AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search
http://ageconsearch.umn.edu
aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

JOURNAL OF CENTRAL EUROPEAN GREEN INNOVATION
HU ISSN 2064-3004
Available online at http://greeneconomy.karolyrobert.hu/

ZÖLD TECHNOLÓGIÁK FENNTARTHATÓ MENEDZSMENTJÉNEK INNOVATÍV DIAGNOSZTIKAI MÓDSZEREI

Innovative Diagnostic Methods for Sustainable Management of Green Technologies

SZENDREI JÁNOS – GRASSELI GÁBOR – NAGYNÉ DEMETER DÓRA – SZEGEDI LÁSZLÓ – SZŰCS EDIT

Összefoglalás

A zöld gazdaság kiterjedt tárgykörén belül fontos szerepet foglalnak el a zöld technológiák. A jól működő technológiai rendszerek működésének fenntartásához, fenntarthatóságához, a rendszerek részét képező épületek, szerkezetek és berendezések állagának megóvásához szükséges azok kulcsjellemzőit nyomon követni, rendszeresen ellenőrizni, diagnosztizálni. Amint a szakirodalom alapján leszűrhető eredmények mutatják, az összetett rendszerekként jellemezhető technológiákra, így a zöld technológiákra is találhatók olyan innovatív műszaki diagnosztikai megoldások, melyek segítenek azok működését fenntartható módon menedzselni. Ez igaz magukra a technológiát üzemeltető szervezetek üzemeltetési és karbantartási menedzsment stratégiáira csakúgy, mint a vizsgálati módszerek széles skálájára. A vizsgálandó gépek és struktúrák anyagi tulajdonságai, valamint gyakorlati szempontok alapján a menedzsment rendelkezik eszközökkel az alkalmazandó műszaki diagnosztika kiválasztásához is. Mindezek alapján a technológiákat alkalmazó és fejlesztő vállalkozók, kutatók, illetve szervezeti döntéshozók számára ajánlható, hogy az általuk választott technológia fenntartható üzemeltetéséhez vegyék figyelembe a műszaki diagnosztika rendelkezésre álló eszköztárát is.

Kulcsszavak: *fenntarthatóság, technológia-menedzsment, műszaki diagnosztika*
JEL kód: *O14, O32, Q56*

Abstract

Within the extensive area of green economy, green technologies have an important role. To sustain sustainability and operation of well-functioning technology systems, and to maintain the buildings, structures, and equipment that are part of the systems, their key parameters have to be monitored, checked and diagnosed on a regular basis. As the results that are inferred from literature show, innovative technical diagnostic solutions can be found for technologies, also for green technologies, which can be described as complex systems, to help manage their operation in a sustainable manner. This is true for the operating and maintenance management strategies of corporations operating technologies, as well as for the broad range of test methods. Based on material properties of machines and structures as well as on practical aspects, the management has a means to select the applicable technical diagnostics.

According to all these, contractors, researchers, and organizational decision-makers using and developing technologies can be advised to take account of the available technical diagnostics tools for the sustainable operation of their chosen technology.

Keywords: *sustainability, technology management, technical diagnostics*

Bevezetés

A zöld gazdaság területe kiterjedt tárgykörén belül fontos szerepet foglalnak el a zöld technológiák, azon belül is a zöld energia technológiái: a megújuló energiaforrások, az energiahatékonyság és az energiatakarékosság műszaki-gazdasági rendszerei. Ha ebből a megújuló energiák körét, mint egy napjainkban különösen fontos tárgykört, emeljük ki példaként, több megállapítást is tehetünk, melyek keretet adnak a zöld technológiák fenntartható menedzsmentjéhez.

A megújuló energiák felhasználása függ a rendelkezésre álló mennyiségüktől. Ez összefügg természetföldrajzi tényezőkkel, mint az adott területre jellemző klíma, talaj, geológia, másrészt társadalomföldrajzi jellemzőkkel, mint városi-vidéki jelleg (SZENDREI et al. 2015), településszerkezet, jövedelmi viszonyok vagy környezettudatosság (KOZMA et al. 2014). Az előállítási technológiákban mégis érdemes keresni az olyan általánosítható tényezőket, amelyek az adott helyszíni alkalmazás egyedi sajátosságai mellett is kiemelhetők. Ilyen például, hogy nagyarányú és fenntartható felhasználásukhoz szükséges az energiahatékonyság is (BALLA et al. 2014), vagy a technológiák menedzsmentjének az a sajátossága, hogy sikeres létesítésükhöz, hosszabb távon is fenntartató üzemeltetésükhöz – alapvető gazdaságossági, koncepcionális tényezők figyelembevétele mellett (KALMÁR et al. 2015) – elengedhetetlen a technológiák üzembiztonságát szolgáló rendszereknek a kiépítése és működtetése. A jól működő technológiai rendszerek működésének fenntartásához, fenntarthatóságához, valamint a rendszerek részét képező épületek, szerkezetek és berendezések állagának megóvásához szükséges azok kulcsjellemzőit nyomon követni, rendszeresen ellenőrizni, diagnosztizálni.

A jelen írás célja felhívni a figyelmet a műszaki diagnosztika fontosságára, és választ adni a fenntartható menedzsmentet segítő innovatív megoldásokra. A nemcsak hazai, hanem világviszonylatban is innovatív zöld technológiák működési biztonságához, gazdasági, társadalmi és környezeti szempontból fenntartható üzemeltetéséhez felhasználható fejlett és fejlődő diagnosztikai módszerek eszközt adhatnak a menedzsment, a műszaki szakemberek kezébe e célok eléréséhez. Az áttekintés célja továbbá megalapozni későbbi kutatásainkat az egyes zöld technológiákhoz felhasználható diagnosztikai módszerek identifikálásához.

Anyag és módszer

A jelzett célok alapján szakmai konzultáció és a rendelkezésünkre álló irodalom (nyomtatott és elektronikus tankönyvek, szakcikkek, szakmai jelentések, műszaki ismertetők illetve leírások) felhasználásával összeállítást illetve értékelést készítettünk a diagnosztikával kapcsolatos menedzsment-stratégiákról és a főbb diagnosztikai módszerekről. Munkánk eredménye egyrészt ez az összeállítás, másrészt a szakirodalom és a személyes szakismeretek alapján az egyes diagnosztikai eljárások értékelése a gyakorlati alkalmazhatóság, a más módszerekkel való kompatibilitás és a menedzsment szempontjából felhasználhatóság

tekintetében. Az értékeléshez ötfokozatú skálán minősítettük a diagnosztikai eljárásokat, majd az eredményeket táblázatban összegeztük.

Eredmények

A műszaki diagnosztika szerepe a technológia-menedzsmentben

A műszaki diagnosztika feladata a gépek, berendezések állapotát leíró adatok és elemzések szolgáltatása a karbantartási rendszer számára. A korszerű diagnosztikai eljárások az állapotfelmérésen alapuló karbantartáshoz kötődően alakultak ki, de alapját jelentik minden korszerű üzemfenntartási rendszernek is, mint az állapotfelügyelet eszközei.

A műszaki diagnosztika mára az egyik legfontosabb döntéstámogatási módszerré vált az összetett gépészeti rendszerek üzemeltetése terén. A termeléssel szemben támasztott minőségi, hatékonysági és gazdaságossági követelmények miatt a termelőeszközök üzemeltetése ma már elképzelhetetlen korszerű műszaki diagnosztikai eszközök és módszerek nélkül. Így például a korszerű, egyre több és bonyolultabb berendezést alkalmazó – ezen belül egyre nagyobb arányban a megújuló energiaforrások hasznosítására kifejlesztett – épületgépészeti rendszerek jelen vannak a gazdaság minden területén, ezen túl a közlekedésben, a mezőgazdaságban, a kereskedelemben és a szolgáltatásokban. A jellegzetes műszaki folyamatok meghatározó elemeiként mindenütt megtalálhatók speciális berendezések, melyek hatékony üzemeltetése az üzem sikerességének egyik meghatározó eleme.

Az üzemeltetés és az eszközmenedzsment fontos szempontja az energiahatékonyság és a környezettudatosság. A műszaki diagnosztikára alapozott üzemeltetésben nem csak a rendelkezésre állás és a megbízhatóság magas szintű követelményei teljesülnek. A gépek állapotának pontos és naprakész ismerete lehetővé teszi az energiafogyasztás növekedését okozó problémák felismerését, illetve a balesetveszélyes és környezetszennyezéssel járó meghibásodások megelőzését is.

Műszaki rendszerek üzemeltetésének költségstruktúrája

A műszaki beruházások esetén meghatározó szempont egyrészt a teljes életciklusra vetített költség, másrészt – az előbbivel szoros összefüggésben – a rendszer gazdaságos üzemeletethetősége. Új műszaki rendszerek telepítése, vagy meglévők felújítása szinte mindig szűkös pénzügyi keretek között zajlik, így a gazdaságossági szempontokat a tervezéstől az üzemeltetésig minden lépésben érvényesíteni kell. A beruházási döntések előkészítésében meghatározó szerepe van a beszerzendő berendezések, rendszerek teljes élettartam költség (Life Cycle Cost, LCC) elemzésének, e nélkül a megtérülés bizonytalanná válik. Az élettartamköltség-elemzésnek ma már kiterjedt irodalma van, mind a matematikai megalapozottság és a számítások szimulációs alkalmazásai tekintetében (COPLE és BRICK, 2010), mind az alkalmazás, ezen belül a zöld energia rendszerekre alkalmazás terén (ZAKERI és SYRI, 2015.), mind pedig az egyéb, környezeti hatásokat is felmérő módszerekkel való ötvözés irányában, mint amilyen az életciklus-elemzés (RISTIMÄKI et al. 2013.)

A termelő berendezések, járművek, épületgépészeti rendszerek teljes élettartam költségében – a gépek jellegétől függően különböző mértékben – jelentős arányt képviselnek az üzemeltetési és karbantartási költségek. Így – az üzemeltetési és karbantartási költségeket is kellőképpen

figyelembe vevő döntéssel – a teljes élettartam költség jelentősen csökkenthető. A gyakorlatban általában érvényesül az „olcsó, hosszú távon drágább" tapasztalat. A helyes döntéshez össze kell vetni a tervezett használati időt, és az ezalatt esedékes javítások, felújítások költségét, egyáltalán javítható-e a berendezés, adott-e a karbantartási lehetősége, mennyire van a felhasználó kiszolgáltatva a gyártónak vagy a szakszerviznek.

Az energiát felhasználó rendszerek teljes élettartam költség elemzése, a megalapozott döntések meghozatala különösen fontos abból a szempontból, hogy a technológiák – társadalmi érdeket szolgáló – elterjedését ne akadályozzák pénzügyileg sikertelen, rossz reklámot jelentő beruházások. A megújuló energiák (pl. napsugárzás, geotermikus hőenergia, szélenergia) felhasználásra épülő rendszerek beruházási költsége általában igen magas, így a teljes élettartam költségnek a hagyományos rendszerekkel való összehasonlítása fontos érv lehet.

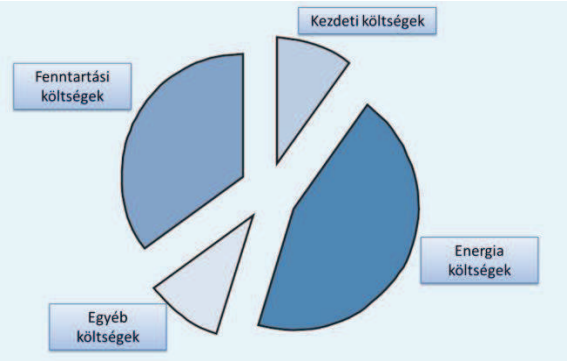
Egy műszaki rendszer teljes élettartam költségét úgy kapjuk, hogy összeadjuk a rendszer elemeinek teljes élettartama alatt felmerülő összes költséget. Egy szivattyúrendszer élettartam költsége például az alábbi képlettel számítható (U.S. DOE 2001)

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d$$

ahol

C_{ic}: beszerzési költség
C_{in}: telepítési, beüzemelési költség
C_e: energia költség
C_o: üzemeltetési költség
C_m: karbantartási és javítási költség
C_s: üzemzavar miatti veszteség költség
C_{env}: környezetvédelmi költség
C_d: leszerelési, hulladékkezelési költség

A műszaki rendszerek esetén általában az energiaköltségek (ezek a gép típusától és funkciójától függően igen széles tartományban mozoghatnak) és az üzemeltetési költségek, ezen belül is a karbantartási költségek képezik a legjelentősebb részt, ami a beruházás költségének sokszorosát is elérhetik. Ennek megfelelően a felhasznált energiával való gazdálkodás és a berendezések karbantartásának hatékonysága jelentős hatással van a vállalat tevékenységének gazdaságosságára (1. ábra).



1. ábra Tipikus közepes méretű ipari szivattyú élettartamköltségének megoszlása
Forrás: U.S. DOE 2001

A műszaki rendszerek gazdaságos üzemletetésének feltétele a gondos, az igényeknek megfelelő tervezés, majd a folyamatos, szakszerű és pontos adatgyűjtés, az információ feldolgozása és a szükséges lépések megtétele: fölösleges tevékenységek eliminálása, erőforrások átrendezése. Az információk egyik legfontosabb forrása a műszaki diagnosztika, ami a gépek, termékek állapotáról ad képet, és megalapozza a karbantartási tevékenységeket.

Műszaki rendszerek menedzsmentjének üzemfenntartási módszerei
A karbantartási tevékenységek (beavatkozások) időzítése szempontjából három alapvető módszert lehet megkülönböztetni, ezek a megjelenés sorrendjében:

- esemény alapú beavatkozás;
- idő/üzemóra alapú beavatkozás;
- állapotfelmérésen alapuló beavatkozás.

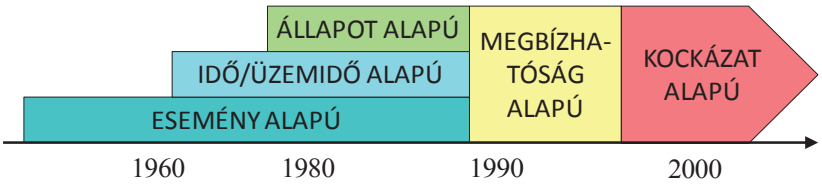
Az esemény alapú munkaszervezést *meghibásodásig való üzemeltetésnek* is szokás nevezni. Ennek a „klasszikus" módszernek a lényege, hogy a gépeket a gépkezelő üzemelteti és meghibásodás esetén javítja. Ebben az esetben szervezett karbantartásról nem beszélhetünk. A meghibásodások váratlanul következnek be, a helyreállítási idő általában hosszú, így a meghibásodások következménye jelentős termeléskiesés, és nagy készletet kell tartani tartalék alkatrészekből.
A tömegtermelés és a piaci verseny során a jelentős számú gép üzemeltetése során szerzett tapasztalatok alapján karbantartási terveket kezdtek készíteni, statisztikai alapon ciklikus felülvizsgálatokat, alkatrész cseréket, felújításokat írtak elő. A *tervszerű megelőző karbantartás* célja, hogy ütemezett karbantartási tevékenységekkel biztosítsák gépek rendelkezésre állását, a lehető legkevesebbre csökkentsék a váratlan meghibásodások számát, emellett a (tervezett) leállások időtartamát a lehető legrövidebbre csökkentsék. Mivel a tevékenységek itt idő vagy üzemóra/teljesítmény alapján vannak ütemezve, *merev ciklusú karbantartásként* is emlegetjük.

A tervszerű megelőző karbantartás sikeresen alkalmazható olyan műszaki rendszerek esetén, ahol sok hasonló gépet működtetnek hosszú ideig (akár évtizedekig), de a folyamatosan megújuló géppark karbantartására alkalmatlan. A merev ciklusú karbantartás sok fölösleges kiadást okozhat, és ennek ellenére sem képes biztosítani a teljes rendelkezésre állást, a váratlan meghibásodások elkerülését.

Az *állapotfelmérésen alapuló karbantartás* során a vizsgált gép szerkezetének, a technológiai folyamatban betöltött szerepének és a jellemző meghibásodási módjainak megfelelő mérési módszerekkel határozzák meg bizonyos paramétereket aktuális értékét, és ezek alapján döntenek a beavatkozásról valamint annak módjáról. A vizsgálatok lehetnek folyamatosak (telepített mérőeszközök), vagy meghatározott időközönként ismétlődők.

A gépészeti rendszerek karbantartásában általában együtt alkalmazzák a három felsorolt módszert. Az *alárendelt szerepű eszközök*, például kéziszerszámok, kisebb szivattyúk, villamos motorok esetén, melyekből tarthatnak tartalékot, a kiesésük nem jár komolyabb következménnyel, a csere gyorsan és olcsón elvégezhető, megfelelő lehet a meghibásodásig való üzemeltetés és csak az alapvető ápolási műveletek végrehajtása. Az üzem fő folyamatai szempontjából *jelentős szerepű berendezések* esetén legalább a tervszerű megelőző karbantartás alkalmazása, ezen belül az ütemezett időpontokban, megfelelő módon és eszközökkel végrehajtott állapotvizsgálat szükséges. A *kulcsfontosságú berendezések* esetén indokolt a gép típusának, működési módjának, az alkalmazott technológiának alapján megválasztott korszerű diagnosztikai módszer alkalmazása és az állapotfelmérésen alapuló karbantartás. A diagnosztikai rendszer megválasztásakor azt kell elsősorban szem előtt tartani, hogy melyik szolgáltatja a leghasznosabb információt a berendezésekről. Általában vannak alternatívák akár a módszereket, akár az egyes módszereken belül a különféle gyártók termékeit nézzük.

A karbantartási stratégiák időbeli fejlődését mutatja vázlatosan a 2. ábra. Jól látható, hogy a műszaki meghatározottságú szemlélet a pénzügyi/biztonsági szemlélet felé tolódik.

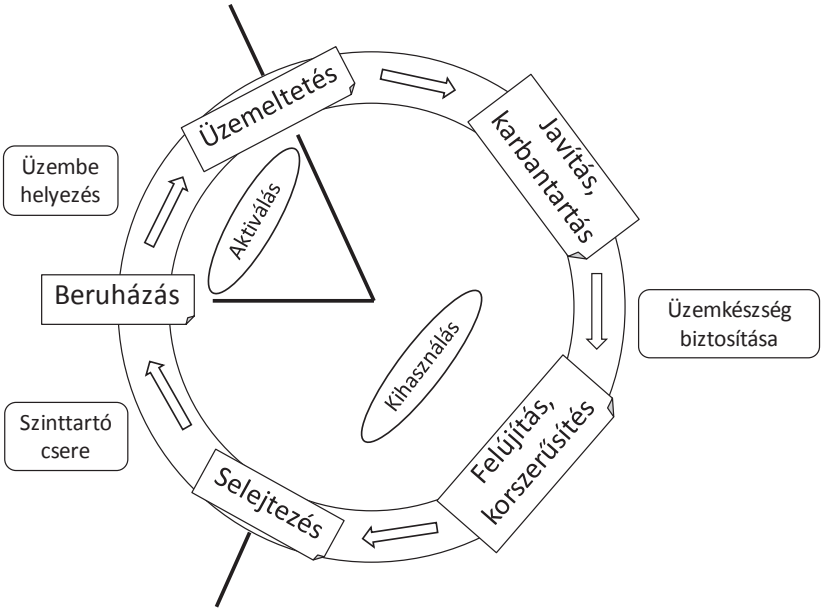


2. ábra Az üzemszervezési elvek változása
Forrás: KOCSIS 2014

Az 1990-es években alakultak ki azok a menedzsment módszerek, melyek a megbízhatósági követelmények teljesítését tűzték ki alapvető célként, és ehhez határozták meg a szervezeti és irányítási kereteket, ezen belül az üzemfenntartási feladatokat. Az ezredforduló időszakára a kockázat alapú megközelítés vált uralkodóvá, mint a vállalatirányítási folyamat alapgondolata. Ennek keretében a szervezeti folyamatok szabályozásának alapját a folyamatok műszaki, pénzügyi, környezetvédelmi, munkavédelmi, stb. kockázatainak felismerése, számszerűsítése (a bekövetkezési valószínűség és a bekövetkezéskor előálló veszteség alapján), rangsorolása teremti meg.

A diagnosztikai beruházások esetén a megtérülési mutatószámok megállapítása nehéz feladat, mivel a haszon be nem következett kár formájában jelentkezik, ami természeténél fogva csak becsülhető. A műszaki szakemberek feladata, hogy megvilágítsák a gazdasági vezetők számára a diagnosztikai rendszer fejlesztésének hasznát, ami nehéz feladat, mert nem lehet a termeléshez hasonlóan pontos adatokat szolgáltatni. Míg egy új termelő berendezés üzembe helyezésével elérhető termelésnövekedés, költségcsökkenés, és az ebből adódó bevételtöbblet viszonylag egyszerűen számszerűsíthető, addig egy diagnosztikai eszköz bevezetése esetén nehéz megmondani, hogy ennek hatására hány gép nem fog meghibásodni, milyen kár nem fog bekövetkezni. A számszerűsítés problémája a diagnosztikai beruházások mellett már korábban is fennállt; a vállalati költségvetésből a karbantartás számára biztosított keret meghatározásakor.

Műszaki rendszerek menedzsmentjének üzemfenntartási rendszerei
A gazdálkodó szervezetek működésének átfogó módszerét jelenti a terotechnológia (az állóeszközök újratermelési folyamata, „komplex üzemfenntartás”) elveinek alkalmazása, aminek célja az eszközök beszerzését, használatát, felújítását, selejtezését, megsemmisítését magában foglaló folyamatban (3. ábra) az eszközökkel való hatékony gazdálkodás. Az intézkedések összehangolása, vezérlése a menedzsment feladata, de a korszerű vállalatirányítási szemléletben nem különülnek el szigorúan a területek, sőt a hatékonyság növekedése éppen az együttműködés eredménye. Így az üzemeltetési tevékenységek is fontos részét képezik a hatékony működést célzó munkának.



3. ábra A terotechnológia körfolyamata
Forrás: KOCSIS 2014

A műszaki rendszerek üzemeltetése során bekövetkező események számos olyan tényezőtől függnek, melyek mindegyikét gyakorlatilag lehetetlen kontroll alatt tartani. A nagy és/vagy bonyolult rendszerek működtetése során ezért nem is azt kell célként kitűzni, hogy ne következzen be hiba, hanem azt, hogy a meghibásodásnak ne legyen következménye, vagy csak csekély mértékű, ellenőrzés alatt tartható következménye legyen. Ezt az elvet vallják azok az üzemviteli menedzsment filozófiák, melyek a rendszer megbízhatóságát, illetve az elvárt funkciók ellátását helyezik előtérbe az egyes rendszerelemek meghibásodásának kérdésével szemben. Ehhez az üzemeltetési, karbantartási döntéseket kockázatelemzéssel, hibamód- és hatáselemzéssel lehet megalapozni.

A karbantartási tevékenységet közvetlenül érintő technikák közül említésre méltók a *számítógépes karbantartás-irányítási rendszer* (CMMS), a *megbízhatóság központú karbantartás* (RCM) és a *teljes körű termelékenységközpontú karbantartás* (TPM) elnevezésű karbantartás-menedzsment rendszerek. Ezek a módszerek a részletekben eltérőek (a CMMS főleg adminisztratív, az RCM elsősorban a műszaki tartalomra koncentrál, a TPM főleg az emberi vonatkozásokat hangsúlyozza), de a cél közös: a termelékenység és a hatékonyság növelése szervezési eszközökkel. A gyakorlatban a módszerek megfelelő „keveréke" bizonyult a legeredményesebbnek.

A műszaki diagnosztika területei

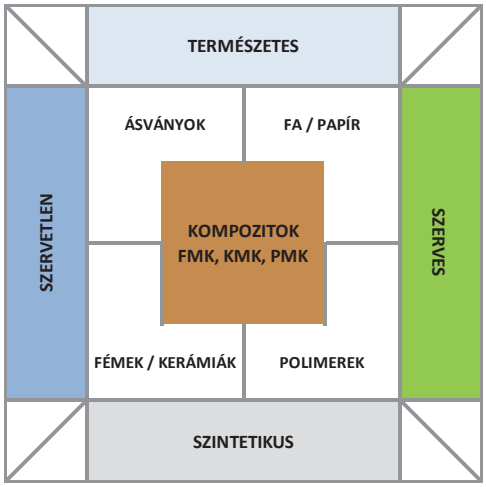
A funkcionalitás, minőség, megbízhatóság és biztonság a technológiák elengedhetetlen jellemzői. A műszaki diagnosztika koncepciók, módszerek és eljárások összessége a struktúrák, rendszerek és elemeik hibái és üzemzavarai tüneteinek vizsgálatára, a működési teljesítmény és a strukturális integritás figyelemmel kísérésére (CZICHOS 2013). A műszaki diagnosztika területe és alkalmazása felölel minden fontos diagnosztikai és monitoring módszert valamint eszközt: a feszültség-, torzulás-, rezgéselemzéstől, a roncsolásmentes vizsgálatoktól, termográfiától és ipari radiológiától a komputertomográfiáig, illetve a felszín alatti mikrostruktúra elemzéséig. A műszaki diagnosztika kiemelten kapcsolódik a tribológiához, mely az egymáshoz képest elmozduló felületek kölcsönhatásaival foglalkozik,

így a súrlódás, kenés, kopás kérdéseivel. A strukturális épség monitoringjának és teljesítményellenőrzésének fő alkalmazási területei a termelő üzemek és a műszaki infrastruktúrák, beleértve az épületeket, hidakat, csővezetékeket, elektromos erőműveket, part menti szélerőműveket, és vasúti rendszereket.

Az alkalmazandó vizsgálati módszerek kiválasztási szempontjai

A műszaki diagnosztika a technológiák egészének és elemeinek vizsgálatára is használható a tervezés, a működtetés és a leállítás fázisaiban, az anyagok, a szerkezetek és a rendszerek szintjén.

Az anyagok, eredetük és tulajdonságaik alapján nagy áttekintésben az alábbi ábrán (4. ábra) jelzett felosztásban csoportosíthatók, a szerves és szervetlen, illetve természetes és mesterséges kategóriák kombinációjaként. Egy további csoportosítás, a műszaki szerkezetekben felhasznált anyagi tulajdonságok szerint megkülönböztetünk *szerkezeti anyagok*at, melyeknek mechanikai vagy termikus tulajdonságai fontosak, *funkcionális anyag*okat, melyek sajátos elektromagnetikus illetve optikai tulajdonságaikkal látnak el feladatokat, és *intelligens anyag*okat, melyek meglévő vagy beépített tulajdonságaik révén külső terhelésre érzékelő vagy működtető (kiváltó) szerepben segítik az adott anyag alkalmazkodását és illeszkedését adott anyagi teljesítmény-követelményekhez. Az anyagok csoportosítása (CZICHOS 2009) az adott anyagra alkalmazható vizsgálati módszer kiválasztásában is iránymutató: más módszerek alkalmazandók például az acélötvözetek mikroszerkezetének megállapítására és mások a szerves anyagok (élelmiszer, takarmány, energetikai biomassza) összetételének vizsgálatára.



4. ábra Az anyagok csoportosítása eredetük és tulajdonságaik alapján
Forrás: CZICHOS 2009

A legmegfelelőbb módszer kiválasztásához az alábbiakat is figyelembe kell venni:
- a vizsgálat tárgyának anyaga, mérete, alakja;
- a (feltételezett) hiba mérete, alakja, elhelyezkedése;
- vizsgálati körülmények;

illetve korábbi vizsgálati módok (összehasonlítás, trend felvétele végett).

Rezgésdiagnosztika

A gépelemek, berendezések mechanikai jellegű meghibásodásai (kopás, deformáció, elállítódás, felületi sérülések, repedés), szinte kivétel nélkül a rezgésspektrum megváltozásával járnak, mivel mechanikai gerjesztő hatást eredményeznek, de számos nem mechanikai (pl. elektromos áramkörökkel, vezérléssel, gépekkel kapcsolatos) probléma is detektálható a rezgésspektrumban. A rezgésdiagnosztika a rezgéssel kapcsolatos jelek (az érzékelők működési elve miatt legtöbbször feszültség jelek) valamilyen értelmű felbontásán alapszik, amit a digitális mérőrendszerek tettek feldolgozhatóvá, a jelek tárolhatók, és az adatsorokon tetszőleges algoritmusok futtathatók (KOCSIS 2014; DEÁK – KOCSIS 2014). Ma a napi mérnöki munka döntően olyan műszaki rendszerek és folyamatok kezelését jelenti, melyek mögött olyan kidolgozott és igazolt modellek és elméletek állnak, amelyek a mai mérőrendszerekkel (szenzorokkal, adatfeldolgozással) és nagy teljesítményű személyi számítógépekkel és a megfelelő szoftverekkel felhasználhatóvá is váltak.

Korábban a döntéseket a tapasztalatokra, a mérnöki becslésekre, az érvényben levő szabványokra alapozták, ami általában a rendszerek túlméretezését illetve a fölösleges beavatkozásokat eredményezte. Ma mérhetővé ill. érzékelhetővé váltak a problémák előjelei, ami a szükséges beavatkozások végrehajtását segíti. Mindehhez az informatikai eszközök fejlődése, leginkább talán a (gépészeti, statikai, villamos, stb.) tervező rendszerek elterjedése vezetett, melyekben az elméletben levezetett számításokat megvalósító algoritmusok futnak. Például a törésmechanika – mely a repedések terjedését vizsgálja az anyagban – sem képzelhető el matematikai szoftverek felhasználása nélkül (KOCSIS 2013). A matematikai háttér ismerete a felhasználó számára nem feltétele a szoftverek szakszerű alkalmazásának. A mai fejlesztések részben ebbe az irányba mutatnak: kihasználva a tanuló algoritmusokat, az informatikai rendszerek tanuló képességét, az elemzés egyre több lépését képes átvenni a diagnosztikai rendszer szoftvere (ld. 1. táblázat). A rezgésdiagnosztika hatékonyságát mutatja, hogy a legtöbb esetben a hiba ténye mellett a hiba jellegét is meg lehet megállapítani, így további vizsgálat nélkül is alkalmas felelős döntés megalapozására.

1. táblázat Rezgésdiagnosztikai hibakimutatás neurális hálóval csapágyaknál

Hiba típusa	**Neurális háló hatékonysága**	**Tünetek**
Hibátlan állapot	-----	Fs, BPFO, BPFI hibafrekvenciák szintjei alacsonyak erősen határolt oldalsávok nélkül.
Lazaság	92,3%	Az Fs hibafrekvencia amplitúdó értékei növekednek, és az oldalsávok megjelennek.
Gyűrűhiba	86,7%	A BPFI, BPFO hibafrekvenciák, illetve felharmonikusokon amplitúdó nő.
Gördülőelem- hiba	94,8 %	2*BSF, BPFI, BPFO hibafrekvenciákon jelentkező jel amplitúdó nő.

Forrás: DEÁK et al. 2014 alapján

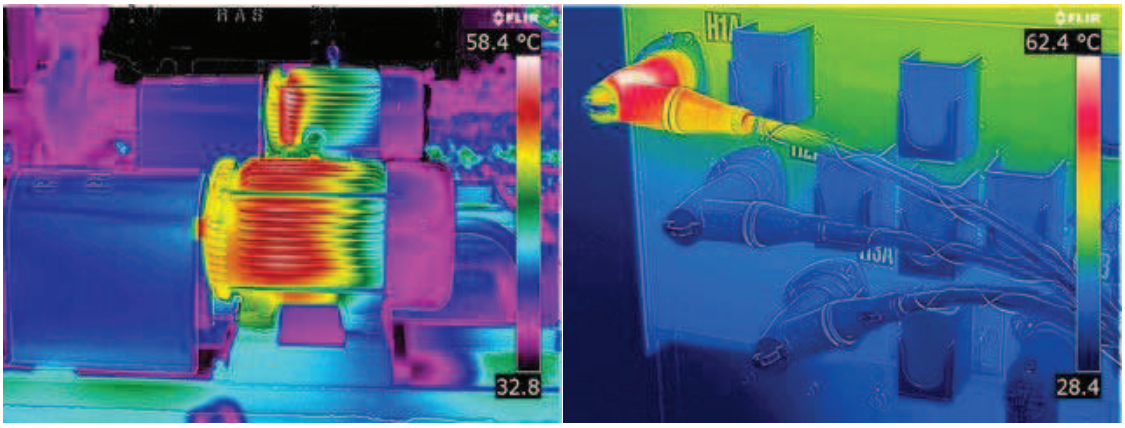
Műszaki akusztika

A műszaki akusztikai vizsgálatokat elsősorban olyan jelenségek esetén alkalmazzák, ahol a hibajelenséget közvetlen hanghatás kíséri. Ilyen pl. a gördülőcsapágyak kenetlensége, a nyomás alatti rendszerek szelepeinél vagy szivárgásainál kialakuló turbulencia hanghatása, a szivattyúkban kialakuló kavitáció hangja vagy villamos berendezések meglazult

csatlakozásainál keletkező nagyfrekvenciás rezgés hangja. A gerjesztett hang sokszor az ultrahang tartományba esik és mikrofonokkal fogható.

Termográfia

A termográfia a testek felületi hőmérsékletének megváltozásával járó hatások kimutatására alkalmas (5. ábra). Bár a gépek, alkatrészek meghibásodásának jellegéről sokszor nem ad pontos információt, a termográfiai vizsgálat fontos részét képezi a gépészeti diagnosztikának. Előnye, hogy érintés nélkül, akár több tíz méteres távolságból is vizsgálható a berendezés. Hőkamerával egyaránt jól áttekinthető olyan berendezések állapota, melyekben kis térrészben sok alkatrész van összezsúfolva (ilyenek például az elektromos kapcsolószekrények vagy az üzemi csővezeték-hálózatok), és olyanoké is, melyben az elemek nagy kiterjedésűek (ilyenek például az elektromos távvezetéket vagy a távhővezetékek).



5. ábra A FLIR Systems Multi Spectral Dynamic Imaging (MSX) technológia
Forrás: Képhivatkozás 1.

A termográfia célja elsősorban a hőmérséklet-eloszlás feltérképezése, mert a legtöbb műszaki diagnosztikai vizsgálatban elegendő a környezetüktől vagy valamilyen referenciafelülettől hidegebb vagy melegebb felületrészeket azonosítani. A 6. ábrán egy villamos motor hőkamerás képe látható.

Ipari endoszkópia és gépi látás

Gépek, hőcserélők, csővezetékek belső felületeinek optikai vizsgálatára hatékonyan használhatók az ipari endoszkópok (6 ábra).

Az üvegszálas endoszkópok lehetővé teszik berendezések és bonyolult szerkezetek belső részeinek vizuális vizsgálatát, így ezek az eszközök az emberi látás kiterjesztését szolgálják. Lényeges különbség azonban, hogy a kép rögzíthető, képfeldolgozási eszközökkel elemezhető, a hibák geometriai jellemzői mérhetők, dokumentálhatók.

Az endoszkóp megvilágítja a belső felületet (6b. ábra), és az arról visszaverődő fényt az okulárlencséhez csatlakoztatott fényképezőgépbe vagy kamerába vezeti, ahol a színes kép rögzíthető.

a b

6. ábra A PCE-VE 500 videoendoszkóp (a), TECHNO PACK® T [K7] (b)
Forrás: Képhivatkozás 2. (a), Képhivatkozás 3. (b),

A távirányított vizuális vizsgálat (Remote Visual Inspection, RVI) eszközei a merevszárú és flexibilis üvegszálas endoszkópok és a videoendoszkópok. A felbontóképességet az üvegszálak száma adja, melyekből több tízezer fut az optikai kábelben. Egy üvegszál néhány µm átmérőjű, az üvegszál köteg így kellőképpen hajlékony.

Ilyen vizuális vizsgálatokat lehet alkalmazni a gépi látás műszaki diagnosztikai alkalmazásaiban is (DEÁK et al. 2014), ahol kevésbé megbízható és mindenképpen költségesebb emberi ellenőrzést váltják ki automatizált rendszerekkel. Ezek pontosabb mérésekre képesek a geometria, alak, szín, felszíni hibák, deformációk, rozsda, karcolások stb. terén. A vizsgált felületek optikai mikroszkóp és pásztázó elektronmikroszkóp alkalmazásával nagyíthatók is. Az adatok matematikai módszerekkel (mesterséges neurális hálók, tartóvektor-gépek) tovább elemezhetők.

További roncsolásmentes anyagvizsgálatok

A gépészeti berendezések egyik jellemző meghibásodási módja a repedés és az ennek következtében kialakuló törés. A gépek anyagában meglévő szerkezeti inhomogenitásoknál, illetve a feszültséggyűjtő helyeken kialakuló hajszálrepedések terhelés hatására növekednek, a kritikus feszültség elérésekor pedig bekövetkezik a törés. Különösen a dinamikus terhelésnek kitett elemeknél fontos – elsősorban a felületi – repedések) vizsgálata, mert fennáll a súlyos károkat, katasztrófákat okozni képes rideg törés veszélye. A törésmechanika fejlődése megteremtette annak lehetőségét, hogy egy gépelem geometriai méretei, anyagának jellemzői, valamint a repedés(ek) geometriai méretei és elhelyezkedése alapján meghatározható legyen, hogy mekkora kvázi-statikus, illetve dinamikus terhelést bír ki a szerkezet, illetve adott dinamikus terhelés esetén hány terhelési ciklust képes még elviselni. A ciklikus terhelés a nagy nyomású rendszerek (hidraulikus, gáz-, gőzrendszerek) esetén eredhet a nyomásingadozásból, ami a tartályok, csövek csatlakozásainál okozhat a repedés terjedését megindító dinamikus terhelést. Nagy energiájú mechanikai rezgést gerjesztő mozgások (pl. görbült tengely, villamos motor egyenetlen járása) a szerkezeti elemekben szintén dinamikus terhelést okoz.

A roncsolásmentes anyagvizsgálatok célja zárványok, anyaghiányok, anyagszerkezeti hibák, repedések felismerése az alkatrészek anyagában és azok felületén. Az anyag belsejében lévő hibák kimutatására alkalmazzák még sugarak illetve rezgések kibocsátásával a röntgen-, a γ

izotópos valamint az ultrahangos vizsgálatokat. Passzív anyagvizsgálati módszer az akusztikus emissziós vizsgálat, mely azon alapul, hogy a feszültség alatt lévő fémek (hasonlóan az anyagok repedése, törése során tapasztalható hanghatáshoz) hangot bocsátanak ki: a terhelt szerkezet felületén több érzékelő elhelyezésével megállapítható a repedés helye és az esetleges továbbterjedés mértéke.

A felületvizsgálat fő módszerei

A *mágneses repedésvizsgálatnál* a vizsgálandó darabot felmágnesezik, felületét mágnesezhető anyagot tartalmazó szuszpenzióval vonják be, a felületen kirajzolódó mágneses erővonalak kitérése utal felületi hajszálrepedések jelenlétére.

Penetráló folyadékos vizsgálatnál a felület előkészítése után penetráló (behatoló) folyadékot visznek fel a felületre, a fölösleges folyadékot, ami nem hatolt be repedésbe eltávolítják, ezt követi az előhívás (láthatóvá tétel).

Örvényáramos vizsgálatnál az elektromosan vezető anyagokban az időben változó mágneses tér indukció útján örvényáramot gerjeszt, ami maga is gerjeszt mágneses teret. A két mágneses tér eredője mérhető, amiből különböző anyaghibákra lehet következtetni, illetve etalonnal összehasonlítva ki lehet szűrni a hibás munkadarabokat (pl. a csapág-gyártásban hőkezelést, köszörülést követően).

Munkaközegek vizsgálata

A gépalkatrészek kopása során levált anyagdarabok az alkatrészekkel érintkező kenőolajokba, hidraulika olajokba kerülnek. Az anyagszemcsék mennyiségéből, méretéből és összetételéből következtetni lehet a kopási folyamatokra. A hagyományosan az álló gépből vett olajminta alapján történő vizsgálatok mellett egyre gyakrabban alkalmaznak folyamatos, automatizált vizsgálatot, melynél a kenőolajat megfelelő (pl. vasfém részecske) szenzorokkal ellátott mérőberendezésen áramoltatják át. Ez nagyteljesítményű gáz- és gőzturbinák, dízel- és gázmotorok, hajtóművek, kompresszorok, hengerművek esetében indokolt.

Egyes diagnosztikai eljárások alkalmazhatóságának értékelése

Az egyes diagnosztikai eljárásoknak a fentiekben ismertetett jellemzői és a rendelkezésünkre álló személyes szakismeretek alapján néhány gyakorlatban jellemző diagnosztikai eljárást értékeltünk is. Az értékelés szempontjai a gyakorlati alkalmazhatóság, a más módszerekkel való kompatibilitás és a technológia-menedzsment szempontjából vizsgált felhasználhatóság jelentette. Az értékelés eredményeiben feltüntettük, hogy az egyes eljárások a műszaki berendezések mely teljesítmény- és állapotdiagnosztikai jellemzőinek vizsgálatára alkalmasak (2. táblázat.)

Amint az a 2. táblázatból is látható, számos eszköz és módszer alkalmazható a műszaki rendszerek jellemzőinek széleskörű vizsgálatára. A felsorolt módszerek értékelésünk szerint szinte mind alkalmazhatók már ma is a menedzsment döntéshozatalaiban. Kivétel például fékpad felállítása az üzemi helyszínen, ami – kkv-k estén legalábbis – nem gazdaságos. Az átlagos felkészültségű menedzsment számára a rezgésdiagnosztikai eredmények önmagukban még nehezen értelmezhetők. Az ultrahangos áramlásmérők pedig bár alacsony beruházásigényűek, tartósak és gyorsak, csak a vizsgált közegek akusztikai tulajdonságait befolyásoló egyéb tényezők (pl. sűrűség, hőmérséklet) ismeretében szolgáltatnak pontos eredményt.

2. táblázat Az állapotjelző paraméterek példái különböző műszaki rendszereknél

Eszköz	módszer	Alkalmasság			Alkalmazhatóság			
		vizsgált jellemző	mért jellemző	jellemző alkalmazás	α	β	γ	össz.:
hőkamera	hőkamera	súrlódás	hőmérséklet	BM, EG, EM, GT, K, SZ, V	5	5	5	5,0
fékpad	erőmérés	nyomaték	fékezőerő	BM, EG, EM, GT, K	3	4	5	4,0
manométer (nyomásmérő)	digitális	gáznyomás (-változás)	feszültség	BM, EM, GT, K, SZ, V	5	5	5	5,0
stroboszkóp	optoelektronikai frekvencia-mérés	(kerületi) sebesség (fordulatszám)	fényimpulzus-frekvencia	BM, EG, EM, GT, K, SZ, V	5	5	5	5,0
tachométer-dinamó	feszültségmérés	(kerületi) sebesség (fordulatszám)	feszültség	BM, EG, EM, GT, K, SZ, V	5	5	5	5,0
rezgésmérő műszer	rezgés-diagnosztika	rezgés	rezgés-gyorsulás	BM, EG, EM, GT, K, SZ, V	5	5	3	4,3
rezgésmérő műszer	rezgés-diagnosztika	rezgés	rezgéssebesség	BM, EG, EM, GT, K, SZ, V	5	5	3	4,3
rezgésmérő műszer	rezgés-diagnosztika	rezgés	örvényáram-változás	BM, GT, K, SZ, V	5	5	3	4,3
multiméter	feszültségmérés	feszültség	feszültség	EG, EM	5	5	5	5,0
multiméter	áramerősség-mérés	áramerősség	áramerősség	EG, EM	5	5	5	5,0
ultrahangos áramlásmérők	térfogatáram-mérés	gázáram	hangrezgés	BM, GT, K, V	4	5	5	4,7
ultrahangos áramlásmérők	térfogatáram-mérés	folyadékáram	hangrezgés	K, SZ	4	5	5	4,7
ultrahangos áramlásmérők	térfogatáram-mérés	üzemanyagáram	hangrezgés	BM, GT	4	5	5	4,7
manométer (nyomásmérő)	digitális	olajnyomás (-változás)	feszültség	BM, EG, GT, SZ, V	5	5	5	5,0
mérlegmotor	(villamos) teljesítménymérés	felvett teljesítmény	villamos feszültség, áramerősség	EG, EM, K, SZ, V	4	5	5	4,7
fékpad+ tachométer	erő-és szögsebes-ségmérés	leadott teljesítmény	fékezőerő, szögsebesség	BM, EG, EM, GT	3	4	5	4,0

Magyarázat: BM: belső égésű motor, EG: elektromos generátor, EM: elektromotor, GT: gázturbina, K: kompresszor, SZ: szivattyú, V: ventilátor;
α: gyakorlati alkalmazhatóság, β: kompatibilitás, γ: felhasználhatóság a menedzsmentben
Forrás: saját összeállítás

Nagy jelentőség és jövő tulajdonítható azonban éppen azoknak a diagnosztikai megoldásoknak, melyek ma még nem érik el a minden tekintetben azonnal bevethető szintet. Így az utóbb említett ultrahangos eljárások alkalmasak az áramlásnak nem csak összegző mérésére, mint pl. a mechanikus átfolyásmérők, de képesek képet alkotni egy csőben áramló közeg áramlási viszonyairól is (LIU et al 2015). Megfelelő specifikációkkal, illetve műszerkombinációkkal folyadék-gáz elegy áramok vizsgálhatók (NGUYEN et al. 2015, XING et al 2014). Mindezek a matematikai módszerek alkalmazásának is teret adnak (ZHENG et al. 2015).

A képalkotó eljárások közül a hőkamerás képalkotó-elemző módszereket emelnénk ki, mint amelyek egyre szélesebb alkalmazást nyernek a műszaki diagnosztikában. A járművek és gépek fékeinek tesztelésekor, új anyagok vizsgálatkor például kiemelt szerep juthat ennek az eljárásnak (BIAN – WU 2015). Általában is alkalmazható a szerkezeti anyagok súrlódási jellemzőinek vizsgálatára (RAHBAR-KELISHAMI et al 2015), aminek különösen forgó gépek esetében van jelentősége (JANSSENS et al 2015). Megjegyzendő, hogy jó eredménnyel használható más – például rezgésdiagnosztikai és akusztikai – mérési eljárásokkal, súrlódások és repedések vizsgálatára (ZHANG et al 2015).

Széles alkalmazhatósága van még a nyomástényező mérésének is. A mai digitális manométeres módszerek azonnali, digitális eredményei jól használhatók az egyes üzemi jellemzők, állapotok kiértékelésére, akár komplex rendszerekben alkalmazva is (ADESOGAN et al. 2005). A gyakorlatban például az épületek légellátásának ellenőrzésénél és tervezésénél is jól felhasználhatók (AZIZ et al. 2012), gázkeverékek összetételének biztosításában is szerepet kaphatnak (DANTAS et al. 2014), és még az üzemanyagcellák üzeménél is szerepük lehet (LEE et al. 2003). A mérési módszerek kombinációiban is szerepük van, mint például az egyes anyagok akusztikus és termikus tulajdonságainak nyomásfüggő értékelésénél (LIU et al. 2014)

Következtetések

Amint a szakirodalom alapján leszűrhető eredmények mutatják, az összetett rendszerekként jellemezhető technológiákra, így a zöld technológiákra is találhatók olyan innovatív műszaki diagnosztikai megoldások, melyek segítenek azok működését fenntartható módon menedzselni. Ez igaz magukra az adott technológiát üzemeltető szervezetek üzemeltetési és karbantartási menedzsment stratégiáira, mely a korábbi hibaközpontú szemléletből az utóbbi évtizedekben váltott megbízhatóság és kockázat alapú szemléletre. A vizsgálati módszereknek széles skálája alkalmazható a mintavételen alapuló anyagvizsgálatoktól a folyamatos állapotmegfigyelést lehetővé rezgésdiagnosztikáig, melyekkel a műszaki rendszerek sokféle teljesítményjellemzője vizsgálható. A vizsgálandó gépek és struktúrák anyagi tulajdonságai, valamint gyakorlati szempontok alapján a menedzsment rendelkezik eszközökkel az alkalmazandó műszaki diagnosztika kiválasztásához is. Mindezek alapján a technológiákat alkalmazó és fejlesztő vállalkozók, kutatók, illetve szervezeti döntéshozók számára ajánlható, hogy az általuk választott technológia fenntartható üzemeltetéséhez vegyék figyelembe a műszaki diagnosztika rendelkezésre álló eszköztárát is, ha szükséges, a megfelelő szakemberek, cégek illetve tudásközpontok segítségével. A további kutatásokkal is szeretnénk ezt segíteni, hogy a zöld technológiák fenntartható menedzsmentjének innovatív diagnosztikai módszerei nálunk is elterjedjenek.

Köszönetnyilvánítás

A cikk elkészítésében nyújtott segítségért köszönet illeti Dr. Kocsis Imrét, valamint a „Távérzékelési és zöldenergia témájú célzott komplex alapkutatási programok előkészítése, hálózatosodás és felkészülés nemzetközi programokban és kezdeményezésekben való részvételre" elnevezésű projekt (TÁMOP-4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0010) és az annak előzményét adó „Zöld Energia Felsőoktatási Együttműködés" (TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0012) projekt támogatóit és résztvevőit.

Készült a TÁMOP-4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0010 projekt támogatásával.

Hivatkozott források

ADESOGAN, A.T., KRUEGER, N.K., KIM, S.C., 2005. A novel, wireless, automated system for measuring fermentation gas production kinetics of feeds and its application to feed characterization. Animal Feed Science and Technology, The in vitro Gas Production Technique: Limitations and Opportunities 123–124, Part 1, 211–223. doi:10.1016/j.anifeedsci.2005.04.058

AZIZ, M.A., GAD, I.A.M., MOHAMMED, E.S.F.A., MOHAMMED, R.H., 2012. Experimental and numerical study of influence of air ceiling diffusers on room air flow characteristics. Energy and Buildings, Cool Roofs, Cool Pavements, Cool Cities, and Cool World 55, 738–746. doi:10.1016/j.enbuild.2012.09.027

BALLA T., HALCZMAN A., KOCSIS I., MATKÓ A. E., SZŰCS E., T. KISS J., VARGA E., 2014. Energiahatékonyság - költséghatékonyság, in: Kalmár Ferenc (Ed.), Fenntartható energetika megújuló energiaforrások optimalizált integrálásával. Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 403.

BIAN, G., WU, H., 2015. Friction and surface fracture of a silicon carbide ceramic brake disc tested against a steel pad. Journal of the European Ceramic Society 35, 3797–3807. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2015.07.009

COPLE, D.G., BRICK, E.S., 2010. A simulation framework for technical systems life cycle cost analysis. Simulation Modelling Practice and Theory 18, 9–34. doi:10.1016/j.simpat.2009.08.009

CZICHOS, H. 2009. Metrology and testing in materials science and technology. Measure 4, 48–77.

CZICHOS, H. (Ed.), 2013. Handbook of Technical Diagnostics. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. 566 p. ISBN 978-3-642-25849-7

DANTAS, H.V., BARBOSA, M.F., MOREIRA, P.N.T., GALVÃO, R.K.H., ARAÚJO, M.C.U., 2015. An automatic system for accurate preparation of gas mixtures. Microchemical Journal 119, 123–127. doi:10.1016/j.microc.2014.11.011

DEÁK K., KOCSIS I., 2014. Machine fault diagnosis by time domain and frequency domain features using fuzzy decision system. Tavaszi Szél 2014 Konferencia, Debrecen, pp. 281–296.

DEÁK K., KOCSIS I., VÁMOSI A., 2014. Application of machine vision in manufacturing of bearings using ANN and SVM. 9th International Conference on Applied Informatics: ICAI 2014., Eger, p. &. 1 p.

DEÁK K., VÁMOSI A., KOCSIS I., 2014: Csapágy meghibásodások méréstechnikája és rezgésdiagnosztikája mesterséges neurális hálók segítségével. In: Pokorádi László (szerk.) Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2014. 435 p. Szolnok, 2014.05.13 pp. 58-66.

JANSSENS, O., SCHULZ, R., SLAVKOVIKJ, V., STOCKMAN, K., LOCCUFIER, M., VAN DE WALLE, R., HOECKE, S.V., 2015. Thermal Image Based Fault Diagnosis for Rotating Machinery. Infrared Physics & Technology. doi:10.1016/j.infrared.2015.09.004

KALMÁR I., KALMÁRNÉ VASS E., GRASSELLI G., SZENDREI J., 2015. Technológiai rendszer szintű problémák a hazai, mezőgazdasági eredetű biomasszára alapozott biogázüzemek tartós, fenntartható üzemeltetésében, in: Bodzás Sándor (Ed.), Műszaki Tudomány Az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2015 Konferencia előadásai., Debrecen, 2015. június 11., pp. 418–423.

KOCSIS, I. 2014. Zöld energia felhasználását biztosító gépészeti rendszerek diagnosztikája. Debreceni Egyetem, Debrecen, 2014. pp. 133.

KOCSIS, I., 2013. Matematikai szoftverek alkalmazása a gyakorlati törésmechanikában = Using Mathematical Software in Practical Fracture Mechanics. Conference on Problem-based Learning in Engineering Education, Debrecceni Egyetem, Debrecen, 2014. október 10. pp. 3–11.

KOZMA G., MOLNÁR E., KULCSÁR B., PÉNZES J., 2014. A németországi passzív házak sajátosságai. Journal of Central European Green Innovation 2, 113–125.

LEE, C.-G., LIM, H.-C., OH, J.-M., 2003. Electrode reaction characteristics with slight pressure change in a molten carbonate fuel cell. Journal of Electroanalytical Chemistry 560, 1–11. doi:10.1016/j.jelechem.2003.06.013

LIU, J.-N., WANG, B.-X., CUI, Y.-Y., WANG, H.-Y., 2015. Ultrasonic tomographic velocimeter for visualization of axial flow fields in pipes. Flow Measurement and Instrumentation 41, 57–66. doi:10.1016/j.flowmeasinst.2014.10.014

LIU, Q., FENG, X., ZHANG, K., AN, B., DUAN, Y., 2014. Vapor pressure and gaseous speed of sound measurements for isobutane (R600a). Fluid Phase Equilibria 382, 260–269. doi:10.1016/j.fluid.2014.09.017

NGUYEN, T.T., KIKURA, H., MURAKAWA, H., TSUZUKI, N., 2015. Measurement of Bubbly Two-phase Flow in Vertical Pipe Using Multiwave Ultrasonic Pulsed Dopller Method and Wire Mesh Tomography. Energy Procedia, The Fourth International Symposium on Innovative Nuclear Energy Systems, INES-4 71, 337–351. doi:10.1016/j.egypro.2014.11.887

RAHBAR-KELISHAMI, A., ABDOLLAH-ZADEH, A., HADAVI, M.M., BANERJI, A., ALPAS, A., GERLICH, A.P., 2015. Effects of friction stir processing on wear properties of WC–12%Co sprayed on 52100 steel. Materials & Design 86, 98–104. doi:10.1016/j.matdes.2015.06.132

RISTIMÄKI, M., SÄYNÄJOKI, A., HEINONEN, J., JUNNILA, S., 2013. Combining life cycle costing and life cycle assessment for an analysis of a new residential district energy system design. Energy 63, 168–179. doi:10.1016/j.energy.2013.10.030

SZENDREI J., SZŰCS E., GRASSELLI G., 2015. Sustainable management of biomass energy in rural and urban context. Analecta Technica Szegedinensia - Review of Faculty of Engineering 9, 55–62.

U.S. DOE, 2001: Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems. DOE/GO-102001-1190, January 2001. https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_assistance/pdfs/pumplcc_1001.pdf

XING, L., GENG, Y., HUA, C., ZHU, H., RIEDER, A., DRAHM, W., BEZDEK, M., 2014. A combination method for metering gas–liquid two-phase flows of low liquid loading applying ultrasonic and Coriolis flowmeters. Flow Measurement and Instrumentation 37, 135–143. doi:10.1016/j.flowmeasinst.2014.01.005

ZAKERI, B., SYRI, S., 2015. Electrical energy storage systems: A comparative life cycle cost analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews 42, 569–596. doi:10.1016/j.rser.2014.10.011

ZHANG, C.-S., FENG, F.-Z., MIN, Q.-X., ZHU, J.-Z., 2015. Effect of engagement force on vibration characteristics and frictional heating in sonic IR imaging. NDT & E International 76, 52–60. doi:10.1016/j.ndteint.2015.08.002

ZHENG, D., ZHAO, D., MEI, J., 2015. Improved numerical integration method for flowrate of ultrasonic flowmeter based on Gauss quadrature for non-ideal flow fields. Flow Measurement and Instrumentation 41, 28–35. doi:10.1016/j.flowmeasinst.2014.10.005

Képek forrása:

k1 http://www.grimas.hu/hu/termografia/Lapok/FLIR_Systems_MSX_technologia.aspx
k2 http://shop.eurochrom.hu/pce-ve-500-video-endoszkop
k3 http://www.karlstorzindustrial.com/products/techno-pack-t-video-borescope-documentation-system.html

Szerzők

Dr. SZENDREI János, PhD
tudományos munkatárs
Debreceni Egyetem Műszaki Kar,
4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.
szendrei.janos@eng.unideb.hu

Dr. SZEGEDI László, PhD
egyetemi docens, rektorhelyettes
Károly Róbert Főiskola,
3200 Gyöngyös, Mátrai út 36.
lszegedi@karolyrobert.hu

Dr. GRASSELLI Gábor, CSc
tudományos tanácsadó
Debreceni Egyetem Műszaki Kar,
4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.
grasselli@eng.unideb.hu

Dr. Habil SZŰCS Edit, PhD
főiskolai tanár, dékán
Debreceni Egyetem Műszaki Kar,
4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.
edit@eng.unideb.hu

Dr. NAGYNÉ Dr. DEMETER Dóra, PhD
főiskolai docens, intézetigazgató
Károly Róbert Főiskola,
3200 Gyöngyös, Mátrai út 36.
demeterd@karolyrobert.hu