

Jusztin Karina Zelma¹ – Vég Róbert László²

A rezgésdiagnosztika alkalmazása a Magyar Honvédség technikai kiszolgálása és járműjavítása során – 1. rész

Application of Vibration Diagnostic Procedures in the Technical Service and Maintenance System of the Hungarian Defence Forces – Part 1

A folyamatos technikai fejlődésének köszönhetően, a modern gépjárművek felépítése egyre összetettebb a korábbi technikákhoz képest, és széles körben elterjedt a számítógépes, automatizált vezérlési rendszerek alkalmazása. Ennek következtében, a karbantartási, javítási műveletek során már nem elég csupán a szubjektív vizsgálatokra, ellenőrzésekre hagyatkozni, hanem elengedhetlenné vált a diagnosztikai vizsgálatok bevonása. A Magyar Honvédség állományába folyamatosan rendszeresítik az olyan számítógépes rendszerekkel rendelkező haditechnikai eszközöket, amelyek technikai kiszolgálása és javítása csak modern diagnosztikai eljárások alkalmazásával valósítható meg. Egy, a diagnosztikai vizsgálatok rendszeres alkalmazásán alapuló üzemfenntartási rendszer lényeges előnyökkel járhat, mivel biztosítja a gyors és precíz munkavégzést. A rezgésdiagnosztika a gyakorlatban legtöbbször használt diagnosztikai vizsgálat, hiszen a gépek megbontása, roncsolása nélkül, csupán a gép által keltett rezgések alapján képes a gép alkatrészeinek működés közbeni folyamatos ellenőrzésére, meghibásodása esetén a hiba helyének pontos behatárolására. A rezgésdiagnosztikai műszerek rendszeres, hosszú távú alkalmazásával és a vizsgálatok nyújtotta tapasztalatok felhasználásával következtetni lehet a meghibásodás idejére, így döntő szerepet játszhat a javítások tervezésének folyamatában.

Kulcsszavak: diagnosztika, rezgésdiagnosztika, technikai kiszolgálás, javítás

¹ Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, honvéd tisztjelölt, e-mail: jusztin.karina@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1999-4629>

² Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, egyetemi docens, e-mail: veg.r Robert@uni-nke.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9786-6702>

The structure of modern vehicles is more and more complex because of the continuous improvement of technics. The application of automatic computer control system is widespread. Consequently, the involvement of diagnostic procedures became necessary in maintenance and repair operations, beyond subjective examinations and inspections. Military technology equipment with computer systems are continuously authorised in the Hungarian Defence Forces. The technical service and repair of these equipments is feasible with application of modern diagnostic procedures. A maintenance process based on regular use of diagnostic procedures ensures advantages by reason of quick and exact work methods. The vibration diagnostic is the most often used diagnostic inspection. According to the vibration of the equipment we are able to check the components and determine the exact location of the failure without any destruction. The regular, long-term application of vibration diagnostic gauges and the experiences based on these make possible to forecast the defect time and organise the repair processes.

Keywords: *diagnostic, vibration diagnostic, technical service, repair*

1. Bevezetés

A gépjármű-diagnosztika a műszaki diagnosztika alkalmazását jelenti, amely során a gépjárművön diagnosztikai műszerekkel végrehajtott mérések következtében a gépjármű műszaki állapotáról kapunk információkat, annak megbontása nélkül. A gépjármű-diagnosztika során a gépjárműre vonatkozó üzemi jellemzőket mérjük, majd ezen értékeket az előírt értékekkel hasonlítjuk össze. A diagnosztika alkalmazásának eredménye a közlekedésbiztonság megőrzése, szinten tartása, a gépjármű műszaki megbízhatóságának szinten tartása, növelése, a hibák időbeni felismerése, előrejelzése, a környezet védelme.³

Az egyes gépjárműveken végzett gépjármű-diagnosztikai vizsgálatok célja eltérő lehet: a) amennyiben a cél a gépek működőképességének meghatározása, akkor valójában a gép működésének ellenőrzése történik. Ebben az esetben azon gépre vonatkozó jellemzők vizsgálata történik, amelyek normál esetben biztosítják a gép kifogástalan működését és gazdaságos üzemeltetését; b) amennyiben a cél a minőség-ellenőrzés, akkor egy új gyártású, először üzembe helyezett vagy javításon átesett gép, illetve részegység üzembe helyezés előtti ellenőrzésére kerül sor. Ezeket az eljárásokat a működési diagnosztika foglalja magában; c) amennyiben a cél a gépjármű elhasználódási állapotának meghatározása, akkor a hibadiagnosztikai vizsgálat során a gép kopási állapotának, az anyag fáradásának, korrózió vagy egyéb károsító hatás miatt bekövetkezett hibajelenségek vizsgálata történik.⁴

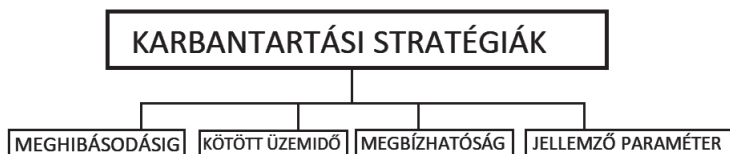
Az üzemfenntartási rendszer egy összetett rendszer, amely magában foglalja az állóeszköz-gazdálkodást, a karbantartást, karbantartás-irányítást, illetve szinten tartó beruházásokat is. Az üzemfenntartás részét képezik a megelőző jellegű tevékenységek, azaz karbantartási mű-

³ Lakatos István – Nagyszokolyai Iván: *Gépjármű-diagnosztika*. Budapest, Képzőművészeti Kiadó, 2007. 14–15.

⁴ Dömötör Ferenc et alii: *Járműdiagnosztika*. Budapest, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki Kar, Typotex, 2011.; Szabó József Zoltán: *Gépjármű diagnosztika*. é. n. 8–10.

veletek, az elhárító jellegű tevékenységek, azaz a javítások, valamint a technikai, gazdálkodási és adminisztratív feladatok. Az üzemben tartás két részre osztható, ezek a megelőző jellegű tevékenységek, illetve az elhárító jellegű tevékenységek. A megelőző jellegű tevékenységeket, azaz a karbantartási műveleteket a váratlan meghibásodások esélyének csökkentésére a még működőképes eszközökön hajtják végre. Általában statisztikai adatok alapján tervezik a gép működési paramétereinek ellenőrzését és a különböző alkatrészek, kenőanyagok cseréjének az idejét. Az elhárító jellegű tevékenységek az igénybevétel során keletkezett vagy a technikai kiszolgálás alatt észlelt meghibásodások megszüntetésére és az üzemképesség visszaállítására irányuló tevékenységek összessége.⁵

Az alkalmazott üzemeltetési stratégia szorosan összefügg az alkalmazási lehetőségekkel és szükségletekkel. Meghatározó feltétel például a jelen kor műszaki-technikai szintje, a haditechnikai eszköz konstrukciós sajátossága, hiszen egy haditechnikai eszköz üzemeltetését az elképzelt módszer követelményeinek megfelelően, a rendelkezésre álló információforrásokat felhasználva kell kidolgozni. Ezek mellett még fontos feltételnek minősül a vezető és kezelőállomány felkészültsége és igény szintje, a járműpark nagysága, az érvényben lévő hazai és nemzetközi előírások, az üzemeltetés helyszínéről szolgáló szervezeti keret korszerűsége, rugalmassága. A képen (1. ábra) látható módon a karbantartási stratégiákat több szempont alapján csoportosíthatjuk.



1. ábra. Karbantartási stratégiák

Forrás: a szerzők szerkesztése

A hagyományos karbantartási rendszerek a meghibásodásig történő üzemeltetés, a kötött üzemidő szerinti üzemeltetés, a megbízhatósági szint szerinti üzemeltetés és a jellemző paraméter szerinti üzemeltetés. A legalapvetőbb vizsgálati rendszer a meghibásodásig történő üzemeltetésen alapuló karbantartási rendszer, amelyet olyan eszközöknél alkalmaznak, ahol a meghibásodás elenyésző következménnyel jár. Előnye, hogy nagyon egyszerű, kevés tervezéssel járó rendszer, hátránya, hogy a váratlan hibák súlyos károkat okozhatnak, hiszen a meghibásodás bekövetkezése után végzik el a szükséges hibajavítást. A kötött üzemidő szerinti üzemeltetés vagy más néven tervszerű megelőző karbantartás (TMK) lényege, hogy az üzemeltetés tárgya meghatározott teljesítmény után – például üzemidő, naptári idő – ciklikus ellenőrzésen és karbantartáson esik át. Az ellenőrzések közti időt úgy határozzák meg, hogy az üzemeltetés tárgyát jellemző műszaki paraméter értéke ne tudjon a megengedett és a meghibásodást jelentő értékek közti különbséggel változni. A megbízhatósági szint szerinti üzemeltetési stratégia

⁵ Gyarmati József: Az üzemfenntartás speciális katonai követelményei. *Haditechnika*, 53. (2019), 4. 7.

növeli az irányítók munkáját és felelősségét és pontos, hiteles adatokat követel meg.⁶ A lényege, hogy ha a meghibásodások száma eléri az adott gépparkra és időszakra meghatározott maximálisan megengedhető meghibásodások számát, akkor külön ellenőrzésre vagy kötött üzemidő szerinti üzemeltetési stratégiára kell áttérni. Amennyiben a meghibásodások a maximális szintet nem érik el, a technikai eszközön karbantartást, ellenőrzést nem kell alkalmazni. A jellemző paraméter szerinti üzemeltetés jellegű stratégia során az üzemeltetés tárgyának állapotát szakaszos vagy folyamatos paramétervizsgálattal, majd annak kiértékelésével állapítjuk meg. A pillanatnyi műszaki állapot felméréséhez elengedhetetlen a vizsgált rendszerben lezajló fizikai folyamatok ismerete, a műszaki állapot változásának iránya és sebessége, hiszen ezek alapján kell meghatározni az üzemeltetés tárgyán végrehajtandó műszaki munkákat. Egy ilyen vizsgálatokon alapuló üzemeltetési rendszer alkalmazásához a lehető legpontosabb műszaki adatokra van szükség, amelyeket csak a legfejlettebb hibabehatárolási, diagnosztikai és állapotfigyelési módszer alkalmazásával érhetünk el.⁷

Manapság elképzelhetetlen a karbantartások, javítások sikeres, gyors elvégzése diagnosztikai vizsgálatok nélkül, amelyek használatával nemcsak a motor szerkezeti részeinek hibáiról kapunk pontos képet, hanem azok környezetkárosító hatásairól, valamint a gazdaságos működtetés visszaigazolásáról is.⁸ A fenntartás magában foglalja mindezen műszaki és szervezési tevékenységeket, amelyek a gépek és járművek előírt megbízhatóságú, gazdaságos üzemeltetését lehetővé teszik. A fenntartás keretében végzett karbantartási és javítási munkákkal elkerülhetők a váratlan meghibásodások, és csökken az üzemből kieső idő, valamint a fizikai elhasználódási folyamatok késleltethetők és a megbízható működés szinten tartható. A javító, karbantartó tevékenységek jellemzően a kezelés, a gondozás, a felügyelet, a vizsgálat és a szükséges beállítások, kisebb javítások elvégzésében merülnek ki. Jellemzően a karbantartó műveleteket szétszerelés nélkül végzik. Amennyiben – a korábbi eljárásoknak megfelelően – a hibákat a gépjármű egyes fődarabjainak megbontásával tárnák fel, az több szempontból hátrányos hatással lenne a munkálatok hatékonyságára, mivel a gépjármű szerelési ideje meghosszabbodik, a szerelés után jónak minősített egység szerelési ideje felesleges, a jónak minősülő egység a megbontás következtében hibássá válhat, valamint a szükségtelen alkatrészcsere növeli az anyagköltségeket. Ezért váltak elterjedté a hibafeltárás során alkalmazott diagnosztikai eljárások, mivel a gépjármű műszaki állapotára, a műszaki állapotra jellemző paraméterekre vonatkozó vizsgálatok a gépjármű megbontása nélkül elvégezhetők.

Az üzemeltetett gépjárművek műszaki állapotfelügyelete, üzemállapot-regisztrációja törtenhet: rendeleti előírás alapján (forgalombiztonsági, környezetvédelmi állapot-ellenőrzés, menetállapot-regisztráció); fenntartás céljából (hibamegállapítás, hibamegelőzés, beállítás, beszabályozás); szállítási feladat végrehajtásának komplex értékelése szempontjából.

⁶ Gyarmati József: Examining Some Key Issues of the Maintenance Organisation from the Point of View of the Operator and the Manufacturer. *Academic and Applied Research in Military and Public Management Science*, 18. (2019), 3. 45–53.

⁷ Gion János: *Gépjárművizsgálat, -javítás I.* Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 2003. 14–16.; Pokorádi László: *Karbantartás elmélet.* 2002. 5–7.; Péczely Csaba: A karbantartás-menedzsment korszerű irányzatai és módszerei. *Magyar Grafika*, 53. (2009), 4. 12–16.

⁸ Vég Róbert – Hegedűs Ernő: Dízelmotorok feltöltése és hűtése, különös tekintettel a katonai felhasználásra tervezett konstrukciókra. I. rész. *Haditechnika*, 50. (2016), 6. 6–11.

A diagnosztikai vizsgálatokat jellemzően a javítás megkezdése előtt alkalmazzák gyors és megbízható hibakeresés céljából. A műszerek objektív eredményei kizárják az elhúzódo hibakeresést és a hiba szubjektív megítélését, a szerkezeti részek megbontása nélkül. A diagnosztikai műszerek a hibakutató vizsgálat után, a javítási folyamatok során lehetővé teszik a javítások minőségét növelő beállítások pontosságát. A javítás – azaz az üzemképesség, az előírt megbízhatósági szint helyreállítása – elvégzése után ellenőrző diagnosztikai méréseket végezhetünk el. A rendszeres diagnosztikai vizsgálatokkal több hiba is kimutatható, növelhető a gazdaságosság és megbízhatóság, illetve megelőzhető a váratlan üzemképtelenség. A váratlan hibák megelőzésére vagy épp a hibák megállapítására az üzemeltetők célszerűen kidolgozott tervszerű megelőző karbantartási rendszer szerint folyamatos ellenőrzéseket, vizsgálatokat végeznek.⁹

2. Rezgésdiagnosztika

A rezgésdiagnosztika a műszaki diagnosztikának egy olyan speciális ága, amely a berendezések dinamikus erőhatásaira keletkező rezgéseinek a mérésével és kiértékelésével foglalkozik. Ezek a rezgések a berendezés működése közben, vagy külső kényszergerjesztés során keletkezhetnek. A rezgésdiagnosztika alkalmazása igen sokrétű lett az elmúlt évtizedekben. A különböző gépalkatrészek rezgéseinek a meghatározása a lehetséges hibák listáját jelentősen leszűkíti. Mivel a géprezgések információkat hordoznak, a rezgésdiagnosztikai eljárás számos esetben alkalmazható. Egy gép alkatrészein előforduló hibák leggyakrabban valamilyen igénybevétel következményei, ami lehet túlterhelés vagy pedig hosszú időn keresztül tartó ciklikus igénybevétel. Ha túl nagy terhelés éri a szerkezetet, az alkatrészek elrepedhetnek, eltörhetnek, a hegesztési varratok felszakadhatnak.

A rezgésdiagnosztikai vizsgálatokat olyan berendezéseknél alkalmazzuk, ahol:

- a géphibából eredő járulékos veszteség hatalmas költségekkel jár;
- egy géphibából adódó leállás, termelés kiesés szintén magas költségekkel jár;
- a gép hibája közvetlen veszélyt jelent a közelben dolgozó munkásokra nézve;
- a gép a környezetben kárt okozhat;
- valamint költségmegtakarítás céljából.

Lényeges a gyors, pontos és megbízható vizsgálat, illetve hogy ez a berendezés szétszerelése nélkül elvégezhető legyen. Továbbá a nagyjavításra szoruló gépeket, berendezéseket a javítás idejére kénytelenek nélkülözni, ami idő- és energiavesztéssel jár. Ha a hiba okát, helyét nem tudjuk előre, a javítási folyamat még hosszabb lesz. A rezgésdiagnosztikai vizsgálatokkal még a gép üzemi ideje alatt vizsgálatokat végezhetünk, amivel meghatározhatjuk a hiba pontos helyét és okát, ezután pedig célirányosan kerül sor javításra, így időt és energiát takaríthatunk meg. A nagyjavítás után végzett vizsgálatok a javítás eredményességét ellenőrzik, valamint a váratlan hibák kiküszöbölésére alkalmazhatók, amelyekkel későbbi, komolyabb meghibásodások előzhetőek meg. A rendszeresen végzett ellenőrzéssel nyomon követhetjük a kopási

⁹ Lakatos István: *Műszaki diagnosztika*. 2006. 33–34., 38–41.; Dömötör (2011) i. m. 9.

folyamatokat, így előrelátható és betervezhető a következő javítás. Ez nagyban megkönnyítheti a javítási ciklusok megtervezését. A rendszeres javítási ciklusokat célszerű úgy tervezni, hogy az üzemet még nem veszélyeztető hiba és az üzemet már veszélyeztető hiba között legalább egy vizsgálat legyen.

A rezgésdiagnosztikát a következő hibák feltárására és kivizsgálására, valamint egyes gépelemek beállítására használjuk, például:

- kiegyensúlyozás;
- tengelygörbeség kivizsgálása;
- tengelykapcsoló- és csapágybeállítási hibák elhárítása;
- rezonancia elhárítása;
- különböző gépalkatrészek relatív mozgásának meghatározása;
- forgóberendezések kopásának előrejelzése (villamos motorok, ventilátorok, szivattyúk, kompresszorok, fúvók, fogaskerék-hajtóművek, turbógépcsoportok);
- gépalapozások;
- továbbá minden olyan helyen, ahol a rezgés információkat hordoz.¹⁰

A régi időkben a nagy tapasztalattal rendelkező karbantartók képesek voltak tapintás vagy hallás útján behatárolni a gép hibáit. A mai berendezéseket érintően idő, energia és pénz szempontjából lassú és bizonytalan, megbízhatatlan ez a technika, így felmerült az igény, hogy a gép állapotáról minél többet megtudva, minél pontosabban tudjuk meghatározni használatának időbeli korlátait.

A gép részegységei egymásra hatással vannak, így ezek rezgést generálnak, amelyek érzékelhetők, felismerhetők, jellemezhetők, tehát a gép rezgései ismereteket rejtnek a gép állapotára vonatkozóan. A régi szerelőkhöz hasonlóan, a mai jelfelismerő és -feldolgozó berendezések is ezeket a rezgéseket használják fel, hogy többszöri gyors méréssel információkhoz jussanak a gép belsejében zajló folyamatokat illetően. Ahhoz, hogy a rezgéseket információként tudjuk használni, szükséges, hogy a rezgést leíró jellemzőt mérni tudjuk. Ennek értelmében a rezgést különböző eszközökkel feldolgozható jellé alakítjuk, majd elemezzük. A rezgések mérése során az elmozdulás, a sebesség és a gyorsulás közti összefüggést használjuk ki, amely értelmében bármelyik mérésével a másik kettő kiszámítható. A legtöbb korszerű műszer a megfelelő érzékelő kiválasztásával mindhárom jellemző mérésére képes.¹¹

A rezgésdiagnosztikai műszerek megértéséhez elengedhetetlen a rezgéseket érintő alapfogalmak megértése:

- a rezgés frekvenciája a hiba forrására ad utalást, mivel a gépben keletkezett különféle meghibásodások különböző frekvenciákon jelentkeznek. Ebből következik, hogy a gép üzemelési fordulatszámából származtatott alapharmonikus frekvencia utal a meghibásodott alkatrészre;

¹⁰ Szabó József Zoltán: A mozgás-animációs módszer alkalmazása a rezgésdiagnosztikában, forgógépek megbízhatóságának növelésére. *Repüléstudományi Közlemények*, 23. (2011), 2. 1–2.

¹¹ Forgács Endre – Szuchy Péter: *A rezgésdiagnosztika gyakorlati alkalmazása*. é. n.

- a rezgésamplitúdó a hiba súlyosságára utal. A rezgésamplitúdót meghatározhatjuk a rezgés elmozdulásaként, sebességeként vagy gyorsulásaként;
- a rezgésebbesség egy gépelem periodikus rezgése során a kitérés két szélső helyzete között mérhető sebesség. A rezgésebbesség-mérés előnye az elmozdulásméréshez képest, hogy jobban kifejezi a gép által keltett erők nagyságát, ráadásul nem kell ismernünk a frekvenciát a rezgésebbesség meghatározásához, hiszen a sebesség ezt már tartalmazza. A gépállapotról vonatkozó rezgésdiagnosztikai szabványok előnyben részesítik a rezgésebbeségen alapuló mérési módszereket;
- a rezgés fázisszögét úgy definiálhatjuk, mint a rezgőmozgást végző pont pozícióját egy adott pillanatban, egy fix kezdőponthoz vagy esetleg egy másik rezgőmozgást végző elemhez viszonyítva.¹²

A működésben lévő gépek alkatrészei üzem közben rezegnek, valamint a környezetükben lévő levegőt mozgatva, hangot képeznek. A gépek belsejében lévő alkatrészek adott illesztési hézaggal illeszkednek egymáshoz, emiatt egymáshoz ütközhetnek, elcsúsznak egymáson, súrlódnak, gördülnek, ami mind rezgéseket gerjeszt. A forgó, csúszó vagy gördülő mozgást végző testek kiegyensúlyozatlanságukból, nem szabályos alakjukból, felületük érdességéből adódóan rezegnek. A szabályos alakú testek (például golyó) csúszásakor, gördüléskor is keletkeznek rezgések, mert a testek felülete sohasem tökéletesen sima. Az új, hibátlan gép is kelthet rezgéseket, mert gyártás során elkerülhetetlenek a kisebb egyenetlenségek. A rendszeres üzemeltetés során az alkatrészek kopnak, elhasználódnak. A rezgések a sima egyeneses járástól (a bejáródástól) a durva egyenlőtlen járásig (a tönkremenetelig) egyenesen növekednek. Elmondható tehát, hogy egy rendszeresen üzemelő gép esetében normális, hogy mérsékeltten emelkedik a rezgések erőssége, ami arra enged következtetni, hogy a gép állapota még jó. Azonban, ha a rezgések erőssége rohamosan nő, a gép vagy annak egyes alkatrészei élettartamuk végéhez közelednek. Egy gép rezgéseit egyidejűleg több tényező is okozhatja, ezért a gépet jellemző rezgés mindig összetett, sok rezgésből áll. Ha csak az összetett rezgést elemezzük, a változás kevésbé érzékelhető. Az összetett rezgést elemezve a hiba helyét is be tudjuk határolni.¹³

Egy üzemeltetett gép rezgése számos tényezőtől függ: a) a szerkezetétől; b) az elhelyezésétől; c) az üzemeltetés feltételeitől; d) a gép állapotától.

A gép állapota az elhasználódás miatt romlik, és ennek függvényében a rezgés erőssége növekszik. A rezgésvizsgálatokat tervszerű megelőzőkarbantartás-ciklus szerint végzik. A vizsgálat során megállapítják a rezgés erősségét, ha a rezgés a megengedhető rezgéstől nagyobb, a várható élettartam nem elegendő a következő javítási ciklusig, a gépalkatrészt ki kell cserélni, illetve javítani kell. A megengedhető rezgésszintre vonatkozóan már több évtizede elkészültek rezgésdiagramok, rezgéstáblázatok. Ezek mára már több szemponttal kiegészültek, mint például gazdasági, munkavédelmi és egészségügyi követelményekkel is. A ma érvényes szabványok

¹² Szabó (2011) i. m. 4–6.

¹³ Dömötör (2011) i. m. 20–21.

már szabályzatokban előírják a rezgésvizsgálatkor alkalmazható műszerrel kapcsolatos követelményeket, a vizsgálat feltételeit, a vizsgálat és az értékelés módját is. A gépeket rendszerint a névleges fordulatszámon vizsgálják, változtatható fordulatszámú gépeknél pedig a vizsgálatot a teljes fordulatszám-tartományban kell elvégezni, azért, hogy az esetleges rezonanciák kialakulhassanak.¹⁴

A rezgésdiagnosztikai vizsgálatok elvégzésének elengedhetetlen eszközei az érzékelők, jelátalakítók, illetve a frekvenciaelemzők. A gépek rezgéseit a rezgés során érzékelt kitérés nagysága, út, frekvencia és fáziseltolódás jellemzi. A sebesség és gyorsaság értékét villamos jellé alakítják. A rezgésátalakítók többsége sebesség-, illetve gyorsulásérzékelővel működik. A mérendő testhez rögzített érzékelőkön túl, léteznek még érintkezés nélküli jelátalakítók is. Ezek a relatív mozgást érzékelik, például a csapágyházra felerősített érzékelő és a rezgő tengely közötti távolságot. A gyorsulásérzékelő jelátalakítók legtöbbször piezoelektromos kristállyal működnek. Gyorsuláskor a tehetetlenségi erő a kristályra erőt fejt ki, amely arányos a mért gyorsulással. Az erősítő, előerősítő berendezések feladata az érzékelők adta gyenge jel erősítése a jelek jobb értékelhetősége, illetve további feldolgozása céljából. Az érzékelő jelét az előerősítő erősíti fel, a további erősítést mérőerősítők végzik, amelyeket rendszerint egybeépítenek a kijelző műszerrel. Az előerősítők különösen a kis frekvenciánál előnyösek. Összetett rezgések elemzése során nem elegendő az összetett rezgésre vonatkozó értéket megadni, frekvenciaelemző műszert kell alkalmazni. A frekvenciaelemzők képesek a rezgések frekvencia szerinti szétbontására. A mai frekvenciaelemzők számítógépen alapuló rendszerek, a jelek elemzését pedig szoftver végzi, olyan digitális szűrők felhasználásával, amelyek képesek kiszűrni az egyes frekvenciákat.¹⁵

Ahhoz, hogy meg tudjuk mérni a gép rezgéseit, egy rezgésmérő eszközre, rezgésdiagnosztikai műszerre van szükségünk. Egy korszerű rezgésmérő berendezés esetében a jeladó a gépre van rögzítve. Az elektronika a mért kifeszültségű jelet felerősíti, majd kábelen keresztül továbbítja a jeleket, amiket a környezetében lévő feszültségek már nem zavarhatnak meg. A berendezés rendelkezik egy adatgyűjtő és jelfelfogó egységgel, ez a számítógéphez való csatlakoztatáskor előhívja a tárolt adatot a memóriából, és átadja a kiértékelő szoftvernek. A szoftver feladata, hogy kiértékelje a kapott információkat, rendezze, rendszerezze a felvett adatokat dátum és egyéb beállított paraméter alapján, majd hibákat keressen és dokumentáljon mindent.

¹⁴ Szabó József Zoltán: *Rezgésdiagnosztikai vizsgálatok és haditechnikai alkalmazhatóságuk kutatása*. Doktori értekezés. Budapest, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Bolyai János Katonai Műszaki Doktori Iskola, 2010. 30–32.

¹⁵ Dömötör (2011) i. m. 17–19.



2. ábra. Elektronikus sztetoszkóp

Forrás: <http://hu.acrylatemonomer.com/car-repairing-tools/automotive-electronic-stethoscope-mechanical.html>

Az elektronikus sztetoszkóp (2. ábra) olcsósága és egyszerűsége révén elterjedt mérőműszer. Alkalmazása az orvosi sztetoszkópéhoz hasonló. Az elektronikus sztetoszkóp egy régi módszeren alapul, amely során a szerelő egy közösleges csavarhúzó hegyét a csapágyházhoz nyomva vizsgálta a csapágyból érkező zajokat. E technika tökéletesítésével jött létre a ma használatos elektronikus sztetoszkóp.



3. ábra. Rezgésmérő ceruza

Forrás: <https://webshop.rumed.hu/Diagnosztikai-eszkozok,-gepbeallitas-2/CMAS-100-SL-SKF-rezgesmero-2>

Az egyszerű rezgésmérő berendezések közé sorolható még a rezgésmérő ceruza vagy csapágyvizsgáló ceruza. A 3. ábrán látható könnyű kezelésű műszer jellemzője, hogy csak a tényleges jeleket tudják mérni, nem képesek a rezgésjelek elemzésére.



4. ábra. Csapágyállapot-jelző kézi műszer

Forrás: www.vmiab.com/viber-a/

A gépek rezgései mindig összetettek, ezért a jeleket el kell különíteni egymástól. A rezgés-analizátorok (4. ábra) dolga, hogy szétválogassa a különböző frekvenciájú jeleket. A műszer előnye, hogy nem igényel nagy helyet, könnyű és hordozható.¹⁶

3. Következtetések

A Magyar Honvédség a mai napig az 1960-as években bevezetett Tervszerű Megelőző Karbantartáson (TMK) alapuló rendszert alkalmazza gépjárművei technikai kiszolgálására, karbantartására és javítására. Az elmúlt 60 évben olyan mértékű és jellegű technikai fejlődés ment végbe a gépjárműiparban – ezáltal a haditechnikai iparban is –, amelynek igényei nem feltétlenül elégíthetők ki a jelenleg is alkalmazott, merev cikluson alapuló karbantartási rendszer alkalmazásával.

Jelen korunk technikai szintje meghatározza, hogy a korszerű páncélos- és gépjárműtechnikai eszközök olyan konstrukciós sajátosságokkal rendelkeznek, amelyek karbantartásának és javításának elengedhetetlen feltétele a modern diagnosztikai műszerek használata, illetve az azokat kezelő személyek hozzáértése. A rezgésdiagnosztikai műszerek hátrányként éppen ezért említhető az, hogy a műszerek kezelése, az adatok, információk elemzése komoly szaktudást igényel, ezáltal sok, jól képzett szakember szükséges egy diagnosztikai vizsgálatokra épülő karbantartási rendszer működtetéséhez. A szaktudás megfizetése, a képzés, illetve az eszközökre való beruházás többletköltséget jelent a többi diagnosztikai vizsgálattal szemben, azonban egy nagy és értékes járműparkkal rendelkező szervezet – mint a Magyar Honvédség – esetében hamar kifizetődik. A merev cikluson alapuló karbantartási rendszerrel szemben a diagnosztikai vizsgálaton alapuló karbantartás során nem meghatározott üzemidő vagy futásteljesítmény után tartják karban vagy javítják az eszközt, hanem időszakosan vagy folyamatosan műszeres műszaki vizsgálatot végeznek a gépjárművön. A merev ciklusos karbantartás arra az alapelvre épül, hogy a javítás korfüggő, azaz az egyes alkatrészek hasznos élettartama és tönkremenetele között van egy egyértelműen meghatározható határ, és ez szabja meg, hogy mikor kerüljön

¹⁶ Rahne Eric: *Üzemfenntartási tevékenységek*. 2004. 1–4.

sor az eszköz felülvizsgálatára, javítására vagy az alkatrész cseréjére. Azonban ezt a határt nem érdemes általánosságban alkalmazni az összes alkatrész esetében, hiszen számos egyéb tényező is befolyásolhatja az egyes alkatrészek élettartamát (például a rá ható igénybevételek, a gyártási hibák, pontatlanságok, anyaghibák). Továbbá az alkatrészek kihasználtsága is kedvezőtlen, hiszen előfordulhat, hogy már kicserélik az alkatrészt, holott még alkalmas lenne a további használatra. A TMK alapelve elavultnak tekinthető, hiszen már kidolgozott stratégiák léteznek a diagnosztikai vizsgálatokra épülő karbantartási rendszer alkalmazására, ami egy pontosabb, gyorsabb és megbízhatóbb módszer használatán alapul.

A gépjármű-diagnosztika, kiemeltképp a rezgésdiagnosztika alkalmazása kétségtelenül előnyös lenne a Magyar Honvédség technikai kiszolgálási és javítási rendszerében, hiszen a páncélos- és gépjárműtechnikai eszközök géphiba miatti üzemképtelensége és állásideje lényegesen lerövidülne, valamint a gép hibáiból eredő költségek is jelentősen csökkenthetők lennének.

Felhasznált irodalom

- Dömötör Ferenc – Sólyomvári Károly – Weltsch Zoltán – Vehovszky Balázs: *Járműdiagnosztika*. Budapest, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki Kar, Typotex, 2011. Online: www.gjt.bme.hu/sites/default/files/jarmudiagnosztika.pdf
- Forgács Endre – Szuchy Péter: *A rezgésdiagnosztika gyakorlati alkalmazása*. é. n. Online: <https://u-szeged.hu/tamop411f-0006/kialakitott-kepzesi/forgacs-endre-szuchy>
- Gion János: *Gépjárművizsgálat, -javítás I*. Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 2003.
- Gyarmati József: Az üzemfenntartás speciális katonai követelményei. *Haditechnika*, 53. (2019), 4. 3–10. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.53.4.01>
- Gyarmati József: Examining Some Key Issues of the Maintenance Organisation from the Point of View of the Operator and the Manufacturer. *Academic and Applied Research in Military and Public Management Science*, 18. (2019), 3. 45–53. Online: <https://doi.org/10.32565/aarms.2019.3.2>
- Lakatos István – Nagyszokolyai Iván: *Gépjármű-diagnosztika*. Budapest, Képzőművészeti Kiadó, 2007.
- Lakatos István: *Műszaki diagnosztika*. 2006. Online: <https://doksi.hu/get.php?lid=19269>
- Péczely Csaba: A karbantartás-menedzsment korszerű irányzatai és módszerei. *Magyar Grafika*, 53. (2009), 4. 12–16. Online: www.gjt.bme.hu/sites/default/files/peczelycs_karbantartas-menedzsment_i_es_m.pdf
- Pokorádi László: *Karbantartás elmélet*. 2002. Online: <https://doksi.hu/get.php?lid=7415>
- Rahne Eric: *Üzemfenntartási tevékenységek*. 2004. Online: <https://docplayer.hu/17113474-Uzemfenntartasi-tevekenysegek.html>
- Szabó József Zoltán: A mozgás-animációs módszer alkalmazása a rezgésdiagnosztikában, forgógépek megbízhatóságának növelésére. *Repüléstudományi Közlemények*, 23. (2011), 2. 1–21. Online: www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2011_cikkek/Szabo_Jozsef_Zoltan.pdf
- Szabó József Zoltán: *Gépjármű diagnosztika*. é. n. Online: <https://docplayer.hu/2725938-Gepjarmu-diagnosztika-szabo-jozsef-zoltan-foiskolai-adjunktus-bmf-mechatronika-es-autotechnika-intezet.html>
- Szabó József Zoltán: *Rezgésdiagnosztikai vizsgálatok és haditechnikai alkalmazhatóságuk kutatása*. Doktori értekezés, Budapest, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Bolyai János Katonai Műszaki Doktori Iskola, 2010.
- Vég Róbert – Hegedűs Ernő: Dízelmotorok feltöltése és hűtése, különös tekintettel a katonai felhasználásra tervezett konstrukciókra. I. rész. *Haditechnika*, 50. (2016), 6. 6–11. Online: <https://doi.org/10.23713/50.6.02>

<http://hu.acrylatemonomer.com/car-repairing-tools/automotive-electronic-stethoscope-mechanical.html>

<https://webshop.rumed.hu/Diagnosztikai-eszkozok,-gepbeallitas-2/CMAS-100-SL-SKF-rezgesmero-2>
www.vmiab.com/viber-a/