérten centralizáltan, tehát zászlóaljszinten egy-két nagyteljesítményű aggregátor telepítésével látják el. Lehetnek olyan létesítmények, például üzemanyagtöltő-pont, amit biztonsági okokból távolabb telepítenek, és mivel a táborépítő kábelek mennyisége véges, illetve néhány 100 méteren túl jelentős veszteséget is okoznának, ezek is önálló aggregátort kapnak.

A tábori villamos hálózat egyik legalapvetőbb feladata a világítás működtetése, de rengeteg egyéb fogyasztót is el kell lásson. Jelentős felhasználást generálnak a klímaberendezések, márpedig a katonák nyugodt pihenésének biztosítása nem pusztán kényelmi szempont, hanem a harckészültség biztosítása szempontjából fontos tényező. Miután a polgári körülmények között egyre több minden működik elektromossággal, így ezek rendre megjelennek a katonai felszerelések között.

EGY KATONA VILLAMOS TELJESÍTMÉNYIGÉNYE TÁBORI ELHELYEZÉS SORÁN (A SZERZŐ SZERKESZTÉSE AZ ATP 3.37-10<sup>12</sup> PADÁNYI<sup>13</sup> ÉS ERDŐDI<sup>14</sup> ALAPJÁN)

2. táblázat

| forrás:                     | Erdődi            | EDA <sup>15</sup> | ATP 3.37-10 |          |       |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------|----------|-------|
| a tábori elhelyezés ideje:  | n/a <sup>16</sup> |                   | <60 nap     | <180 nap | <2 év |
| villamos teljesítmény (kW): | 2,8               | 3,6               | 1,5         | 2,5      | 3,5   |

<sup>12</sup> („ATP 3.37-10” 2017)

<sup>13</sup> (Padányi 2022)

<sup>14</sup> (Erdődi 2017)

<sup>15</sup> EDA - European Defence Agency – Európai Védelmi Ügynökség

<sup>16</sup> Az Erdődi-féle forrás megkülönböztet eltérő időre létesített táborokat, de nem specifikál rájuk eltérő teljesítményigényt. AZ EDA egyáltalán nem tesz különbséget a tábor működési idejére vonatkozóan.

Egy huzamosabb időre létesített tábor működése nagyban hasonlít a háztartásokéhoz, és a háztartási eszközök többsége villamos működésű, illetve a katonáknak is vannak személyes tárgyaik, amelyek ugyancsak a hálózatról működnek, vagy onnan tölthetők fel. Létezik néhány forrás, ami egzakt módon megjelöli, hogy a tábori elhelyezés során mekkora fogyasztásra kell méretezni a hálózatot.

Különösen a huzamosabb időre létesített tábori körletek esetében szembetűnő, hogy az egy főre eső teljesítmény nagyon hasonló a civil háztartásokéhoz. Tehát amennyiben elfogadjuk, hogy a civil villamos energiaigény nőni fog a jövőben, úgy valószínűleg hasonló lesz a helyzet a katonai táborok esetében is.

A harc- és gépjárművek, illetve az egyéni felszerelés esetében egy markánsabb tendencia figyelhető meg, aminek következtében gyorsan nő a villamos energia iránti igény. A hagyományos fejlesztési irányok elsősorban anyagtechnológiai korlátok miatt lassan bezárulnak. Sok esetben megközelítettük azokat a fizikai határokat, amin túl nem lehetséges jelentős mértékben növelni egy dugattyús motor fajlagos teljesítményét, vagy egy adott lőszertípussal elérhető torkolati sebességet. Így a fejlesztők egyre inkább különféle kiegészítőkkel kívánják növelni a haditechnikai eszközök, illetve a katonák képességeit. Tipikusan ilyenek az irányzékok és ballisztikus számítógépek, a navigációs és infokommunikációs eszközök, valamint az éjjellátó berendezések. Igen jelentős a villamos energiaigénye a főleg missziós területen megtalálható improvizált robbanóeszközöket zavaró berendezéseknek (C-RCIED)<sup>17</sup>, illetve harcjárművek esetében az aktív védelmi rendszereknek.

A gépjárműiparban egyébként is tendencia a nagyobb fajlagos fedélzeti villamosenergia igény, ami nem utolsósorban a korszerű vezérléseknek és a kényelmi berendezéseknek köszönhetően tovább nő. Az elmúlt 40 év alatt egy átlagos személygépkocsi fedélzeti generátorának teljesítménye 500 W-ról átlagosan 2,5 kW-ra nőtt.<sup>18</sup> Az egyre több villamos működésű fedélzeti berendezés okán a katonai járműveknél is hasonló folyamat látható, amit jól szemléltet az USA könnyű támogató járműveinél a jelenleg is zajló generációváltás. A legendás Humvee<sup>19</sup> utóda a JLTV<sup>20</sup> elvileg ugyanazt a feladatkört látja el, miközben

---

<sup>17</sup> Counter Radio Controlled Improvised Explosive Device – vagyis rádiótávvezérelt improvizált robbanóeszköz elleni védelem.

<sup>18</sup> (Mazlan és mtsai. 2017)

<sup>19</sup> HMMWV – High Mobility Multi-Purpose Wheeled Vehicle – nagy mozgékony-ságú többcélú kerekes jármű

<sup>20</sup> JLTV – Joint Light Tactical Vehicle – összefegyvernemi könnyű taktikai jármű

generátorának fajlagos teljesítménye másfélszerese a 20 évvel idősebb fejlesztésnek. Ha azt is figyelembe vesszük, hogy a JLTV tömegnövekedése mögött elsősorban a passzív páncélvédelem növekedése áll, akkor még jóval nagyobb a fedélzeti villamos rendszer teljesítménynövekedésének mértéke.

Jelenleg még kevés ilyenre van példa, de a civil járműtechnika nyomán el fognak terjedni a hibrid hajtásláncú katonai járművek, illetve a távolabbi jövőben számítani lehet a tisztán elektromos járművek megjelenésére is, ami újradefiniálja a járműfedélzeti villamosenergia igényt. Bár ezek a hajtásláncok jelenleg még inkább a könnyű járművek közt terjednek. Érdekesség, hogy az USA-ban használt M1 Abrams harckocsik leváltására tervezett AbramsX koncepció esetében szakítottak a gázturbinával és egy dízel-elektromos hibrid hajtásláncot fejlesztettek ki.<sup>21</sup>

KÖNNYŰ TÁMOGATÓ KATONAI JÁRMŰVEK VILLAMOS RENDSZERÉNEK  
ÖSSZEHASONLÍTÁSA (A SZERZŐ SZERKESZTÉSE SEABAUGH<sup>22</sup> ÉS NJUGUNA<sup>23</sup>  
ALAPJÁN)

3. táblázat

| Típus                                         | HMMWV<br>(Humvee) | JLTV |
|-----------------------------------------------|-------------------|------|
| <b>villamos rendszer feszültsége (V):</b>     | 24 (28)           |      |
| <b>jármű tömege (t):</b>                      | 3,4               | 10,2 |
| <b>generátor teljesítménye (kW):</b>          | 3,3               | 14,6 |
| <b>fajlagos villamos teljesítmény (kW/t):</b> | 0,97              | 1,43 |

A katonák személyi felszereléseik között megjelenő villamos eszközök különösen súlyos fejtörést okoznak a haditechnikai fejlesztőknek. A korszerű haderőknél általános elvárás, hogy egy katona, vagy kisalegység legyen képes három napos autonóm tevékenységre, vagyis legyen képes magával vinni az erre időszakra szükséges lőszert, élelmszert, öltözetet stb. Az egy főre eső felszerelés tömege így nemzettől, alakulattól és feladattól függően 30-50 kg közé esik,<sup>24</sup> ami még egy jól

<sup>21</sup> (Osborn 2023)

<sup>22</sup> (Seabaugh 2017)

<sup>23</sup> (Njuguna 2021)

<sup>24</sup> (Márkus 2013)

kiképzett és edzett fiatal katona számára is óriási teher. Miután a gyalogos katonák különféle okok miatt nem vihetnek magukkal aggregátorokat, a három napos villamos energiát akkumulátorok formájában kell málházni. Bár a jelenleg elterjedt lítium alapú akkumulátorok két-háromszor annyi energiát képesek ugyanakkora mértékben tárolni, mint a korábbi ólomsavas és nikkel-alapú eszközök, így is a katona által cipelendő tömeg akár 40%-a is lehet akkumulátor.<sup>25</sup>

Külön említést érdemel az infokommunikáció területe. Ahogy a társadalom egésze az információs korban él, úgy ez igaz a haderőre is. Az információ mindig is fontos volt, csatákat volt képes megfordítani, de mára szinte mindennél fontosabb lett. A katonai műveletek között egyre több az információs művelet, amelyek célja kulcsfontosságú információk megszerzése, elrejtése, elérhetetlenné tétele, meghamisítása. Márpedig napjainkban az információk gyűjtése 80-90%-ban, azok feldolgozása és tárolása pedig csaknem 100%-ban elektronikus eszközökkel történik. Sőt az elektronikus tér, azaz a kibertér a NATO doktrínákban 2016 óta önálló hadszíntér, azaz domain.<sup>26</sup>

A csapatok vezetése is elektronikus infokommunikációs eszközökkel, jellemzően a rádiófrekvenciás spektrumban történik. Magának a villamosságnak a katonai területen történő megjelenése is a rádióberendezéseknek köszönhető. A hagyományosan logisztikai autonómiára törekvő hadseregek nem szívesen alkalmaznak új technológiákat, amelyek használatához új energiaforrás is kell, de a rádiók kínálta előny, vagyis a valós idejű mobil kommunikáció minden ellenérvet felülírt. A rádiók mellé rendszeresített áramfejlesztőket aztán először világítási célra, majd később minden másra is felhasználták.

Az infokommunikációs célú elektronikus eszközök fajlagosan egyre kevesebb energiát igényelnek, mert a gyártásuk során egyre kisebb „csíkszélességet” alkalmaznak, ami kisebb hődisszipációt eredményez. Ugyanakkor az ilyen eszközök fogyasztása mégsem csökken. Ahogy a polgári életben, úgy a katonai eszközöknél sincs olyan, hogy „túl gyors”. Az első rádiók a magasabb egységek kommunikációját biztosították, később, ahogy azok egyre kisebbek kompaktabbak lettek, megjelentek zászlóalj, század, majd szakasz szinten is. Mára pedig már minden katona része legalább egy híradó hálózatnak.

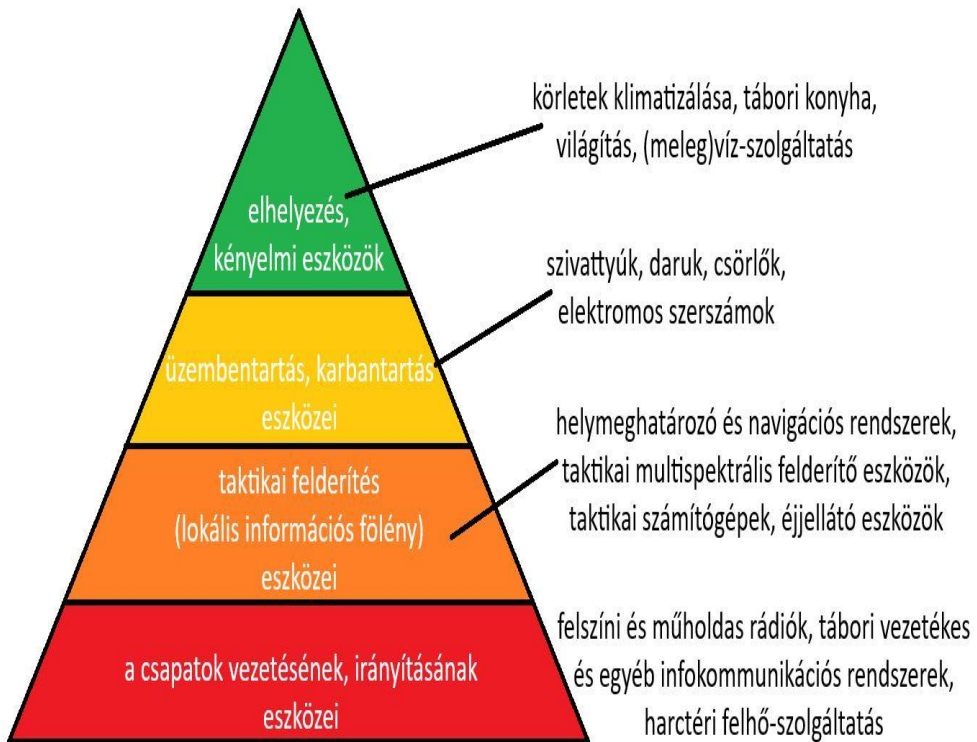
---

<sup>25</sup> (Mittal 2020)

<sup>26</sup> (NATO 2016)

## A villamos energia jövője a katonai műveletek során

A globális, valamint a specifikus katonai technológiai trendekből világosan kitűnik, hogy a villamos energia nem mellőzhető a katonai műveletek során, sőt egyre nagyobb igény lesz rá. A villamos energia katonai alkalmazásai alapján, Maslow-i mintára felállításra került egy szükségleti piramis.



4. számú ábra. A szárazföldi csapatok villamosenergia-szükségleti piramisa (a szerző saját szerkesztése)

Ennek csúcsán azok a villamos berendezések találhatóak, amelyek hiánya nem okoz jelentős képességvesztést. A javarészt kényelmi célú elhelyezési eszközök nélkül némileg csökken a katonák koncentrációs képessége, de a hatás összességben nehezen mérhető. A következő szinten található villamos működésű logisztikai kiszolgáló eszközök hiánya már érzékelhető hatással járhat. A velük végzett műveletek végrehajthatók emberi erővel és egyszerű gépek segítségével, de a végrehajtási idő és a személyi állomány terhelése szignifikánsan megnő. A lokális információs fölényt biztosító villamos eszközök elvesztése már súlyos hátrányt jelent a modernkori hadviselésben, az radikálisan

csökkentheti a csapatok harci képességeit. A vezetési-irányítási eszközök elvesztése pedig lényegében harcképtelenné teszi a csapatokat. Bár a katonák ekkor fizikailag még képesek harcolni, de süketen és vakon, az előjárói szándékoktól függetlenül lényegében még a minimális önvédelemre sem képesek.

A piramis csúcsán található eszközök elvben kiválthatóak más eszközökkel, bár azok nagyobbak, nehezebben kezelhetők vagy kevésbé hatékonyak. Jellemző, hogy a hadseregek többsége a második világháború idején még petróleumlámpát használt tábori világításra. Ugyanakkor az alsó szegmensben található infokommunikációs eszközöknél az elektronikának semmilyen ésszerű alternatívája nincs.

Mindezek után elmondható, hogy a terepi villamosenergia iránti igény minden valószínűség szerint dinamikusan nőni fog mind a közeli, mind a távolabbi jövőben. A legtöbb villamos berendezésnek nincs más technológián alapuló lehetséges alternatívája, illetve a hadseregek logisztikája is nehezen fogadna be bármilyen új-régi üzemanyagot, mint a petróleum vagy a szén. A hagyományos haditechnikai fejlesztési lehetőségek beszűkülése, és az elektronika előretörése nyomán a hadseregekben nőni fog a hagyományos villamos eszközök száma, sőt egészen új eszközök is megjelentek/megjelennek.

A kisméretű taktikai drónok többsége villamos meghajtású, mert így azokat nem csak a légierő speciális állománya, hanem bármilyen kiképzett katona tudja használni. A második karabahi háború, majd az orosz-ukrán háború tapasztalatai alapján nyugodtan kijelenthető, hogy ezek radikális terjedése várható. Az egyébként jelentős számítási és így energiaigényes mesterséges intelligenciát is alkalmazó eszközök sem a sci-fi világába tartoznak, ezek ott vannak az újonnan fejlesztett haditechnikai eszközök többségében. Már most is vannak korai típusok, de várhatóan jövőben lehet számolni az autonóm harci eszközökkel, például UGV-vel<sup>27</sup>, az exoskeletonokkal<sup>28</sup>, illetve a lézerek és EM-gyorsítású fegyverekkel. Ugyanakkor ezek mindegyike jelentős villamos fogyasztó.

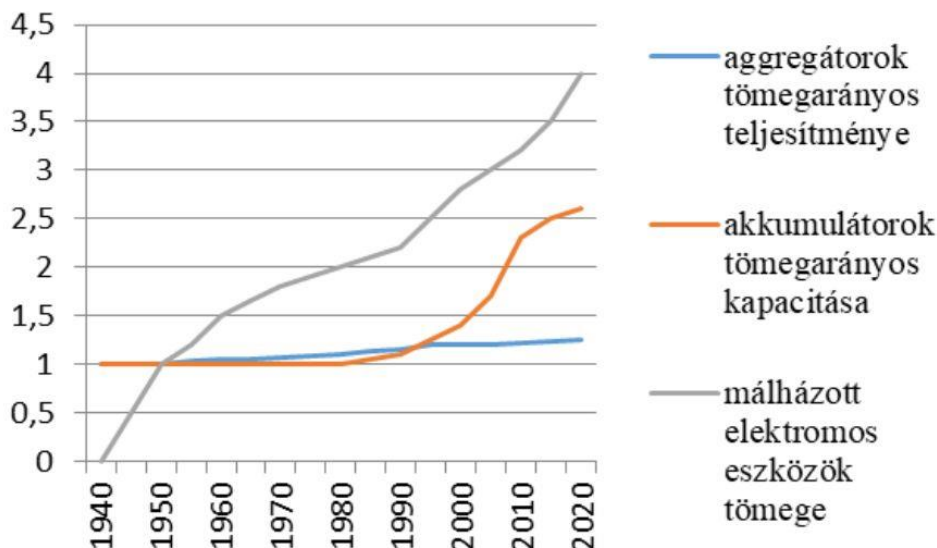
Kérdéses, hogy ez a fajta igénynövekedés kielégíthető lesz-e a hagyományos dízelaggregátoros modellel. Ez elvben csak üzemanyag és logisztikai katona kérdése, ugyanakkor, ha a leginkább problémás egyéni felszerelések esetén grafikusan ábrázoljuk az igények

---

<sup>27</sup> UGV = Unmanned ground vehicle (vezető nélküli szárazföldi jármű). (A lektor megjegyzése.)

<sup>28</sup> Exoskeleton = mesterséges külső váz (a lektor megjegyzése)

növekedését úgy, hogy az aggregátoros technológia 50 éve lényegében változatlan, egészen ijesztő a két vonal közt nyíló rés nagysága.



5. számú ábra. Az aggregátorok, az akkumulátorok és a személyi felszereléseként málházott eszközök tömegének normalizált változása (a szerző saját szerkesztése)

Amennyiben feltételezzük, hogy a jövő villamos működésű haditechnikai eszközeihez is dízelaggregátorokkal fogjuk előállítani az energiát, az a logisztikai ellátási láncra nehezedő nyomás a többszörösére emelkedhet, miközben közismert, hogy a modern katonai műveletek Achilles-ina a logisztika. Jelenleg még nincs meg az üdvöztető új technológia, talán nem is lesz meg soha, de intenzív kutatások zajlanak a megújuló források harctéri felhasználhatóságát, a hidrogén alkalmazását vagy nagyobb energiasűrűségű tárolók létrehozhatóságát vizsgálva, de ezek feltárása már nem része ennek a cikknek.

## Összefoglalás

A katonai műveletek során ma már egyetlen korszerű haderő nem mellőzheti a villamos energia felhasználását. Akárcsak a polgári életben, úgy a katonai mindennapoknak is esszenciális része a villamos energiával működő eszközök tömegének használata. Ugyanakkor míg a polgári életben a meglévő termelő és elosztó infrastruktúra egyelőre még technológiai váltás nélkül, pusztán a kapacitások növelésével

alkalmas a növekvő igények kiszolgálására, addig a katonai műveletek során ez nem lehetséges. A legkorszerűbb haderők is egy 50 éves logisztikai modell mentén látják el villamossággal a szárazföldi csapatokat, miközben az igények minden várakozás szerint számottevően nőni fognak.

Nehezen elképzelhető, hogy változatlan infrastruktúra mellett a pusztán mennyiségi válasz kielégítő lehetne. A logisztikai csapatok jelenleg is rendkívül sokrétű és nehéz munkája jelenleg is nagyon megterhelő, mind az eszközök, mind a szakállomány vonatkozásában. A villamos eszközök mellőzése vagy akár a számuk csökkentése is elképzelhetetlen, az energiahatékonyságuk érdemben nem növelhető, így mindenképpen számolni kell a dinamikusan növekvő terepi igényekkel. Ezek kielégítése érdekében minden meglévő technika és eljárás korszerűsítését, illetve minden feltörekvő új technika bevonását az ellátásba, vizsgálni érdemes és szükséges.

## Felhasznált források:

„ATP 3.37-10”. 2017. US DoD.

Breeze, Paul A. 2019. *Power Generation Technologies*. 3. kiad. Elsevier.

Büki, Gergely. 2004. *Erőművek: egyetemi tankönyv, szakkönyv*. Budapest: Műegyetemi K.

„Chapter 8: Petroleum Support”. 2012. In *NATO Logistics Handbook*, 95–104. Brussels: NATO HQ. [http://www.nato.int/docu/logi-en/logistics\\_hndbk\\_2012-en.pdf](http://www.nato.int/docu/logi-en/logistics_hndbk_2012-en.pdf).

Chrifi-Alaoui, Larbi, Saïd Drid, Mohammed Ouriagli, és Driss Mehdi. 2023. „Overview of Photovoltaic and Wind Electrical Power Hybrid Systems”. *Energies* 16 (12): 4778. <https://doi.org/10.3390/en16124778>.

Durul, Tefvik. 2022. „Greece Continues to Militarize Eastern Aegean Islands in Violation of International Agreements”. 2022. május 30. <https://www.aa.com.tr/en/europe/greece-continues-to-militarize-eastern-aegean-islands-in-violation-of-international-agreements/2601390>.

Erdődi, Zsolt Béla. 2017. „A tábori elhelyezési eszközrendszer modernizálásának lehetőségei”. *Honvédségi Szemle* 145 (3): 98–118.

Márkus, Ferenc. 2013. „A gyalogos lövészkatona egyéni harcászati felszerelésének modernizálási lehetőségei a Magyar Honvédségben”. *Seregszemle* 11 (2–3): 7–21.

Mazlan, Rozdman K., Reduan M. Dan, Mohd Z. Zakaria, és Abdul H. A. Hamid. 2017. „Experimental Study on the Effect of Alternator Speed to the Car Charging System”. Szerkesztette S.A. Che Ghani, W.A. Wan Hamzah, és A. Alias. *MATEC Web of Conferences* 90:01076. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20179001076>.

Mittal, Vikram. 2020. „U.S. Soldiers’ Burden Of Power: More Electronics Means Lugging More Batteries”. *Forbes*. 2020. október 26. <https://www.forbes.com/sites/vikrammittal/2020/10/26/energy-management-a-deciding-factor-of-future-battles/>.

NATO. 2016. „Warsaw Summit Communiqué - Issued by the Heads of State and Government Participating in the Meeting of the North Atlantic Council in Warsaw, 8-9 July 2016”. NATO. 2016. [http://www.nato.int/cps/en/natohq/official\\_texts\\_133169.htm](http://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_133169.htm).

Njuguna, Marcus. 2021. „Humvee Vs Oshkosh JLTV: Here’s How The Military Vehicles Compare”. *HotCars*. 2021. január 25. <https://www.hotcars.com/humvee-vs-oshkosh-jltv-heres-how-the-military-vehicles-compare/>.

Osborn, Kris. 2023. „New AbramsX -- AI-Enabled, Fuel-Efficient, Unmanned Turret & »Silent« Attack”. *Warrior Maven: Center for Military Modernization*. 2023. március 9. <https://warriormaven.com/land/-abramsx-ai-enabled-fuel-efficient-unmanned-turret-silent-attack>.

Padányi, József. 2022. *Kihívások, kockázatok, válaszok - Az éghajlatváltozás okozta kihívások és azok hatása a katonai erőre*. Budapest: Ludovika Kiadó.

Seabaugh, Christian. 2017. „How the Humvee Compares to the New Oshkosh JLTV”. *Motor Trend* (blog). 2017. május 17. <http://www.motortrend.com/news/humvee-compares-to-new-oshkosh-jltv/>.

Shaffer, Edward C., Darrell D. Massie, és James B. Cross. 2006. „Power and Energy Architecture for Army Advanced Energy Initiative”. DTIC\_ADA481011. Adelphi, Maryland: Army Research Laboratory. „World Energy Outlook 2022”. 2022. International Energy Agency.