

A SZERKEZETINTEGRITÁS HELYE ÉS SZEREPE AZ OKTATÁSBAN ÉS A KUTATÁSBAN

Koncsik Zsuzsanna

egyetemi docens, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet
3515 Miskolc-Egyetemváros, e-mail: zsuzsanna.koncsik@uni-miskolc.hu

Absztrakt

Napjainkban az ipari és tudományos életben egyaránt jellemző, hogy a legszerteágazóbb tevékenység a mérnöki szerkezetek integritásának elemzése. A fogalom tartalma – az üzemeltetésre való alkalmasság az élettartam bármely pillanatában – is már következtetni enged annak komplexitására. Megismerve jelentése mélységeit a specialista már azt is sejtí, hogy a szerkezetintegritási ismeretanyagot nem elegendő megtanulni, azt a gyakorlatban tapasztalni szükséges ahhoz, hogy az egyes problémákat valaki globálisan átlássa, és közben fókuszálni tudjon egy-egy tényezőre, akár iterációval. Jelen cikkben a szerkezetintegritás oktatásban és kutatásban betöltött szerepét elemzem hazai és nemzetközi példákön keresztül.

Kulcsszavak: szerkezetintegritás, élettartam gazdálkodás, károsodáselemzés

Abstract

Nowadays it is accepted in the industrial and even in scientific life that the most diversified activity is the analysis of structural integrity of engineering structures. The content of the terminology, fitness for purpose during the whole lifetime, already refers to its complexity. Getting acquainted with the real meaning of the terminology, the specialist can already suspect, that it is not enough to learn the structural integrity as a subject, but it is also necessary to experience it in practice, to see the problem in the aggregate and during this, focus on some factors, and even iterate if it will be necessary. In this paper I will analyse the location and role of structural integrity in education and in research activities due to domestic and international examples.

Keywords: structural integrity, lifetime management, damage analysis

1. Bevezetés

A mérnöki szerkezetek integritásán annak üzemelésre való alkalmasságát értjük, élettartama bármely pillanatában. Az integritás biztosítása összetett feladat, magában foglalja a szerkezet állapotellenőrzését, állapotfelügyeletét, karbantartását és rehabilitációját, vagyis végeredményben a szerkezet élettartamának meghosszabbítását [1]. A mérnöki szerkezetek integritásának megfelelő biztosítása azonban már a tervezés során elkezdődik, majd befolyásolja a gyártási folyamat és természetesen az üzemeltetési körülmények. Szorosan kapcsolódik a károsodáselemzés, a hibaanalízis, élettartam gazdálkodás témaköröihez.

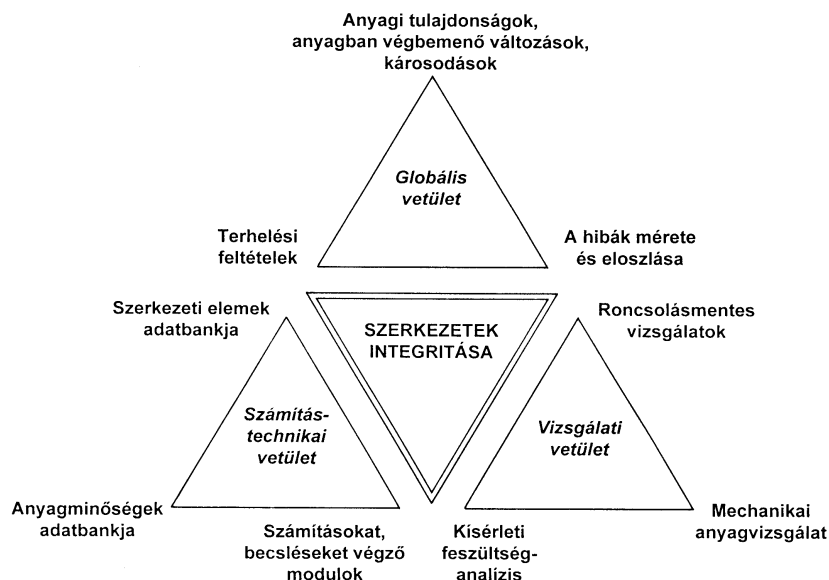
Az üzemelő és a károsodott szerkezetek gyakran a tervezésükkor feltételezett, illetve az üzembe állításukkor fennálló állapotokhoz képest nagymértékben megváltozott körülmények között működnek [1]. A karbantartási módszerek fejlődésének köszönhetően a szakértők számára egyre több információ

áll rendelkezésre a károsodások módjáról, idejéről, azok statisztikailag elemezhető mérőszámainak alakulásáról, amelyek alapján a szerkezet további üzemeltetése, illetve a konstrukció újratervezése nagyobb biztonsággal elvégezhető. Ezen néhány bevezető gondolat alapján is jól látszik, hogy ahogyan a fogalom nevében is szerepel, számos diszciplína integrált ismerete és gyakorlati alkalmazása, valamint folyamatos bővítése szükséges egy üzemelő szerkezet integritásának megítéléséhez, elemzéséhez. Ide tartoznak olyan területek, mint az anyagtudomány, a szerkezetek tervezése, a technológiai tervezés, a gyártás és üzemeltetés, ez utóbbi során pedig az állapotellenőrzés, állapotfelügyelet és a karbantartás, valamint az ezekhez tartozó roncsolásos és roncsolásmentes anyagvizsgálat. A szerkezetintegritás és annak elemzése, mint igény, elsősorban a kutatásokban jelent meg. Azonban ahhoz, hogy egy mérnök, kutató alkalmazni tudja a gyakorlatban az elemzéshez szükséges ismereteket, azok oktatására is szükség van, lehetőleg a legmagasabb, felsőoktatási szinten. A szerkezetek integritásának elemzése stratégiai szempont is egy szerkezet gyártó vagy üzemeltető vállalat életében, így a mérnöki ismereteken túl menedzsmet és irányítási szemléletek ismerete is elengedhetetlen. A továbbiakban a szerkezetintegritás oktatásban és kutatásban elfoglalt helyét mutatom be, hazai és nemzetközi példákon keresztül.

2. Szerkezetintegritás az oktatásban

A szerkezetintegritás alapvetően mérnöki ismereteket integráló tudományterület [1], [2]. Feladata egyrészt a döntés a szerkezet további üzemeltetéséről (maradék élettartam), másrészt arról, hogy az milyen módon menedzselhető (élettartam gazdálkodás). Ehhez kapcsolódnak olyan alfeladatok, mint:

- diagnosztikai vizsgálatok – szerkezet állapotának felmérése;
- valóságos üzemi körülményekre jellemző mechanikai állapot meghatározása;
- a beépített anyagok károsodási folyamatainak és azok mértékének megítélése az adott üzemeltetési feltételek mellett;
- karbantartási folyamatok eredményeinek értékelése, javaslattevél.



1. ábra. Szerkezetintegritási tetraéder [3].

A szerkezetintegritási tetraéder alapján a hozzá kapcsolódó ismeretek oktatása mind a globális vetület, mind a vizsgálati vetület, mind a számítástechnikai vetület (napjaink fogalmával IT vetület) oldalon bekapcsolódik, lásd 1. ábra.

Felmerül azonban a kérdés, hogy miért van szükség egyáltalán a szerkezetintegritásra, hiszen a tervezés során a mérnök figyelembe vette a szerkezet normál üzemi körülményeit és beépített a koncepcióba minimális szintű extrém igénybevételnek való ellenállást is. Mindez azt jelenti, hogy a szerkezet a megfelelő számításoknak köszönhetően, az elvárt módon és az elvárt ideig megfelelően fog működni. Azonban a szerkezetnek megvan a maga saját „élete”. Ő nem ismeri a tervezési előírásokat, így a szerkezetek tökéletes integritása kizárólag a tervező fejében létezik. Az életciklusuk alatt a szerkezetek:

- tartalmazhatnak tervezési hibát, kisebb számítási eltéréseket, szerkezeti hibát;
- gyártásuk nem pontosan a tervek szerint történik;
- elhasználódnak: korrózió, fáradás, kopás, leromlás, általános elöregedés;
- károsodnak túlterhelés, dinamikus hatás, földrengés, időjárási hatások, robbanás vagy más extrém hatás által;
- még a szerkezetintegritás alapelveinek felállítása előtt tervezték.

2.1. Nemzetközi helyzet

Az Imperial College Londonban [6] szerteágazó területeken kapcsolódik a szerkezetintegritás témaköréhez. Alapvetően négy nagy tudományterület a repülés, az anyagtudomány, a gépészmérnöki ismeretek, illetve a kompozitok területén alkalmazzák. Ezekben a területeken a szerkezetintegritás alapvető célja, hogy a szerkezet teljesítőképességét, tartósságát és biztonságát megítélje a tervezett üzemi körülmények között. Ehhez szükséges ismeretek:

- anyagok számítógépes modellezése;
- feszültség elemzés;
- roncsolásmentes vizsgálati módszerek;
- metallurgiai ellenőrző vizsgálatok;
- kísérleti eredmények értékelése.

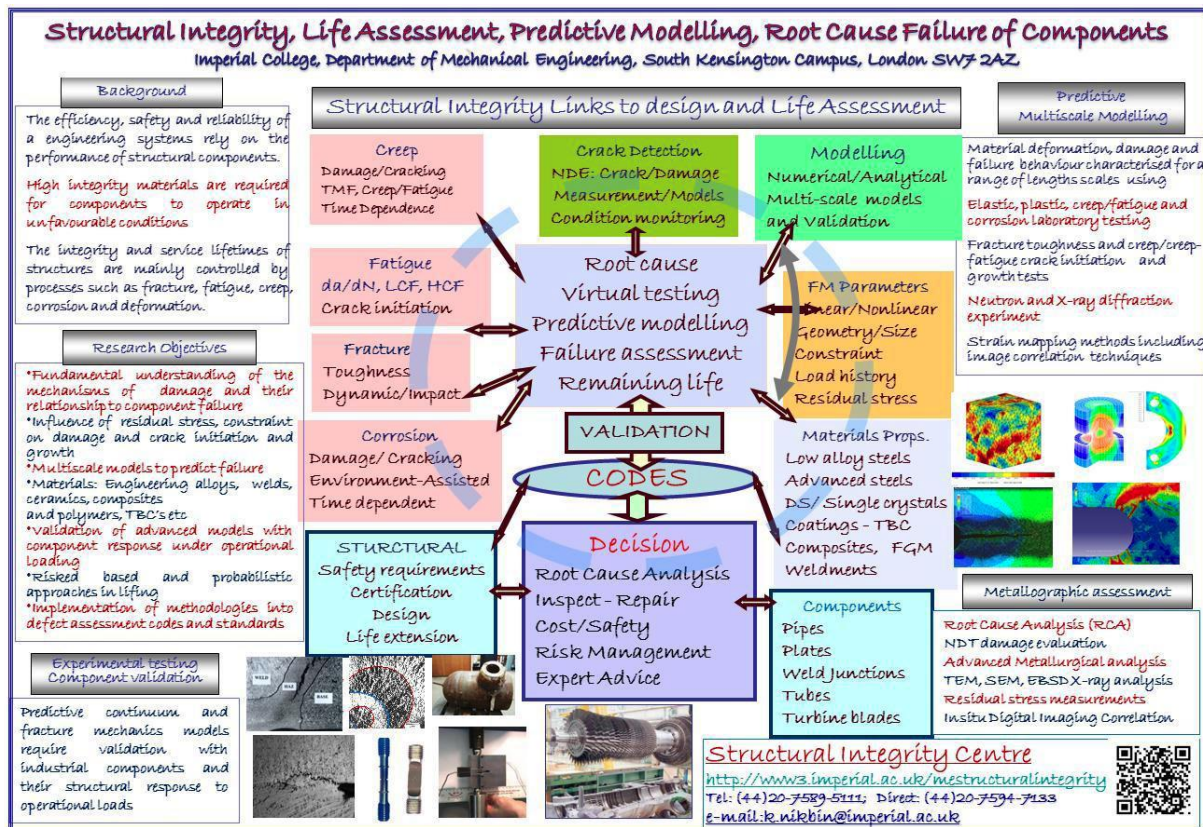
Ahhoz, hogy egy szerkezet integritását, vagy a gyökérok elemzést (RCA= Root Cause Analysis) megfelelően elvégezzük, globálisan át kell látni az anyag, a vizsgálatok, a modellezések, a károsodási mechanizmus, a terhelési történet és ezek korrelációs paraméterei közötti kapcsolatot, lásd 2. ábra. Mindezekhez tartozik egy kritikus gondolkodásmód, amely az egyik vagy másik megoldás valószínűségét, mikéntjét és hogyanját megkérdőjelezi.

A 2. ábrán bemutatott vázlat egy összetett rendszert ábrázol, amely magában foglalja a szerkezetintegritás, élettartam értékelés, előrejelző modellezés, alkatrészek hiba gyökérok elemzésének szegmenseit, kifejtve az egyes területekhez szükséges vizsgálatok körét is.

Az ausztrál RMIT Egyetemen [7] Repülőgép szerkezet integritás kurzus működik. A posztgraduális képzésben, a 12 kredites tantárgy keretein belül olyan témakörökkel ismerkedhetnek meg a hallgatók, mint például törésmechanika, fáradás, fáradásos repedésterjedés és más repülőgép szerkezetekre jellemző károsodási módok, eltört repülőgép alkatrészek feszültség elemzése, és a feszültségmező modellezése, valamint ipari és hadiipari szerkezetintegritási menedzsment módszerek.

A National Structural Integrity Research Center [8] egy nemzetközi szervezet, amely a kutatási tevékenység mellett PhD és MSc szinten oktatási tevékenységet is vállal. A PhD szintű képzés során

olyan tudományterületek bizonyos részeinek oktatását tartja fontosnak, amelyek kapcsolódnak ipari problémákhoz, ipari kutatási feladatokhoz. Így a honlapon bár felsorol néhány kutatási területet, illetve hozzá kapcsolódó kurzust, de az is szerepel, hogy nem feltétlenül ezek az ismeretek jelennek meg majd az egyéni PhD jelölt tanulmányai során. Olyan témakörök szerepelnek, mint például szélerőmű szerkezetek forgó részének törésmechanikai elemzése hibakeresés céljából; online monitorozási módszerek; új anyagok a jövő járművei számára; új kötési technológiák; csőszakaszok körvarratainak törésre és képlékeny összeomlásra vonatkozó elemzése.



2. ábra. Virtuális szerkezetintegritási együttműködés [6].

Az MSc képzés keretében a képzés sokkal kötöttebb. A 180 kredités képzésből 120 kreditet kötelező tantárgyakból lehet megszerezni. A kötelező tantárgyak kurzusai közé tartoznak például:

- törésmechanika és fáradási folyamatok elemzése;
- metallurgia és anyagok;
- roncsolásmentes vizsgálatok;
- feszültségelemzés és erőmű felülvizsgálat;
- szerkezetek numerikus modellezése;
- megbízhatóság;
- szerkezeti egészség monitorozás.

A szerkezetintegritás oktatásának európai képviselői közé hozzátartozik még az ESIS (European Structural Integrity Society) [9], amelynek célja a szerkezetintegritáshoz tartozó ismeretek minden

aspektusból történő fejlesztése, növelése és világszintű terjesztése, amely által növelhetővé válik a mérnöki szerkezetek, egyedi alkatrészek vagy berendezések biztonsága és teljesítőképessége. Ehhez kapcsolódóan konferenciákat, találkozókát, workshopokat, nyári egyetemet szerveznek, publikációs tevékenységet folytatnak.

Az említett példákból azt láthatjuk, hogy MSc, PhD, illetve posztgraduális szinten a nemzetközi szakmai életben felismerték a szerkezetintegritás szerepét és fontosságát és kidolgozásra került annak szükséges oktatási háttere. Külön kiemelendő, hogy a témakör oktatásához elengedhetetlen az ipari, a gyakorlati élettel való kapcsolat, amely a nemzetközi példákban megvalósul. A szükséges tudományterületek meghatározása is az ipari szükségletek alapján történik és/vagy az oktatási hely szorosan együttműködik az ipari partnerrel.

2.2. Hazai helyzet

A magyarországi mérnökképzéssel foglalkozó intézmények is felismerték már a szerkezetintegritás témakörének fontosságát, azonban a képzési portfólió még nem annyira szerteágazó, mint ahogyan az a nemzetközi példákban szerepelt.

BSc szinten a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen [10], a gépészmérnöki alapképzésben a Mérnöki szerkezetek integritása I. és II. tantárgyak már szerepelnek. A győri Széchenyi Egyetemen [11] és a Miskolci Egyetemen [12] BSc szinten a szerkezetintegritási tetraéder vizsgálati vetületéhez kapcsolható tantárgyak jelennek meg, úgy, mint például anyagtudomány, anyagvizsgálat, különböző technológiai ismeretek, minőségbiztosítás, karbantartás és műszaki diagnosztika, valamint élettartam gazdálkodás. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen a fent említett ismeretek kiegészülnek MSc szinten a Károsodásanalízis elnevezésű tantárggyal, míg a Miskolci Egyetemen megjelenik a Szerkezetek integritása tantárgy, amely tematikájában az alábbi területeket érinti, közelítve a nemzetközi példát:

- káresetek és elemzésük, káreset statisztikák, katasztrófák, a katasztrófák leírása;
- igénybevételek, károsodások, az igénybevételek és a károsodások kapcsolata;
- méretezés, ellenőrzés szilárdsági jellemzőkre;
- megközelítések a szerkezetintegritásban;
- kisciklusú fáradás, nagyciklusú fáradás, fáradási szilárdsági görbék;
- törésmechanikai elméletek: lineárisan rugalmas, képlékeny, dinamikus törésmechanika;
- a terjedő repedés méretének mérése;
- törési biztonság.

PhD képzési szinten a Miskolci Egyetemen a Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola Gépészeti anyagtudomány, gyártási rendszerek és folyamatok tématerületen belül működik Szerkezetintegritás témacsoport [13]. A PhD képzéshez kapcsolódóan négy tantárgy jelenik meg: Szerkezetintegritás, Károsodáselmélet, Törésmechanika, Törésmechanikai vizsgálatok. A Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karának Anyagszerkezettani és Anyagtechnológiai Intézetében működő Szerkezetintegritási Intézeti Tanszék rendszeresen ír ki szerkezetintegritási témájú szakdolgozatokat, diplomaterv feladatokat.

A posztgraduális képzések tekintetében a Széchenyi Egyetem Anyagtudomány és Technológia Tanszékén létezik egy szakirányú továbbképzés: Balesetvizsgálati szakterületen szakértői feladatokra felkészítő szakmérnök szakirányú továbbképzési szak. Továbbá 1999-ben az Európai Unió TEMPUS programjának keretében támogatást kapott egy pályázat: „Teaching and education in Structural

Integrity in Hungary” címmel [14]. Ennek fő célkitűzése volt ezen új diszciplína meghonosításán kívül egyrészt a szerkezetintegritás oktatási anyagainak kidolgozása, másrészt a Szerkezetintegritás – Biztonsítási Mérnök Szakmérnöki Szak beindítása. Négy hazai felsőoktatási intézmény és számos külföldi felsőoktatási intézmény, valamint kutatóhely együttműködésével kerültek kidolgozásra a tananyagok, azonban a szakmérnöki képzés elindítása még várat magára.

Összességében a hazai helyzetről megállapítható, hogy szerkezetintegritási szak, szakirány, specializáció a hazai felsőoktatásban nincs, ám a szerkezetek integritásával összefüggő alapismeretek oktatása része a műszaki képzéseknek (anyagtudományi/anyagtechnológiai, gépészeti, energetikai, műszaki menedzser). Az ismeretek, illetve azok oktatása megoszlik a különböző képzési szintek között, azonban egymásra épülés a témakör tantárgyai között nem igazán figyelhető meg.

3. Szerkezetintegritás a kutatásban

A nemzetközi tapasztalat azt mutatja, hogy a kutatóhely, ipari központ és a felsőoktatási intézmény feladattól függő hármas vagy kettes csapatának együttműködése gördülékenyen zajlik. Több országban nem csupán egy új képzést indítanak el, amelyre majd vagy lesz szükség, vagy nem a mérnöki munkaerő piacon, hanem fordított a felállás, a munkaerőpiaci szükségletnek megfelelően, az ott felmerülő problémák megoldása érdekében alakítanak ki egy képzési tervet.

Az Imperial College-ban [6] például működik egy specialistákból álló virtuálisan együttműködő csapat, amelynek tagjai mindannyian érdeklődnek a szerkezetintegritás különböző területei iránt és kapcsolatban állnak ipari szakemberekkel, problémákkal, illetve más területen tevékenykedő kutatóhelyekkel. Az alábbi témakörökben alkalmazzák a szerkezetintegritás szemléletét:

- additív gyártás;
- nagy hőmérsékletű alkatrészek;
- gyártási folyamatok optimalizálása;
- nukleáris erőmű nyomástartó edényei;
- repülőgép szerkezetek;
- szerkezet monitorozás.

A hazai helyzet vonatkozásában nincs egységes kép. Léteznek kutatóintézetek, és felsőoktatási intézmények, amelyek K+F jellegű munkák keretében egy-egy szerkezetintegritáshoz szorosabban vagy kevésbé szorosan kapcsolódó problémát oldanak meg. Hazai szerzője is van annak a publikációnak [15], amely a roncsolásmentes vizsgálatok jelentőségére irányítja a figyelmet a szerkezetintegritási kutatások területén.

Az ipari csővezetékek, kifejezetten az olaj- és gázszállító csővezetékek hálózatának létrehozására, üzemeltetésére, karbantartására szigorú előírások léteznek nemzetközi szinten is. A magyarországi hálózat elemeinek integritásával – különösen az anyagvizsgálati sajátosságokkal statikus és ismétlődő igénybevételek esetén, szilárdságtani modellezéssel és végeelem analízissel, valamint jellemző magyar esetek bemutatásával, gyakorlati példákkal – foglalkozik a [16] publikáció.

Néhány helyen működik az úgynevezett OpenLab rendszer [17]. Ez a rendszer legegyszerűbben úgy jellemezhető, hogy a felsőoktatási intézmény egy központja, amely önmagában képviseli a felsőoktatási intézményt, mint kutatóhelyet, bármely típusú ipari probléma, feladat esetén. Ez a központ képes komplexen kezelni a beérkező feladat megoldásához tartozó kérdéseket, a megfelelő szakterületek bevonásával.

Magyarországon működik egy honlap a „nyitott labor” [18], amely vállalkozások, kutatók számára nyújt lehetőséget, ha kihasználatlan eszközkapacitása, vagy erőforrása van. A honlapon való regisztrációt követően nyilvánossá válik a cégről/eszközzel egy profil, a legfontosabb műszaki adatokkal, elérhetőségekkel és referenciákkal.

A Miskolci Egyetemen egyelőre nem működik OpenLab központ és eszközei nem regisztráltak a „nyitott labor” honlapján sem. Az egyes intézetek ipari kapcsolataikat ápolva és folyamatosan újakat keresve nyerik el a K+F típusú munkákat, amelyek részben a szerkezetintegritás biztosításának témakörében folynak. Az Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézetben, kifejezetten a Szerkezetintegritási Intézeti Tanszéken, a szerkezetintegritás témakörében az alábbi területeken folynak vizsgálatok:

- hagyományos és korszerű mechanikai anyagvizsgálatok;
- törésmechanikai vizsgálatok;
- szerkezetek, szerkezeti elemek komplex vizsgálata;
 - hegesztett szerkezetek;
 - csővezetékek és nyomástartó rendszerek;
- károsodáselemzés, élettartam menedzselés;
- termo-mechanikus fizikai szimuláció;
 - anyagvizsgálat;
 - technológiai folyamat szimuláció.

Az előző 5 év ipari munkáira visszatekintve a fent említett témakörökben több hazai multinacionális vállalat, illetve kisebb cégek megkereséseinek is eleget tett az intézet. A szerkezetintegritás témaköréhez kapcsolódóan kutatásokat és elemzéseket végzett az intézet többet között például az alábbi vállalatok számára:

- CLAAS Hungária Kft.
- FGSZ Zrt.
- Joyson Safety Systems Hungary Kft.
- MIAS Hungary Kft.
- Petrolszolg Kft.
- Robert Bosch Automotive Steering Kft.
- Robert Bosch Power Tool Kft.
- T-Préstechnika Kft.
- Zsóry Gyógy-és Strandfürdő.

A feladatok típusai, vizsgált anyagai és szükséges vizsgálatai nagyon szerteágazóak voltak. Azonban mindegyike igényelt egy komplex, a tervezést, üzemeltetést, illetve nem várt hatást is feltételező szemléletmódot, elemzést.

4. Összegzés

Az előzőekből egyértelműen megállapítható az a tény, hogy egy szerkezet integritásának megítéléséhez számos tényező ismerete szükséges. Ismernünk kell a beépített szerkezeti anyagok kiinduló állapotát, amennyiben az tönkrement, úgy a károsodásuk folyamatát és mértékét, ehhez szükséges az üzemeltetés során kialakuló terhelések számítása, illetve modellezése és a szerkezet állapotának vizsgálata roncsolásmentes eljárásokkal.

Tehát a szerkezeti integritás vizsgálata három fő területnek: a mechanikának, annak modellezésének; az anyagszerkezettannak (anyagtudomány, anyagvizsgálat) és a roncsolásmentes anyagvizsgálatnak az együttműködését igényli. Ezek közül bármelyik terület elhanyagolása, relatív súlyának csökkentése hibás döntéshez vezethet.

A felsőoktatási intézmények, különösen a mérnökképzéssel foglalkozó szakterületek felelőssége abban van, hogy olyan szakembereket képezzenek, akik képesek az egyes problémák miért?-jeinek felkutatására és elhivatottak azok megoldásában. Ehhez természetesen szükséges az anyagokra, szerkezetekre, tervezésre, gyártásra, vizsgálattechnikára vonatkozó ismeretek alapos átadása, továbbá szükséges egy olyan átfogó szemlélet kialakítása, amely során az egyes alaptantárgyakban tanultak egymással összekapcsolódnak. Ehhez a legcélravezetőbb az alapismeretek elsajátítását követően a gyakorlatorientált képzés minél szélesebb körű bevezetése.

5. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalom

- [1] Lukács, J., Nagy, Gy., Harmati, I., K. Fótos, R., K. Koncsik Zs.: Szemelvények a mérnöki szerkezetek integritása témaköréből, Miskolci Egyetem, Miskolc, 2012., ISBN 978-963-358-000-4
- [2] Lukács, J., Nagy, Gy., Török, I.: Szemelvények az élettartam gazdálkodás témaköréből, Lukács, J. (szerk.). Miskolc, Magyarország, Miskolci Egyetem 2009., 246 p. ISBN: 9789636618902
- [3] Lukács, J.: Dimensions of lifetime management, Materials Science Forum, 473-474 (2005) pp. 361-368. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.473-474.361>
- [4] Fekete, T.: Nagyméretű nyomástartó berendezések szerkezetintegritási számításairól, GÉP, LXIX. évf. 1. szám. (2018) pp: 36-45.
- [5] Fekete, T.: Methodological developments in the field of structural integrity analyses of large scale reactor pressure vessels in Hungary, Frattura ed Integrità Strutturale, 36, (2016) pp. 78-98, <https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.36.09>
- [6] <https://www.imperial.ac.uk/structural-integrity>, elérhető: 2019. 12. 09.
- [7] <http://www1.rmit.edu.au/courses/049730>, elérhető: 2019. 12. 09.
- [8] <https://www.nsrc.com/>, elérhető: 2019. 12. 09.
- [9] <https://www.structuralintegrity.eu/site/>, elérhető: 2019. 12. 11.
- [10] <http://www.att.bme.hu/oktatas>, elérhető: 2019. 12. 11.
- [11] <https://mgt.sze.hu/kezdolap>, elérhető: 2019. 12. 11.
- [12] <http://geik.uni-miskolc.hu/intezetek/ATI/index.php>, elérhető: 2019. 12. 11.
- [13] http://www.siphd.uni-miskolc.hu/oktatas_kutatas/tanszek_targyak.php3?257, elérhető: 2019. 12. 11.
- [14] TEMPUS JEP-11271-96 pályázat: Teaching and education in structural integrity in Hungary, 1999. CD kiadvány tananyagai
- [15] Trampus, P., Krstelj, V., Nardoni, G.: NDT integrity engineering – A new discipline, Procedia Structural Integrity 17, (2019) pp. 262-267. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.08.035>

- [16] Lukács, J. (szerk.): Polimer mátrixú kompozittal erősített hibrid csövek integritása, GVOP-3.1.1.-2004-05-0215/3.0. Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2008., 197 p. ISBN: 9789636618315
- [17] <http://openlabskane.se/>, elérhető: 2019. 12. 11.
- [18] www.nyitottlabor.hu, elérhető: 2019. 12. 11.