

GONDOLATOK A MŰSZAKI KUTATÁSRÓL ÉS KÉPZÉSRŐL A GÉPÉSZETI DIAGNOSZTIKA KAPCSÁN

ON RESEARCH AND TRAINING IN MACHINERY DIAGNOSTICS IN ENGINEERING EDUCATION

Kocsis Imre,¹ Sipos Dóra²

¹ Debreceni Egyetem Műszaki Kar Műszaki Alaptárgyi Tanszék, Debrecen, Magyarország, kocsisi@eng.unideb.hu

² Debreceni Egyetem Műszaki Kar Műszaki Alaptárgyi Tanszék, Debrecen, Magyarország, dorasipos@eng.unideb.hu

Abstract

We have a decades-long tradition of examining the operation and maintenance issues of mechanical engineering systems at the Faculty of Engineering at the University of Debrecen. In the last decade, technical diagnostic research has come to the fore, especially bearing diagnostics, a lot of experience has been gathered in this field and many results have been achieved. With the development of the tools of technical diagnostics, the presentation of the topic at all levels of engineering education, and the establishment of industrial relations, an environment has been created in which it is possible to answer the current questions on the topic. Technical diagnostics, which is largely applied informatics (and mathematics) – together with several other engineering topics – also raises educational questions, which we intend to answer by transforming some elements of the training.

Keywords: *engineering education, technical diagnostics, teaching engineering mathematics.*

Összefoglalás

A Debreceni Egyetem Műszaki Karon több évtizedes hagyománya van a gépészeti rendszerek üzemeltetési és karbantartási kérdései vizsgálatának. Az utóbbi évtizedben előtérbe kerültek a műszaki diagnosztikai kutatások, különösen a csapágy-diagnosztika, ezen a téren sok tapasztalat gyűlt össze, és számos eredmény született. A műszaki diagnosztika eszközrendszerének fejlesztésével, a témakörnek a mérnökképzés minden szintjén való megjelenítésével, az ipari kapcsolatok kialakításával egy olyan környezet alakult ki, melyben lehetőség kínálkozik a témakör aktuális kérdéseinek megválaszolására. A műszaki diagnosztika, amely jórészt alkalmazott informatika (és matematika) – több más mérnöki témakörrel együtt –, felvet oktatási kérdéseket is, melyekre szintén választ kívánunk adni a képzés egyes elemeinek átalakításával.

Kulcsszavak: *mérnökképzés, műszaki diagnosztika, mérnöki matematika oktatása.*

1. Bevezetés

A Debreceni Egyetem Műszaki Karon több évtizedes hagyománya van a gépészeti rendszerek üzemeltetési és karbantartási kérdései vizsgálatának. Az utóbbi évtizedben előtérbe kerültek a műszaki diagnosztikai kutatások, különösen a csapágy-diagnosztika, ezen a téren sok tapasztalat gyűlt össze és számos eredmény született. A

műszaki diagnosztika eszközrendszerének fejlesztésével, a témakörnek a mérnökképzés minden szintjén való megjelenítésével, az ipari kapcsolatok kialakításával egy olyan környezet alakult ki, melyben lehetőség kínálkozik a témakör aktuális kérdéseinek megválaszolására, beleértve a műszaki diagnosztikai eszközök integrációját digitalizált gyártó- és üzemeltetőrendszerekbe,

előtérbe helyezve az okoseszközök használatát, a gép-gép kommunikációt, a klasszikus állapot-felügyeletet felváltó folyamatfelügyeletet és a valós idejű, diagnosztikai alapú alkalmazásokat. A műszaki diagnosztika, amely jórészt alkalmazott informatika (és matematika) – több más mérnöki témakörrel együtt –, felvet oktatási kérdéseket is, melyekre szintén választ kívánunk adni a képzés egyes elemeinek átalakításával.

2. A műszaki diagnosztika szerepe és eszközrendszere

2.1. A műszaki diagnosztika szerepe

A karbantartás színvonala a termelékenységgel és a jövedelmezőséggel egyik meghatározó eleme az ipari termelő vállalatok működésében. A műszaki diagnosztika legújabb eszközeinek alkalmazása jelentős versenyelőnyt képes biztosítani azáltal, hogy hatékonyan támogatja a prediktív karbantartást, ami a rendelkezésre állás és a gépállapot magas szintjében és a váratlan leállások alacsony számában nyilvánul meg.

A műszaki diagnosztika lehetőségeit mindig a mérés-technikai eszközök (elektronika, a számítástechnika: adatátviteli és adattárolási kapacitás, jelfeldolgozó algoritmusok) aktuális fejlettsége határozta meg, az eszközrendszer együtt fejlődött az informatikával. A jövedelmezőségben betöltött szerepe miatt mindig a műszaki diagnosztika volt az egyik olyan terület, mely leghamarabb alkalmazta az új informatikai megoldásokat, ehhez az ipari finanszírozás folyamatosan biztosítva volt (és lesz a jövőben is).

Az ipari termelés nagyfokú automatizálása, a nagy teljesítményű gépek alkalmazása, a magas szintű termelékenységi elvárások tovább növelik a megbízhatóságot növelő műszaki megoldások jelentőségét.

A diagnosztikai eszközök és adatok a digitalizált gyártórendszerek, az okosgyárak integrált részévé válnak, sőt az állapotfelügyelet és a karbantartást támogató informatikai rendszerek terén szerzett tapasztalatok az egyik alapját képezik az ilyen irányú fejlesztéseknek.

2.2. A rezgésdiagnosztika szintjei

A rezgésmérésen alapuló állapotfelügyelet a legszélesebb körben és a leghatékonyabban alkalmazott diagnosztikai módszer.

A cél, az alkalmazott eszközök „finomsága” és a szolgáltatott információ értéke alapján három alapvetően különböző szintet azonosíthatunk.

A legegyszerűbb vizsgálat a „rezgésszint” megállapítása átlagértékekre (leginkább a rezgésebség négyzetes közepére, RMS) vagy csúcstértékekre (például a peak vagy a peak-to-peak-értékekre) alapozva. Ezen a szinten a gépek általános állapotának súlyossága ítéltető meg, a meghibásodás nem azonosítható be. Ha a rezgés meghalad egy szintet, akkor le kell állítani a gépet, és meg kell vizsgálni a megnövekedett rezgésszint okát. Például az ISO 2372 és az ISO 10816 szabványok általános rezgésebség-szinteket definiálnak a különböző géposztályokra, melyek túllépése figyelmeztetés az üzemeltetőnek. Ezek az értékek függetlenek az adott gép üzemeltetési körülményeitől és az életkorától, így csak tájékoztatóként szolgálnak. Olyan gépek esetén, ahol a nagy energiájú rezgések „csupán” az élettartam csökkenését eredményezik, de rövid távon nem befolyásolják a működést (például alárendelt szerepű villamos motorok, szivattyúk), a rezgések súlyosságának (vagy még inkább a súlyosbodásának) érzékelése elegendő lehet a szükséges döntések meghozatalához.

A rezgésmérésen alapuló állapotfelügyelet mára általánosan elterjedt eszközei a meghibásodások szimptómáinak detektálásán alapulnak. Ezek alkalmazása jelenti a második szintet, ahol a cél a tipikus meghibásodások minél korábbi és minél pontosabb azonosítása. Itt kulcsfontosságú a megfelelő időben való észlelés, ami azt jelenti, hogy a hiba detektálása és a leálláshoz vezető súlyosbodása közti időszakban legyen lehetőség a helyreállító beavatkozásra. Ez az időtartam lehet néhány nap, de akár fél év is. Egy nagy teljesítményű automata gép esetén azonban néhány percre is lemehet a kritikus időtartam, és szükség lehet diagnosztikai mérésen alapuló valós idejű beavatkozásokra a nem megfelelő gyártási folyamat leállításához vagy a nem megfelelő működés javításához.

A legtöbb mechanikai és számos elektromos meghibásodás szimptómái a frekvenciaspektrumban megjelenő mintázatok (vonalspektrumok), de az időjelből számított egyes statisztikai jellemzők is hatékonyak lehetnek bizonyos problémák detektálásában. Különösen fontos terület a lökésimpulzus-módszer alkalmazása a csapágy-diagnosztikában és a fogaskerekek diagnosztizálásában.

A korszerű állapotfelügyeleti rendszerek – a szimptómák alapján – képesek a hibák széles körének azonosítására és a súlyosság megállapítására. Ezek az információk teszik lehetővé a karbantartási tevékenységek optimalizálását.

A harmadik szintet a speciális módszerekkel történő egyedi vizsgálatok képviselik. Az elérhető rendszerek és jelfeldolgozási algoritmusok a meghibásodások egy meghatározott körére adnak detektálási módszert. Egyéb esetben a mérőrendszerben a feldolgozási algoritmusokban is új megoldások szükségesek. Például csak a csapágy-diagnosztikában százszámra jelentek meg speciális diagnosztikai módszerek, köztük növekvő számban olyanok, melyek transzformációk, szűrési módszerek egyedi kombinációit és a gépi tanulás eszközeit alkalmazzák.

A [1] doktori disszertáció például kúpgörgős csapágyak gyártása során fellépő köszörülési hibák detektálására és a hibák méretének becslésére ad módszert, ami hatékony zajos környezetben is. Ebben a speciális waveletek tervezése és alkalmazása, valamint a sokskalás felbontás (MRA) az alapvető eszköz, de gyártási hibák osztályozására a tartóvektor-gepek és a mesterséges neurális hálózatok is alkalmazásra kerültek.

2.3. A műszaki diagnosztika eszközrendszerének fejlődése

A műszaki diagnosztika eszközrendszere az 1950-es évek óta az érzékszervi diagnosztika szintjéről a – digitalizált gyártásban megvalósuló, gép-gép kommunikáció alapú – automatizált vizsgálat és döntéshozatal szintjére fejlődött.

A termelékenységi követelmények és a gépek precizitásának alacsony szintje mellett a meghibásodásig való üzemeltetés elfogadott volt. Ezt váltotta a tervszerű megelőző (preventív) karbantartás, mely nagy statisztikai minta alapján meghatározott élettartam-jellemzőkön, például a meghibásodásiránta-diagramokon („kádgörbék”) alapult. A statisztikai alapú megközelítés hatékonyságának nyilvánvaló korlátja volt, hogy az egyedi üzemeltetési körülményeket nem tudta figyelembe venni, nagy volt a túl korai vagy a túl késői beavatkozás esélye.

Az ipar számára elérhető számítástechnikai eszközök megjelenésekor volt lehetőség az állapotfüggő, prediktív karbantartás megvalósítására, az üzem közbeni állapotfelmérés eszközeinek fejlesztésére.

A műszaki diagnosztika fejlesztése töretlen volt az 1970-es évek óta, ma széles körben elterjedtek az online rendszerek, a vezetékek nélküli szenzorok, a távdiagnosztika, folyamatos adatszolgáltatás, diagnosztikai alapú folyamatfelügyelet, az IoT-diagnosztikai eszközök a digitalizált gyártórendszerek integrált elemeiként vannak jelen az okosgyárakban.

A 1980-as évekig elsősorban a műszaki fejlesztés jelentette a karbantartás fejlődését, később azonban egyre nagyobb szerepe lett olyan szervezési módszereknek, mint a megbízhatóság-alapú karbantartás, a kockázatalapú karbantartás vagy a TPM, valamint a számítógéppel támogatott karbantartás-menedzsment rendszereknek.

Ma az ipar 4.0 és a digitalizálás világában újra a műszaki fejlesztés a fejlődés alapja, de ezek elsősorban informatikai fejlesztések, szemben a korai gépészeti és villamos alapú fejlesztésekkel.

3. A műszaki diagnosztika oktatása

3.1. A matematika szerepének változása a mérnökképzésben

A modern mérnöki tudományok igényei, főleg a gépi tanulási eszközök széles körű alkalmazásának igénye új helyzetbe hozza a matematikát és annak oktatását.

A technológia gyors változását követni próbáló műszaki képzésekben egyre több olyan témakör jelenik meg már a mérnöki alapképzésekben is, ahol nagymértékben építenek bizonyos magasabb szintű absztrakt matematikai ismeretekre. Ilyen témakörök vannak például a műszaki diagnosztika és az irányításelmélet tárgyakban.

Közben a mérnökhallgatók jelentős része küzd az alapvető számolási módszerek elsajátításával is. Ezt az ellentmondást úgy lehet feloldani, hogy a matematikaoktatásban másképpen fogalmazzuk meg a célokat, és új szemléletet, módszertani eszközöket alkalmazunk. Be kell látni, hogy míg a klasszikus mérnökimatematika-oktatás gerincét képező elmélet jelentős részével nem találkozik egy mérnök a pályája során, addig az alkalmazott matematika egyes módszereit készségszinten tudnia kellene. [2]

Mérnöki tudományok professzorai szorgalmazták a mérnöki matematika oktatásának átalakítását. Tóth László, a Debreceni Egyetem egykori mechanikaprofesszora több előadásában hangsúlyozta, hogy „a mérnökhallgatók kezébe eszközként kell adni a matematikát”. Ma rendelkezésre állnak nagy tudású matematikai szoftverek, így a gyakorlatban problémák tömege oldható meg, ha tudjuk kezelni az eszközöket. Megfelelő eszköz nélkül sokáig a matematika csak elegáns háttérként volt jelen a mérnöki munkában, a számítások gyakorlatilag kivitelezhetetlenek voltak a napi munka során, jellemzően mérnöki becslésen, a szakterületen kialakult gyakorlaton, tapasztalatokon alapuló döntések születtek.

A szoftverekbe épített numerikus (és néha szimbolikus, analitikus) módszerek ma lehetővé teszik a „pontos” számolásokat, aminek nagy gazdasági haszna van. Itt ki kell térni a „pontosság” tartalmára. A szimbolikus (analitikus) számolások ugyan valóban pontos választ adnak azokra a matematikai problémákra, melyek megoldhatók, de megoldható problémához a valós rendszerek vizsgálatakor sok esetben csak jelentős elhanyagolásokkal, egyszerűsített modellek megalkotásával jutunk. Így a megoldás hiába pontos valamilyen értelemben, az eredeti műszaki problémának csak közelítő megoldása, és gyakran nem is ellenőrizhető, hogy mekkora az eltérés a pontos megoldástól. A numerikus módszerek deklaráltan csak közelítő megoldást adnak, de a „hiba” általában tetszőlegesen csökkenthető részletesebb modell alkalmazásával, ami persze általában a számolási idő drasztikus növekedését eredményezi.

A mérnöki matematika oktatásának szembe-sülnie kell azzal, hogy „a jövőben sokkal több mérnöknek kell tudni olyan matematikát, amit mélységében kevesen értenek meg”, ahogyan ezt Korondi Péter, a Debreceni Egyetem mechatronikaprofesszora több előadásában hangsúlyozta. Nem várható el a tömegektől az absztrakt matematika megértése, de az elengedhetetlen, hogy a matematika eszközként rendelkezésre álljon a mérnökök számára, legalábbis azoknak, akik fejlesztő munkát végeznek. És mivel az okos eszközök korát éljük, ahol a beépített tudás adja a termék használati értékét, egyre többen válnak valamilyen szinten fejlesztővé.

3.2. Hatékony matematikaoktatás a mérnöképítésben

A megközelítésünk lényeges elemei:

- a kívánt kompetenciák megfogalmazása;
- a matematika-tananyag kompetenciaalapú strukturálása;
- a hatékonyság definiálása, mérése [3];
- tantárgyakon átvivő projektek megfogalmazása és (elsősorban) házi feladatként való kiadása;
- a kurzushoz szükséges matematikai ismeretek összefoglalása a műszaki tárgyak keretében, a matematika projektalapú tanulása;
- a matematika tanulását, újratanulását támogató matematikai „munkafüzetek” készítése az önálló tanulás segítésére.

Kompetenciaként fogalmazható meg például a diszkrét idejű rendszermodellekben való számolások megértése.

A tananyag kompetenciaalapú strukturálása ekkor a deriválás és a numerikus deriválás párhuzamos tárgyalását jelenti.

Az oktatás hatékonyságát pedig azzal mérjük, hogy a műszaki problémák megoldásakor képesek-e a hallgatók felismerni és elvégezni a szükséges számolásokat.

Tantárgyakon átvivő házi feladatok segítik a hallgatókat a matematikai és a műszaki fogalmak összefüggéseinek felismerésében, és a tanult módszerek alkalmazásában.

A matematikai szoftverek (elsősorban a Matlab) mindennapi eszközként (számológépként és mérnöki fejlesztő környezetként) való érték használatát el kell kezdeni a képzés elején a matematikai tárgyak keretében.

3.3. Projektalapú matematikatanulás a műszaki diagnosztika tárgy keretében

A speciális szakmai tárgyak tanulásakor sokszor már jó eséllyel megkoppnak a hallgatók matematikai ismeretei, másrészt a matematikai eszközök tanulásakor nem is kerülnek elő az alkalmazások speciális igényei. Mindamellet, hogy a matematika oktatásakor törekedni kell az alkalmazások széles körének szakszerű bemutatására, ez minden egyes alkalmazásra nem terjedhet ki, egyrészt a rendelkezésre álló korlátozott idő miatt, másrészt azért, mert egyes alkalmazások csak a hallgatók kis csoportját érintik a specializáció alapján.

A vizsgált képzésben a matematika tanulása és a diagnosztikában való alkalmazása közt legalább két év telik el. Így nem csak az a kérdés vetődik fel, hogy mit kell újonnan megtanulni a diagnosztika tárgy keretében, hanem az is, hogy mit kell újratanulni.

A diagnosztika tárgy fő részét képező rezgésdiagnosztika (1. ábra) elméleti része jelfeldolgozási (alkalmazott matematikai) ismereteket tartalmaz.



1. ábra. Laboratóriumi mérés: tesztpad és mérőrendszer

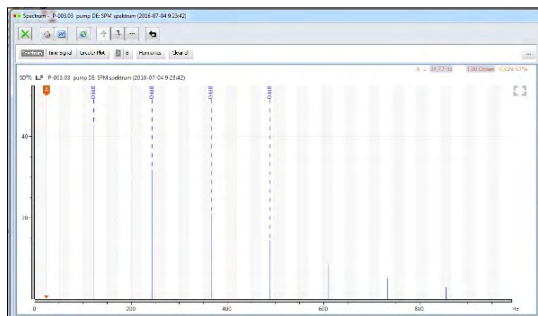
Így a kapcsolódó matematika tanulását, újratanulását kézenfekvő szakmai projekt-feladathoz kapcsolni. Ezzel egyrészt meg tudjuk világítani a korábban tanult ismeretek hasznát, másrészt motiválni tudjuk a hallgatókat az újabb ismeretek megszerzéséért.

A fő rezgésdiagnosztikai témakörök:

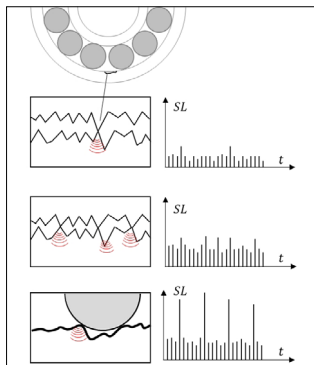
- harmonikus rezgések (amplitúdó, periódus, frekvencia, fázis);
- elmozdulás, sebesség, gyorsulás, szuperpozíció;
- szimptómák az „időtartományban”;
- szimptómák a „frekvenciatartományban” (2. ábra);
- együttes vizsgálat idő- és frekvenciatartományban, lökésimpulzus-módszer (3. ábra);
- jelkondicionálás.

A szorosan kapcsolódó matematikai témakörök:

- szinusz- és koszinuszfüggvények (értékkészlet, periódus, előjel, zérushelyek);
- alapvető függvénytranszformációk;
- deriválás, integrálás;
- alapvető statisztikai jellemzők;
- Fourier-elmélet;
- wavelet transzformáció, sokskalás felbontás;
- szűrők.



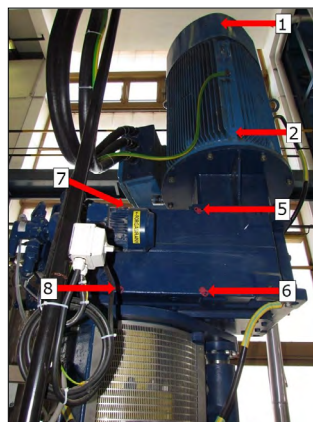
2. ábra. Szimptóma a spektrumban [4]



3. ábra. Csapágyvizsgálat lökésimpulzus-módszerrel [4]

Egy tipikus projekt, mely alkalmas a matematikatanulás keretének megteremtésére: hajtás (elektromos motor, hajtómű) állapotfelmérése (4. ábra). Lépések:

1. Tervezés
 - mérési pontok azonosítása;
 - mérési technikák kiválasztása az egyes mérési pontokhoz;
 - a mérési technikák alkalmazásához szükséges adatok megadása;
 - a kívánt értékelési módok megadása, a szükséges mérési paraméterek beállítása.
2. Mérés
3. A vizsgált gépelemek állapotának értékelése



4. ábra. Üzemi mérés: csapágyak vizsgálata hajtás-láncban

General	
Name	1000 Hz, 1600 lines
Short time memory	Full spectrum
Long time memory	Full spectrum
SPM spectrum type	Shock level (SL)

Settings	
Order tracking	No
Upper frequency, Hz	1000
Window	Hanning
Lines in spectrum	1800

Advanced settings	
FFT type	Linear
Averaging type	
Zoom center	
Zoom factor	

5. ábra. Spektrum paramétereinek beállítása [4]

1. táblázat. Kapcsolódó diagnosztikai és matematikai eszközök a projektben:

Diagnosztika	Matematika
ferdeség, csúcsosság (kurtózis), csipkesség (crest factor = peak/RMS)	leíró statisztika, sűrűséghisztogram
frekvenciaspektrum, frekvenciatartomány, vonalak száma, ablakolás	Fourier-sor, Fourier-együtthatók, Fourier-transzformáció, Diszkrét Fourier-transzformáció, FFT, ablakfüggvények
lökésimpulzus-módszer, csapágy-diagnosztika, fogaskerék-diagnosztika, villamosmotor-meghibásodások	együttes idő- és frekvenciavizsgálati módszerek, wavelet transzformáció, sokskálás felbontás, scalogram

4. Következtetések

A műszaki tudományok folyamatosan gyorsuló fejlődése nagy kihívás elé állítja a változásokkal lépést tartani kívánókat.

Pár évtized alatt teljesen megváltoztak az ismeretszerzés hatékony formái, a hagyományos műszaki képzés életképessége, melyben oktatás-módszertani kérdések szinte fel sem vetődtek, egyre gyengébb. Ezt igazolja a fiatalok általános véleménye, hogy „internetről” sokkal eredményesebben lehet tanulni. Ha megvizsgáljuk a professzionális képzések népszerűségének okát, akkor hamar rájövünk, hogy az átgondolt módszertan az alapvető különbség (feltéve persze, hogy szakmailag mindkét forrás korrekt).

Az intézményesített oktatásban is lépést kell tartani a módszertani eszközök fejlődésével, és szem előtt kell tartani a hatékonyságot, vagyis azt, hogy rögzüljenek az ismeretek, melyek a mérnöki munka során szükségesek. Semmi sem jellemzi jobban egy témakör oktatásának hatékonyságát, mint az alkalmazás képessége más szaktárgyakban vagy a gyakorlati mérnöki munkában.

A matematika szerepe még nagyobbát változott az oktatásban, mivel a technikai eszközök valóban használhatóvá, sőt elengedhetetlenné teszik a matematikát, legalábbis annak bizonyos részeit. Tehát egyre kevésbé lesz „letudni való” tárgy, a matematika tanulásának be kell épülnie a szakmai tárgyakba a témakörök összehangolása, közös projektek, házi feladatok és speciális (alkalmazáscentrikus) matematikai tananyagok által.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Deák K.: *Development of Bearing Fault Diagnostics Methodology Based on Signal Processing and Machine Learning Tools*. PhD Thesis. Debreceni Egyetem Informatikai Tudományok Doktori Iskola, Debrecen, 2020.
- [2] Sipos D.: *A numerikus számítások szerepe a műszaki modellekben*. International Journal of Engineering and Management Sciences, Debrecen, 3/5. (2018) 76–83.
<https://doi.org/10.21791/IJEMS.2018.5.9>.
- [3] Sipos D.: *A matematikaoktatás hatékonyságának vizsgálata*. In: Proceedings of the Conference on Problem-based Learning in Engineering Education, Debrecen, Magyarország, University of Debrecen, Faculty of Engineering, 2021. 47–52.
- [4] Leonova *Infinity User Guide*. 71792 B. SPM Instrument AB, Sweden, 2006.