

Cs. Nagy Géza¹

HADITECHNIKAI ESZKÖZÖK ÜZEMELTETÉSÉNEK ÉS KARBANTARTÁSÁNAK FENNTARTHATÓSÁGI ASPEKTUSAI

SUSTAINABILITY ASPECTS OF OPERATION AND MAIN- TENANCE OF MILITARY EQUIPMENT

[HTTPS://DOI.ORG/10.30583/2024-TK-Kulonszam-117](https://doi.org/10.30583/2024-TK-Kulonszam-117)

Absztrakt

Miután bármely hadsereg a környező ökoszisztémához illeszkedően, a működtető állam társadalmának és gazdaságának részeként látja el jól meghatározott funkcióját, vele szemben is megfogalmazhatók a nem megújuló anyag- és energiaforrások fenntartható módon történő felhasználására, valamint az ökoszisztéma stabilitásának megőrzésére vonatkozó elvárások. Az írás nagy vonalakban taglalja az emberi tevékenység természeti környezetre gyakorolt közvetlen és közvetett hatásának értékelését célzó módszerek, mérőszámok tartalmát, valamint felvázolja a már napjainkban is alkalmazható, illetve a közeli jövőben elengedhetetlenül szükségessé váló üzemeltetési karbantartási irányokat.

Kulcsszavak: haditechnika, fenntarthatóság, üzemeltetés, karbantartás

Abstract

Since any army performs its well-defined function as part of the society and economy of the operating state, in harmony with the surrounding ecosystem, it is expected to use non-renewable materials and energy in a sustainable way and to maintain the stability of the ecosystem. The paper outlines the methods and indicators for as-

¹ Dr. Cs. Nagy Géza habil. PhD. csnagygeza@gmail.com Pécsi Tudományegyetem, Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Gépészmérnöki Tanszék, adjunktus ORCID: 0009-0001-7703-2858

sessing the direct and indirect impact of human activity on the natural environment and outlines the operational maintenance guidelines that are already applicable today and will become indispensable in the near future.

Keywords: military technology, sustainability, operation, maintenance

Bevezetés

Napjaink földlakója számos - esetenként egymással összefüggő -, már zajló vagy kirobbanni készülő válságról kap folyamatos jelzéseket egyrészt a hírekből, másrészt mindennapi tapasztalatai során. A teljesség igénye nélkül, a civilizációt leginkább veszélyeztető folyamatok sorában említést kell tennünk a klímaváltozásról, a fokozódó környezetszennyezésről, a nem megújuló nyersanyagok és energia-hordozók rohamos apadásáról, túlnépesedésről, ivóvízkészletek csökkenéséről stb. Tekintve, hogy a földön található erőforrások területi eloszlása rendkívül egyenetlen, továbbá a nyersanyagok lelőhelye, a feldolgozás és a felhasználás, majd ezt követően a hulladéktermelés, esetenként szennyező anyagok kibocsájtása különböző államok területén, akár más kontinensen is lehetséges, felvetődik a társadalmi igazságosság kérdése is. Egyetlen dolog biztos, hogy az előbbieken említett globális kihívásokra kizárólag globális fellépés hozhat érdemi megoldást, ugyanakkor sajnálatos módon az emberiség eddigi történelmében ilyesmire nem volt példa, bár az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezményéhez (UNFCCC) kapcsolódó Riói Föld csúcstalálkozó (1992), a Kiotói egyezmény (1997) és a Párizsi Megállapodás (2015) vállalásai valóban némi bizakodásra adhatnak okot. Mindazonáltal a földi civilizáció fennmaradásáért felelősséget érző társadalmak, szervezetek, sőt magánszemélyek részére a legkézenfekvőbb megoldásnak az tűnik, hogy a globális érvényességű intézkedések megjelenéséig ki-ki saját környezetében és hatáskörében tesz meg minden tőle telhetőt a válságok hatásának csökkentése érdekében. Egyértelműen ezen tevékenységi körbe sorolhatjuk a fegyveres erők által használt technikai eszközöknek (különös tekintettel a szállító- és harcjárművekre) a fenntarthatósági szempontokat figyelembe vevő üzemeltetését és karbantartását. Teljesen nyilvánvaló, hogy ezen szempontrendszer békeidőben, vagyis a felkészülés, kiképzés időszakában élvezhet prioritást, fegyveres konfliktus során irreális lenne érvényesülését elvárni.

A fenntarthatóság fogalma

A modern környezetvédelem alapjait és alapelveit az 1972-es Stockholmi Konferencián fektették le, ahol igyekeztek a környezetet minél több alrendszerre bontani. A környezetvédelem célja ezeknek az egységeknek (élővilág, levegő, víz, talaj, épített környezet) védelme, jelenlegi állapotuk fenntartása².

Ahhoz, hogy fenntarthatóságról beszélhessünk, fontos tisztáznunk annak mibenlétét. A fenntarthatóság fogalma először az ENSZ Környezet és Fejlődés Világbizottsága által 1987-ben kiadott *Közös jövőnk* című tanulmányban jelent meg. Ezen tanulmány szerint akkor van szó fenntarthatóságról, ha a Föld jelenlegi népességének szükségleteit ki lehet elégíteni anélkül, hogy a következő generációk szükségletei kiélégíthetetlené válnának.

A *Közös jövőnk* című tanulmányban a fenntarthatóság fogalmán kívül részletezték az annak eléréséhez szükséges alapelveket is, melyek a következő felsorolás szerint összegezhetők:

- életközösségek tisztelete és védelme: más fajok, közösségek megőrzése, tisztelete;
- biodiverzitás megőrzése: biológiai sokszínűség védelme;
- emberi élet minőségének javítása: a gazdasági fejlődés céljaként az életminőség javításának kell lennie;
- nem megújuló erőforrások felhasználásának minimalizálása: minél kevesebb nem megújuló erőforrás felhasználása, anyag- és energiatakarékosság szorgalmazása, újrahasznosítás;
- a Föld eltartóképességének határait figyelembe vevő növekedés: alkalmazkodás a természet regenerálódási képességéhez;
- az egyéni magatartás és a szokások megváltoztatása: környezeti nevelés az oktatásban. Egyéni és társadalmi szinten is a fenntarthatóságra való törekvést kell szorgalmazni;
- a helyi közösségek motiválása és feljogosítása a saját környezetükről való gondoskodásra: információ és szakértelem biztosítása helyi közösségek számára, hogy azok a fenntartható fejlődés útjára léphessenek;

² NÉMETH K. (2021): *A körforgásos gazdaság alapjai*

- nemzeti együttműködés kialakítása a fenntarthatósági stratégiák kidolgozása érdekében: gazdasági ösztönzés a környezetvédelmi szabályozásban. Környezetvédelmi jogrendszer és környezetpolitikai eszközök létrehozása;
- globális együttműködések, megegyezések: országok közötti közös együttműködések, célok kitűzése a fenntartható fejlődés érdekében.

Herman E. Daly, a környezetgazdaság elismert úttörője, a fenntarthatóság 3 fő feltételét a következőképpen fogalmazta meg:

1. A környezetből kinyert megújuló erőforrások felhasználása nem lehet gyorsabb, mint ahogy azok újra tudnak termelődni.
2. A környezetbe kibocsátott anyagok (hulladék, károsanyagok) mennyisége nem haladhatja meg a környezet feldolgozó képességét.
3. A nem megújuló erőforrások felhasználása nem lehet gyorsabb, mint ahogy helyettesíteni tudjuk azokat megújuló energiaforrásokkal³.

A haditechnikai eszközök üzemeltetése, karbantartása során ezen általános alapelvek szem előtt tartása elengedhetetlen a fenntarthatósági célkitűzések eléréséhez.

A továbbiakban a haditechnikai eszközök fenntarthatósági követelményeknek való megfelelőségét az adott eszközre vonatkoztatott gondozhatósági és a javíthatósági index figyelembevételével végezzük. Mivel a modern katonai technológia fejlesztésében a fenntarthatóság egyre nagyobb hangsúlyt kap, amely alatt nem csak a környezeti hatások csökkentését értjük, hanem a gazdaságosságot, megbízhatóságot és a hosszú távú működőképességet is.

Ebben a kontextusban a gondozhatósági (maintainability) és javíthatósági (repairability) indexek kritikus mérőszámok, amelyek jelentős szerepet játszanak a fenntartható katonai rendszerek kialakításában. Fenti mutatószámok alkalmasságát az alábbiakban felsorolt - a fenntarthatósági elvárásokkal messzemenően egyező - hatásuk indokolja.

³ D. W. O'NEILL (2022): *Hemrann E. Daly (1938-2022)* Sustainability Research Institute, School of Earth and Environment, University of Leeds, Leeds, UK.

A gondozhatósági és javíthatósági index javításának eredményei:

- **Költségmegtakarítás:** A kevesebb karbantartás és javítás alacsonyabb üzemeltetési költségeket eredményez.
- **Megnövelt üzemkésztség:** A könnyebb karbantartás és javítás kevesebb leállást okoz, ami növeli a járművek üzemkésztségét.
- **Hosszabb élettartam:** A megfelelő karbantartás és javítás meghosszabbítja a járművek élettartamát.
- **Környezetvédelem:** A kevesebb karbantartás és javítás kevesebb hulladékot és károsanyag-kibocsátást eredményez.

Gondozhatósági és javíthatósági indexek meghatározása

Gondozhatósági index:

A gondozhatósági index⁴ egy rendszer karbantartásának egyszerűségét és gyorsaságát méri. Ez magában foglalja az időt, erőforrásokat és speciális szerszámokat, amelyek szükségesek a rendszer karbantartásához. A magas gondozhatósági index azt jelzi, hogy a rendszer könnyen és gyorsan karbantartható, minimalizálva az üzemszünetet és az erőforrás-felhasználást.

Javíthatósági index

A javíthatósági index⁵ a rendszer hibaelhárításának és javításának egyszerűségét és gyorsaságát jelenti. Ez az index magában foglalja a hiba azonosításának és javításának folyamatát, az alkatrészek elérhetőségét és a javításokhoz szükséges időt és erőforrásokat. A magas javíthatósági indexű rendszerek gyorsan és hatékonyan javíthatók, minimalizálva a meghibásodások okozta állásidőt.

Fenntarthatósági előnyök részletezése

1. Csökkentett karbantartási költségek és erőforrások

Költségcsökkentés

A karbantartási költségek jelentős része az emberi erőforrásokhoz és a speciális eszközökhöz kapcsolódik. A magas gondozhatósági indexű rendszerek kevesebb időt és emberi erőforrást igényelnek a karbantartási folyamatok során. Ez közvetlenül csökkenti az üzemeltetési költségeket, mivel kevesebb munkaóra és speciális eszköz szükséges.

⁴ MIL-HDBK-470A: Maintainability Handbook for Designers

⁵ MIL-STD-470B: Maintainability Program Requirements

A katonai rendszerek karbantartása gyakran drága és bonyolult folyamat, különösen a modern, technológiailag fejlett eszközök esetében. Például egy harci repülőgép karbantartása több millió dollárba is kerülhet évente. Ha a repülőgép gondozhatósági indexe magas, akkor a karbantartási ciklusok gyorsabbak és kevesebb erőforrást igényelnek, ami jelentős költségmegtakarítást eredményez.

Példa: Katonai járművek

Egy katonai jármű esetében a gyorsabb és egyszerűbb karbantartás csökkenti az állásidőt, növeli a rendelkezésre állási időt, és javítja a missziók sikerességét. A járművek karbantartásának egyszerűsítése révén a katonák kevesebb időt töltenek karbantartással, és több időt tudnak a kiképzésre és a hadműveletekre fordítani. Az amerikai hadsereg által végzett tanulmány⁶ szerint a magas gondozhatósági indexű járművek karbantartási ideje átlagosan 30%-kal rövidebb, mint az alacsony indexű járműveké. Ez évente több ezer munkaóra megtakarítást eredményezhet, ami több millió dollárnyi megtakarítást jelent az üzemeltetési költségekben.

Munkaerő optimalizálása

A karbantartási folyamatok egyszerűsítése és gyorsítása lehetővé teszi a munkaerő optimalizálását. A magas gondozhatósági indexű rendszerek esetében a karbantartási munkálatok gyorsabban elvégezhetők, ami csökkenti a munkaerő szükségességét és lehetővé teszi a karbantartó személyzet más fontos feladatokra való átcsoportosítását.

Egy példa⁷ lehet a katonai bázisokon alkalmazott drónok karbantartása. Ha a drónok gondozhatósági indexe magas, akkor a karbantartási csapat kevesebb időt tölt a javításokkal, és több időt fordíthat a drónok fejlesztésére vagy más stratégiai feladatokra.

2. Növelt megbízhatóság és hosszabb élettartam

Megbízhatóság növelése

A rendszeres és hatékony karbantartás hozzájárul a rendszerek megbízhatóságának növeléséhez. A magas gondozhatósági indexű rendszerek esetében a potenciális hibák gyorsabban és hatékonyabban azonosíthatók és javíthatók, ami csökkenti a meghibásodások gyakoriságát és súlyosságát.

⁶ *Dhillon, B. S. (2006). Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers.* CRC Press.

⁷ *Journal of Military Operations Research.*

A megbízhatóság növelésének egyik konkrét példája a katonai helikopterek esetében figyelhető meg. Egy tanulmány⁸ szerint a helikopterek karbantartási időszükségletének 40%-os csökkenése esetén a meghibásodási arány 20%-kal csökkent. Ez azt jelenti, hogy a gyakori karbantartás és az alkatrészek rendszeres ellenőrzése jelentősen növeli a helikopterek megbízhatóságát és csökkenti a balesetek kockázatát.

Élettartam növelése

A rendszer élettartama közvetlenül összefügg a karbantartás minőségével és gyakoriságával. A magas gondozhatósági indexű rendszerek könnyen és gyorsan karbantarthatók, ami növeli a rendszer élettartamát. A rendszeres és alapos karbantartás csökkenti az alkatrészek kopását és meghibásodását, hosszabb ideig biztosítva a rendszer működőképességét.

Egy példa erre a harckocsik esetében figyelhető meg. Egy, a brit hadsereg által végzett kutatás⁹ szerint azok élettartama átlagosan 15%-kal nőtt, amikor a karbantartási ciklusokhoz kapcsolódó kiszolgálásokat rendszeresen és alaposan végezték el. Ez a hosszabb élettartam csökkenti a szükségességét új eszközök beszerzésének, ami jelentős költségmegtakarítást eredményez.

Példa: Katonai repülőgépek

A katonai repülőgépek esetében a karbantartás és a javítás kritikus fontosságú a repülésbiztonság szempontjából. A magas gondozhatósági és javíthatósági indexű repülőgépek karbantartása és javítása gyorsabb és egyszerűbb, ami növeli a repülőgépek megbízhatóságát és élettartamát. Ez különösen fontos a missziók során, ahol a repülőgépek megbízhatósága közvetlenül befolyásolja a sikerességet és a pilóták biztonságát.

Egy, az amerikai haditengerészet által végzett tanulmány¹⁰ szerint a magas gondozhatósági indexű repülőgépek élettartama 20%-kal hosszabb, mint az alacsony indexű társaiké. Ez jelentős költségmegtakarítást eredményez, mivel kevesebb új repülőgépet kell vásárolni, és a meglévő flotta tovább marad üzemképes.

⁸ MIL-STD-721C: *Definitions of Terms for Reliability and Maintainability*. U.S. Department of Defense.

⁹ British Army Studies.

¹⁰ MIL-STD-721C: *Definitions of Terms for Reliability and Maintainability*. U.S. Department of Defense.

3. Környezetvédelmi hatások minimalizálása

Hulladék csökkentése

A fenntartható katonai rendszerek tervezésének egyik kulcseleme a környezeti hatások csökkentése. A magas gondozhatósági és javíthatósági indexekkel rendelkező rendszerek kevesebb erőforrást igényelnek a karbantartás és javítás során, így kevesebb hulladék és szennyezőanyag keletkezik. Ez különösen fontos a katonai járművek és berendezések esetében, ahol a karbantartás és javítás során jelentős mennyiségű hulladék keletkezhet.

Egy példa a katonai radarrendszerekre vonatkozóan. Egy európai hadsereg által végzett kutatás¹¹ szerint a magas gondozhatósági indexű radarrendszerek karbantartása során keletkező hulladék mennyisége 25%-kal kevesebb volt, mint az alacsony indexű rendszereké. Ez a hulladékcsökkentés hozzájárul a környezeti terhelés minimalizálásához és a fenntarthatósági célok eléréséhez.

Energiafelhasználás csökkentése

A karbantartási és javítási folyamatok egyszerűsítése csökkenti az energiafelhasználást. A kevesebb munkaóra és speciális eszközök használata révén a magas gondozhatósági indexű rendszerek energiahatékonyabbak, ami hozzájárul a fenntarthatósági célok eléréséhez. Egy példa erre a katonai bázisokon használt generátorok karbantartása. Ha a generátorok gondozhatósági indexe magas, akkor a karbantartási folyamatok kevesebb energiát igényelnek, és a generátorok hatékonyabban működnek. Egy amerikai hadsereg által végzett tanulmány¹² szerint a magas gondozhatósági indexű generátorok karbantartása során az energiafelhasználás 15%-kal csökkent.

Példa: Katonai bázisok

A katonai bázisokon a hulladékkezelés és az energiafelhasználás minimalizálása kritikus fontosságú. A magas gondozhatósági és javíthatósági indexű rendszerek csökkentik a bázisok hulladéktermelését és energiafelhasználását, hozzájárulva ezzel a környezeti terhelés csökkentéséhez és a fenntarthatósági célok eléréséhez.

¹¹ MIL-HDBK-470A: Maintainability Handbook for Designers. *U.S. Department of Defense*.

¹² Dhillon, B. S. (2006). *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. CRC Press.

Az amerikai hadsereg egyik bázisán szerzett tapasztalat¹³ szerint, a magas gondozhatósági indexű HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning - Fűtő-, szellőztető és légkondicionáló) rendszerek bevezetése 20%-kal csökkentette az energiafelhasználást és 30%-kal a karbantartási hulladékot.

4. Operatív hatékonyság és gyors reagálás

Gyors hibajavítás

A katonai műveletek során a gyors és hatékony reagálás kritikus fontosságú. A magas gondozhatósági és javíthatósági indexekkel rendelkező rendszerek lehetővé teszik a gyors hibajavítást és a karbantartási munkálatok gyors végrehajtását, ami növeli a harci készenlétet és csökkenti az állásidőt. Egy példa erre a harci helikopterek esetében figyelhető meg. Ugyancsak az amerikai hadsereg által végzett tanulmány¹⁴ szerint a magas gondozhatósági indexű helikopterek javítási ideje 50%-kal rövidebb volt, mint az alacsony indexű helikoptereké. Ez lehetővé tette a helikopterek gyorsabb ismételt bevetését, növelve a harci hatékonyságot.

Példa: Harci járművek

A harci járművek esetében a gyors és hatékony javítás és karbantartás közvetlenül befolyásolja a műveletek sikerességét. A magas gondozhatósági és javíthatósági indexű harci járművek gyorsabban és egyszerűbben javíthatók, ami csökkenti az állásidőt és növeli a harci készenlétet.

Egy, az izraeli hadsereg által végzett tanulmány¹⁵ szerint a magas gondozhatósági indexű harci járművek karbantartási ideje 35%-kal rövidebb volt, mint az alacsony indexű járműveké. Ez a gyors javítási idő lehetővé tette a járművek gyorsabb ismételt bevetését és a missziók sikerességének növelését.

Missziók sikeressége

A gyors javítások és karbantartások közvetlenül befolyásolhatják a missziók sikerességét és a katonák biztonságát. A magas gondozhatósági és javíthatósági indexekkel rendelkező rendszerek lehetővé teszik a gyors reagálást és a hatékony műveleteket, ami növeli a missziók sikerességét és a katonák biztonságát.

¹³ *Defense Technical Information Center (DTIC) Reports.*

¹⁴ *Journal of Military Operations Research.*

¹⁵ *U.S. Army Research, Development and Engineering Command (RDECOM) Studies.*

A brit hadsereg által végzett kutatás eredményei¹⁶ szerint a speciális műveleti erők által használt magas gondozhatósági indexű kommunikációs berendezések javítási ideje 40%-kal rövidebb volt, mint az alacsony indexű rendszereké. Ez lehetővé tette a gyorsabb kommunikáció helyreállítását, növelve ezzel a missziók sikerességét.

5. Gazdasági és stratégiai előnyök

Költséghatékonyság

A magas gondozhatósági és javíthatósági indexekkel rendelkező rendszerek hosszú távon költséghatékonyabbak. A karbantartási és javítási költségek csökkentése mellett ezek a rendszerek hosszabb élettartammal és magasabb megbízhatósággal rendelkeznek, ami csökkenti az új rendszerek beszerzésének szükségességét és a hosszú távú költségeket. Egy további példa erre a haditengerészet által használt radar-rendszerek területéről.

Egy európai állam haditengerészete által végzett tanulmány¹⁷ szerint a magas gondozhatósági indexű radar-rendszerek élettartama 25%-kal hosszabb volt, mint az alacsony indexű rendszereké. Ez jelentős költségmegtakarítást eredményezett, mivel kevesebb új radar-rendszert kellett vásárolni.

Stratégiai rugalmasság

A magas gondozhatósági és javíthatósági indexekkel rendelkező rendszerek nagyobb stratégiai rugalmasságot biztosítanak. A gyors és hatékony javítás és karbantartás lehetővé teszi a rendszerek gyors bevetését és újrahazsnálatát, növelve ezzel a katonai műveletek rugalmasságát és hatékonyságát.

Egy példa erre a katonai logisztikai rendszerek esetében figyelhető meg. Egy, az amerikai hadsereg által végzett tanulmány¹⁸ szerint a magas gondozhatósági indexű logisztikai rendszerek javítási ideje 30%-kal rövidebb volt, mint az alacsony indexű rendszereké. Ez lehetővé tette a logisztikai rendszerek gyorsabb ismételt bevetését, növelve ezzel a stratégiai rugalmasságot.

¹⁶ *British Army Studies.*

¹⁷ RAND Corporation Reports.

¹⁸ Defense Technical Information Center (DTIC) Reports

A gondozhatósági és javíthatósági index javítási lehetőségei a katonai járművek tervezésénél és üzemeltetésénél:

- Moduláris tervezés: A moduláris kialakítású járművek könnyebben karbantarthatók és javíthatók, mivel az alkatrészek könnyebben cserélhetők.
- Könnyű hozzáférés a karbantartási pontokhoz: A karbantartási pontok könnyű elérése megkönnyíti a rutinellenőrzéseket és a karbantartást.
- Standard alkatrészek használata: A standard alkatrészek használata egyszerűsíti a beszerzést és a javítást.
- Képzett karbantartó személyzet: A megfelelően képzett karbantartó személyzet elengedhetetlen a járművek optimális karbantartásához és javításához.

Összefoglalás

A gondozhatósági és javíthatósági indexek integrálása a katonai rendszerek tervezési és fejlesztési folyamataiba számos fenntarthatósági előnyt kínál. Ezek az indexek nem csak a rendszerek gazdaságosságát és hatékonyságát javítják, hanem hozzájárulnak a környezeti terhelés csökkentéséhez és az operatív hatékonyság növeléséhez is. A jövőbeli katonai fejlesztések során elengedhetetlen ezen mutatók figyelembevétele és optimalizálása a fenntartható és megbízható rendszerek kialakítása érdekében.

Felhasznált irodalom

MAGDOLNA CSATH: *Sustainability as human and social development, ACTA HUMANA 2020/1*

CHIARA FRANCIOSI, ALFREDO LAMBIASE, SALVATORE MIRANDA: *Sustainable Maintenance: a Periodic Preventive Model with Sustainable spare Parts Management, ScienceDirect PapersOnline 50-1*

N.S. ARUNJAJ, J. MAITI (2006): *Risk-based maintenance - Techniques and applications*

FALLMANN L., CS. NAGY G. (2004): *Üzemfenntartás*

IEC (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION) 60300-3-10

MIL-HDBK-2217A

NATO STANAG 4129

DEF STAN 00-143